

Wissenschaftlicher Hintergrund und Nutzen der Laktatmessung

Warum bildet sich Milchsäure im Körper?

Fitness oder körperliche Leistungsfähigkeit hat als eine wesentliche Grundlage die Fähigkeit zur ausdauernden Muskelarbeit. Für die effektive Tätigkeit der Muskeln ist die Bereitstellung von Energie notwendig.

In den Muskelzellen erfolgt die Energiebereitstellung über sogenannte energiereiche Phosphatverbindungen (Adenosintriphosphat, ATP), die jedoch nicht in großem Umfang in den Zellen gespeichert werden können. Bei einer Muskelbelastung werden die energiereichen Phosphate schnell verbraucht und es muß für Nachschub bzw. eine Regenerierung dieser Energielieferanten gesorgt werden. Der Körper sichert diesen Nachschub auf unterschiedlichen Wegen (Abb. 1).

Bei moderater körperlicher Belastung und ausreichender Sauerstoffversorgung erfolgt die Resynthese der energiereichen Phosphate aus der Spaltung der mit der Nahrung aufgenommenen Glucose und Fettsäuren bzw. deren Speicherformen Glykogen und Fette. Diese Form der Energiegewinnung, die an den Verbrauch von Sauerstoff gebunden ist, wird als aerober Energiestoffwechselweg (oder Zellatmung) bezeichnet. Er ist sehr effizient, ermöglicht jedoch nur einen mäßigen Energiefluß pro Zeiteinheit. Die Zellatmung stellt sich entsprechend der Belastung auf den Energiebedarf der Zelle ein. Bei sehr starker muskulärer Belastung reicht der Sauerstoff für die höhere erforderliche Abbaurrate des Glykogens bzw. der Fette nicht mehr aus. Es ist eine sehr hohe Energieflußrate pro Zeiteinheit erforderlich, die hauptsächlich durch die anaerobe Glykolyse (auch laktazide Energiebereitstellung) gesichert wird. Ohne Mitwirkung von Sauerstoff wird hierbei Muskelglykogen über Glucose zu Milchsäure abgebaut, deren Salz als Laktat bezeichnet wird. Auf diese Weise wird jedoch Milchsäure in den Muskelzellen angehäuft und das Zellmilieu wird sehr sauer. Dadurch verschlechtern sich die Bedingungen für die enzymatische Glykolyse in den Zellen und die Leistungsfähigkeit des Muskels und damit des Sportlers nimmt ab.

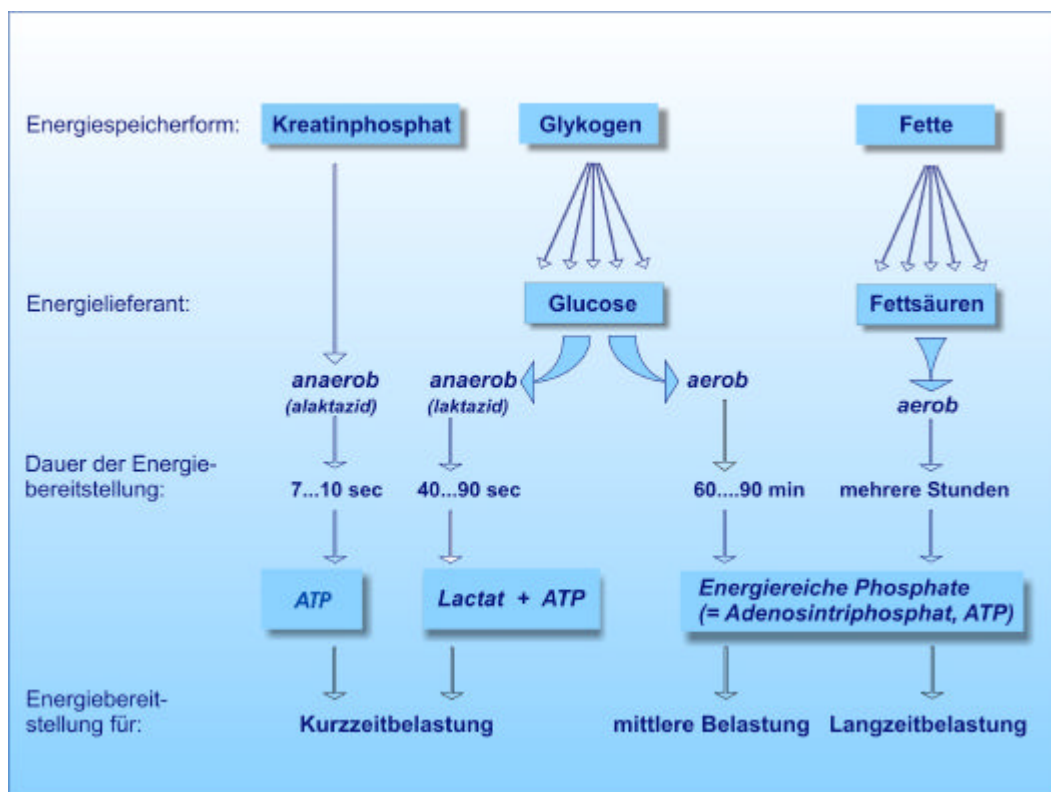


Abb. 1 Vereinfachter Überblick zur Energiebereitstellung im Muskel

Welche Laktatwerte treten im Körper auf?

Die Laktatkonzentrationen im Muskel führen zu einer entsprechenden Laktatkonzentration im Blut. Diese Laktatkonzentration ist messbar und wird auch als Laktatwert oder Laktatspiegel bezeichnet.

Die Anteile der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung sind von der körperlichen Belastung abhängig und ergänzen sich. Selbst im Ruhezustand finden beide Formen der Energiebereitstellung statt. Da hier jedoch der Energiebedarf im Wesentlichen durch die Zellatmung erfolgt, wird das Laktat, das anaerob gebildet wird, aerob wieder abgebaut. Dennoch beträgt der Laktatruhwert im Blut zwischen 1,0 mmol/l und 1,8 mmol/l. Bis zu einer Laktatkonzentration von 2 mmol/l im Blut geht man von einem aeroben Energiestoffwechsel aus. Wird eine höhere Muskelarbeit abgefordert, stellen sich die Muskelzellen zunehmend auf anaerobe Glykolyse um. Es wird jetzt mehr Laktat gebildet als abgebaut werden kann und in der Folge erhöht sich die Laktatkonzentration im Blut. Diese Phase wird als aerob-anaerober Übergang oder aerobe Schwelle (AS) bezeichnet, denn für diesen Bereich wurde folgender Sachverhalt beobachtet: Wird die mechanische Belastung der zu trainierenden Muskelgruppe definiert um einen bestimmten Betrag angehoben, und dann konstant gehalten, tritt zunächst eine Erhöhung des Laktatspiegels im Blut ein, der ebenfalls auf diesem (erhöhten) Niveau konstant bleibt. Laktatbildung und -elimination befinden sich wieder im Gleichgewicht, man spricht von einem „steady state“. Dieser Effekt bleibt zunächst bei weiter schrittweise ansteigenden Belastungen erhalten. Es wird jedoch bald eine Belastungsstufe erreicht, bei der die Laktatbildung trotz konstanter Dauerbelastung schneller erfolgt als der Abbau des Laktats. Dieser Übergang wird als anaerobe Schwelle (ANS) bezeichnet.

Der Trainingswissenschaftler Mader hat als einer der ersten empirisch ermittelt, daß die anaerobe Schwelle bei einem Laktatwert um 4 mmol/l im peripheren Blut liegt. Diese Schwelle ist allerdings auch von der physischen Verfassung, vom Ernährungsverhalten und anderen Parametern des Probanden abhängig. Bei weiterer Erhöhung der Belastung steigt der Laktatwert drastisch an. Im Grenzbereich der Leistungsfähigkeit des Probanden kann der Laktatwert bis über 20 mmol/l ansteigen. (siehe Abb.3).

Wie wird Laktat im Körper wieder beseitigt?

Laktat kann vom Körper auf unterschiedliche Weise abgebaut werden (Abb. 2). Wenn der Energiestoffwechsel wieder wesentlich über die Zellatmung erfolgen kann, wird das Laktat in seine Vorstufe, das Pyruvat, zurückverwandelt und in den Kraftwerken der Zelle, den Mitochondrien, oxidiert. Ein anderer Teil des Laktats gelangt über die Blutbahn in weniger belastete Muskelzellen und in Organe wie Leber, Nieren und Herz und wird dort verbrannt oder dient zum Wiederaufbau des Kohlenhydratspeichers Glykogen. Die Abbaurate des Laktats im Blut beträgt bei einer leichten Nachbelastung der Skelettmuskeln bis zu 0,5 mmol/l pro Minute. Wesentlich langsamer wird das Laktat abgebaut, wenn die Muskelzellen nach der Laktatbildung nicht aktiv bleiben.

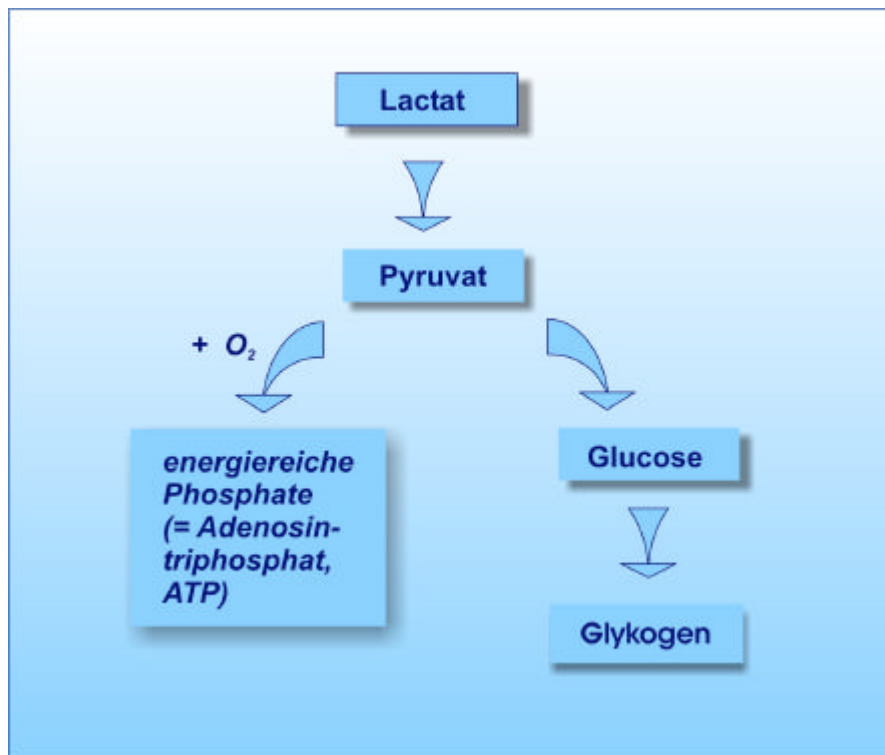


Abb. 2 Schematische Darstellung des Laktatabbaus

Welche Vorteile ergeben sich aus der Kenntnis des Laktatwertes?

In fundierten sportwissenschaftlichen Untersuchungen wurde eindrucksvoll nachgewiesen, daß ein gezieltes Ausdauertraining durch die Kenntnis der Laktatwerte im Blut möglich wird. Eine markante Steigerung der Ausdauerleistung tritt dann ein, wenn sich der Proband in Folge seiner Trainingsbelastung im Bereich der aerob-anaeroben Schwelle befindet.

Damit verbunden ist die Erhöhung der Konzentration der am aeroben Energiestoffwechsel beteiligten Enzyme, die Zunahme und Vergrößerung der Mitochondrien, die Verbesserung des kapillaren Stoffaufnahmesystems der Muskelzellen, eine größere Glucosetoleranz und eine effizientere Herztätigkeit. Diese Faktoren tragen dazu bei, dass die anaerobe Schwelle erst bei einer relativ hohen Belastung erreicht wird. Die Muskelzellen nutzen also die effizientere Energiegewinnung über die Zellatmung auch bei höherer Muskelbelastung. Es werden für die Energiebereitstellung neben Kohlenhydraten auch Fette abgebaut. Durch das gezielte Training im Bereich der anaeroben Schwelle lässt sich bei gegebenem Zeitaufwand eine maximale Leistungssteigerung und damit ein maximaler Trainingseffekt erzielen.

Bei einem überzogenen Training wird die aerob-anaerobe Schwelle überschritten und es treten sehr hohe Laktatkonzentrationen auf. In deren Folge übersäuern die Muskelzellen, so daß die Leistungsfähigkeit der betroffenen Muskelbereiche rasch abnimmt und die erwünschten strukturellen Änderungen im Muskelgewebe kaum stattfinden. Das Training ist dann ineffektiv und der gewünschte Trainingseffekt verkehrt sich in das Gegenteil.

Anders liegt der Sachverhalt bei extremen Kurzzeitbelastungen wie im Sprint, bei denen eine sehr schnelle und hohe anaerobe Energiebereitstellung erforderlich ist. Hier werden die Muskelzellen gezielt auf eine hohe Laktattoleranz trainiert.

2. Darüber hinaus kann durch die Feststellung der Lage der anaeroben Schwelle bei einem Sportler eine Aussage über seinen derzeitigen Trainingszustand sowie über die für ihn möglichen Spitzenleistungen gemacht werden. Bei einer regelmässigen Ermittlung dieses Wertes über einem längeren Zeitraum kann die erzielte Leistungssteigerung eines Sportlers verfolgt und dokumentiert werden.

Wie führt man einen Laktatstest durch?

Es wird in der Regel ein sogenannter Stufentest durchgeführt, bei dem der Proband einer stufenförmig ansteigenden Belastung ausgesetzt wird. Der Stufentest wird mit Hilfe eines Laufbandes, eines Ergometers oder im Stadion durchgeführt.

Es gibt mittlerweile eine Vielzahl sportartspezifischer Testvarianten und Auswertungsformen. Beim Stufentest werden vor allem die Muskelgruppen einbezogen, die für die jeweilige Sportart relevant sind.

Jede Belastungsstufe sollte mindestens über eine Zeitdauer von 3 min bis 5 min beibehalten werden, um sicherzustellen, daß die Laktatbildung, die typisch für die jeweilige Belastungsstufe ist, auch über den Laktatspiegel im Blut gemessen werden kann. Denn einerseits wird eine bestimmte Mindestzeit benötigt, in der sich die Muskelzellen auf die neue Belastung einstellen können und andererseits braucht es eine bestimmte Zeit (ca. 3 min), um das in den Muskelzellen gebildete Laktat in analoger Konzentration im Blut wiederzufinden.

Vor dem eigentlichen Stufentest ist eine leichte Erwärmung durchzuführen und dann der Laktatruhwert zu ermitteln.

Bei einem Stufentest mittels Laufband wird beispielsweise mit einer Belastung von 3 m/s begonnen. Nach 4 min bis 5 min wird innerhalb von 60 sec eine Probe entnommen und vermessen.

In der darauffolgenden Belastungsstufe wird die Laufgeschwindigkeit um 0,4 m/sec erhöht. Diese Vorgehensweise wird bis in den Grenzbereich der Leistungsfähigkeit des Probanden fortgesetzt.

Bei einer anderen Form der Stufentestdurchführung werden stufenweise Leistungen mit einem Ergometer vorgegeben. Beispielsweise wird mit einer Leistung von 150 W begonnen, die stufenweise um 10 W zu erhöhen ist.

Ein vierstufiger Feldstufentest, der häufig im Fußballbereich angewandt wird, sieht pro Belastungsstufe eine definierte Laufstrecke von 1200 m vor. Ausgehend von einer Laufgeschwindigkeit von 3 m/s für die erste Stufe wird nun von Belastungsstufe zu Belastungsstufe die Laufgeschwindigkeit um 0,5 m/s bis auf 4,5 m/s erhöht (vergl. Abb. 3).

Auf andere, sportartspezifische Laktatstufentests, die im Bereich des Leistungssports angewandt werden, muß auf die im Literaturverzeichnis aufgeführten Beiträge verwiesen werden.

Die Laktatwerte, die für die jeweilige Belastungsstufen erhalten werden, sind über der Laufgeschwindigkeit bzw. über der Leistung punktweise aufzutragen. Die resultierende Kurve bei Verbinden der Punkte ist dann insbesondere für den Bereich zwischen 2 mmol/l und 4 mmol/l Laktat auszuwerten. Je trainierter ein Proband ist, desto weiter rechts wird die Kurve den sogenannten anaeroben Schwellenwert (ANS) von 4 mmol/l schneiden (Abb. 3).

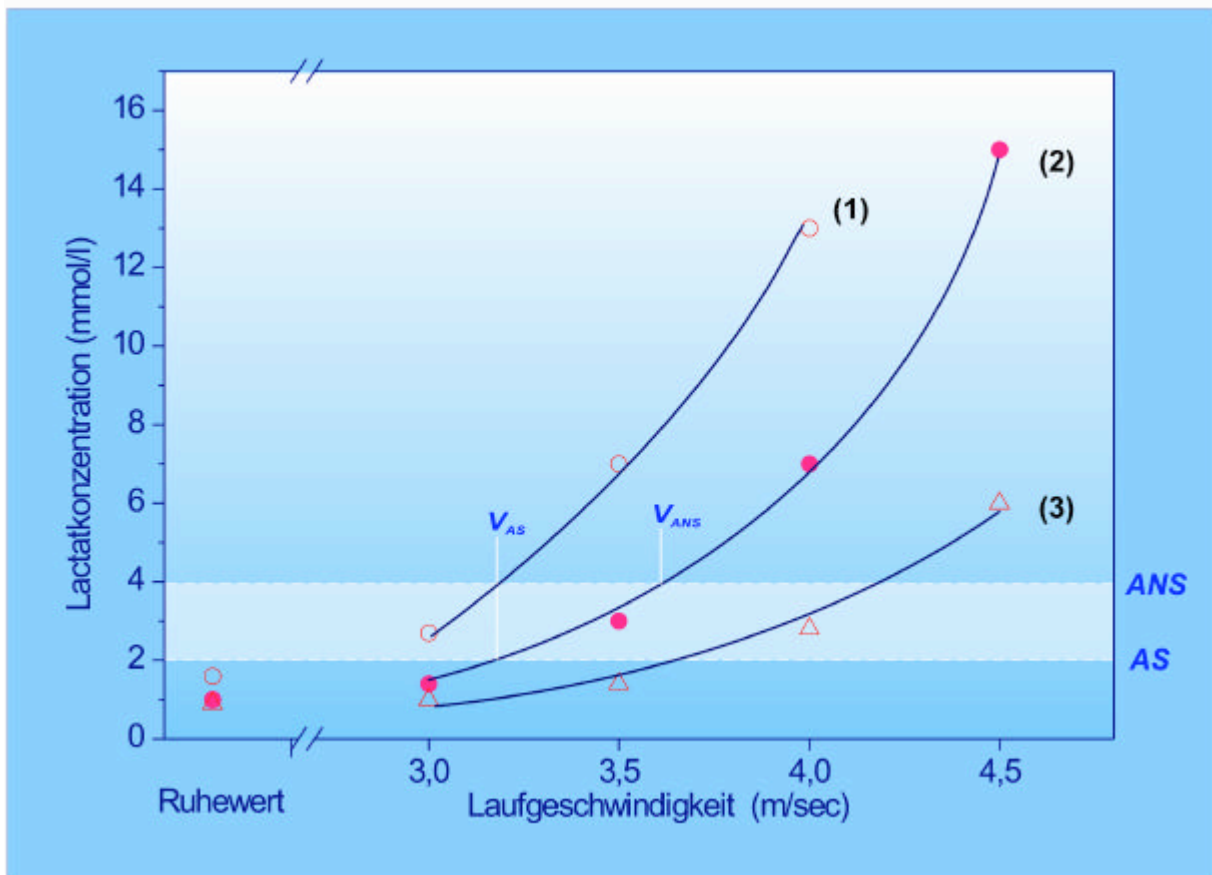


Abb.3 Stufentest: Blutlaktatwerte wurden in Abhängigkeit von Leistungsstufen (Laufgeschwindigkeit) für einen wenig trainierten Probanden (1), einen trainierten Probanden (2) und einen Leistungssportler (3) aufgenommen, AS: aerobe Schwelle, ANS: anaerobe Schwelle, V_{AS} : Laufgeschwindigkeit für die AS von Proband (2), V_{ANS} : Laufgeschwindigkeit für die ANS von Proband (2)

Was versteht man unter der individuellen anaeroben Schwelle?

Der fixe anaerobe Schwellenwert liegt im Durchschnitt bei 4 mmol/l Laktat. Dieser Wert entspricht aber nicht immer den individuellen Stoffwechselverhältnissen. Beispielsweise kann die anaerobe Schwelle bei Untrainierten zwischen 5 und 6 mmol/l Laktat liegen, während hochausdauertrainierte Personen einen anaeroben Schwellenwert von 2,5 bis 3 mmol/l Laktat aufweisen können. Aus diesem Grund wurde in der Sportwissenschaft der Begriff der individuellen anaeroben Schwelle (IANS) eingeführt. Zur Bestimmung der IANS existieren ca. 15 verschiedene Verfahren zur Ermittlung des anaeroben Schwellenwertes. Die meisten beruhen auf der Bestimmung eines definierten Anstiegs der Laktatkonzentration mittels einer Tangentenmethode (Keul et al., 1979). Für Läufer wurde z.B. ein Winkel von 45° ermittelt (Simon et al., 1981), wenn als Leistungseinheit die Geschwindigkeit in km/h gewählt wird.

Es ist also ratsam, das Laktattestverfahren und möglichst ein abgestimmtes Auswerteverfahren sorgfältig nach Leistungsfähigkeit und Einfachheit der Handhabung auszuwählen und danach möglichst über einen längeren Zeitraum in gleicher Weise einzusetzen.

Für ambitionierte Amateure und Leistungssportler empfiehlt sich die Zusammenarbeit mit einem niedergelassenen Sportmediziner oder einem Trainingswissenschaftler, um Messungen zum optimalen Trainingszeitpunkt durchzuführen und die Messwerte in möglichst umfassend zu interpretieren.

Welche Einflüsse sind bei der Durchführung eines Laktattests und der Messung zu beachten?

Gesundheit: Der Proband muß sich in einer guten physischen Verfassung befinden.

Ernährung: Da der Laktatwert auch von dem Kohlenhydratvorrat des Körpers beeinflusst wird, sollte der Test unter möglichst gleichen Bedingungen in Bezug auf die vorangegangene Nahrungsaufnahme durchgeführt werden. Sinnvoll ist es, wenn der Glykogenspeicher am Tag vor dem Test immer in gleicher Weise aufgefüllt wird, z.B. durch spezielle kohlenhydratreiche Speisen wie Nudelgerichte, Kartoffeln, Brot etc.. Die Einnahme von Alkohol ist zu vermeiden.

Vorbereitung zur Probenahme: Die Stelle zur Entnahme von Kapillarblut (wenn möglich Ohrläppchen und nur im Ausnahmefall Fingerbeere) ist sorgfältig mit Wasser oder einem Desinfektionstuch zu säubern und zu trocknen. Insbesondere Schweiß, in dem sich hohe Laktatmengen aufkonzentrieren können, muß sorgsam entfernt werden, um die Messung nicht zu verfälschen.

Probenahme: Bei der Probenahme ist der erste Blutropfen mit einem sauberen trockenen Tuch abzuwischen. Die Blutprobe sollte aus dem dann nachfließenden Blut abgenommen werden. Außerdem ist darauf zu achten, daß der Blutropfen nicht durch zu starkes Pressen an der Probenahmestelle gewonnen wird, da ansonsten Gewebsflüssigkeit mit austritt und den Wert verfälscht. Bei zu geringer Blutung wird die Verwendung einer Hyperämierungscreme empfohlen, mit der die Probenahmestelle zuvor zu behandeln ist.

Fingerbeeren enthalten wesentlich mehr Schweißdrüsen als das Hautgewebe der Ohrläppchen. Aufgrund der kontinuierlichen Schweißabsonderung nach starker körperlicher Belastung besteht bei der Probenahme über die Fingerbeeren die Gefahr, dass sich der Blutropfen mit Schweiß vermischt und dadurch der Messwert zu hoch ausfällt. Sofern die Möglichkeit besteht, sollte die Probe deshalb durch eine zweite Person aus dem Ohrläppchen entnommen werden,

Literatur:

Fabian, K., Eisenkolb, Sauermann, A.: **Praktikable Trainingssteuerung im leichtathletischen Langsprint durch Blutlaktatmessung**, Leistungssport 27(1997)4, 14-16

Fabian, K.: **Zur Qualität der Laktatanalytik** Leistungssport 28(1998)1, 42

Föhrenbach, R., Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Vellage, E. Hollmann, W.: **Wettkampf- und Trainingssteuerung von Marathonläuferinnen und -läufern mittels leistungsdiagnostischer Feldtestuntersuchungen** in Franz, I.-W., Mellerowicz, H., Noack, W. (Hrsg.): *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt*, Deutscher Sportärztekongress, Berlin, 27.-29.09. 1984, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 770-777

Heck, H., Hess, G., Mader, A.: **Vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Laktat-Schwellenwertkonzepten**, Dt. Zeitschrift für Sportmedizin (1985)1, 19-25

Hollmann, W., Mader, A., Heck, H., Liesen, H., Olbrecht, J.: **Laktatdiagnostik – Die Entwicklung und praktische Bedeutung in der Sportmedizin und klinischen Leistungsdiagnostik** Medizintechnik 105(1985)5, 154-162

Jablonski, D., Liesen, D., Kraus J., Mödler, H.: **Intensitätssteuerung und Leistungsbeurteilung beim Jogging**, Fortschr. Med. 103(1985)4, 47-50

Keul, J., Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H.-H., Gvertler, I., Kübel, R.: **Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung**, Dt. Zeitschrift für Sportmedizin (1979)7, 212-218.

Neumann, G.: **Sportmedizin. Grundlagen der Ausdauerentwicklung**, Medizin und Sport (1984)6, 174-178

Neumann, G., Pfützner, A., Hottenrott, K.: **Alles unter Kontrolle**, Meyer u. Meyer Verlag 2000, Aachen

Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H.-H., Simon-Alt, A., Keul, J.: **Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit von Alter und Leistungsfähigkeit**, Dt. Zeitschrift für Sportmedizin (1981)1, 7-14

Simon, G., Haaker, R., Jung, K., Bockhorst, J.: **Verhalten von Laktat, Atem – und Blutgasen an der aeroben und anaeroben Schwelle**, in Franz, I.-W., Mellerowicz, H., Noack, W. (Hrsg.): *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt*, Deutscher Sportärztekongress, Berlin, 27.-29.09. 1984, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 819-825

Völker, K., Gracher, M., Wibbels, T., Hollmann, W.: **Über die Notwendigkeit der Steuerung der Belastungsintensität im Breitensport** in Franz, I.-W., Mellerowicz, H., Noack, W. (Hrsg.): *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt*, Deutscher Sportärztekongress, Berlin, 27.-29.09. 1984, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 547-552

Zintl, F., Eisenhut, A.: **Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung**, BLV Verlagsgesellschaft München Wien Zürich, 5 überarb. Auflage, 2001