

6.2 | FORMEN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG

Um Schnelligkeits-, Ausdauer- oder Kraftleistungen zu erbringen, ist Energie erforderlich, die den Muskelzellen in unterschiedlichen Formen zur Verfügung steht. Möchte der Athlet seinen Körper schnell, ausdauernd oder kraftvoll bewegen, geschieht das über die koordinierte Kontraktion der entsprechenden Muskulatur. Verantwortlich dafür sind die Eiweißkörper Aktin und Myosin in den Sarkomeren (Längsabschnitte der Muskelfaser), die sich bei der Kontraktion zusammenziehen. Für die Kontraktion benötigen die Muskelzellen Energie, die zunächst einmal in Form des ATP (Adenosin-Triphosphat) direkt in der Muskelzelle zur Verfügung steht. Indem das ATP in ADP (Adenosin-Diphosphat) und den Phosphatrest P gespalten wird, kann der Myosinkopf mit der freigewordenen Energie das Aktin heranziehen (Abb. 6.12). So verkürzen sich die Sarkomere und damit der Muskel in mehr oder weniger großer Geschwindigkeit und eine Bewegung entsteht. Da das ATP nur in kleiner Menge bzw. für wenige maximale Kontraktionen zur Verfügung steht, muss es umgehend wieder aus ADP und P aufgebaut werden.

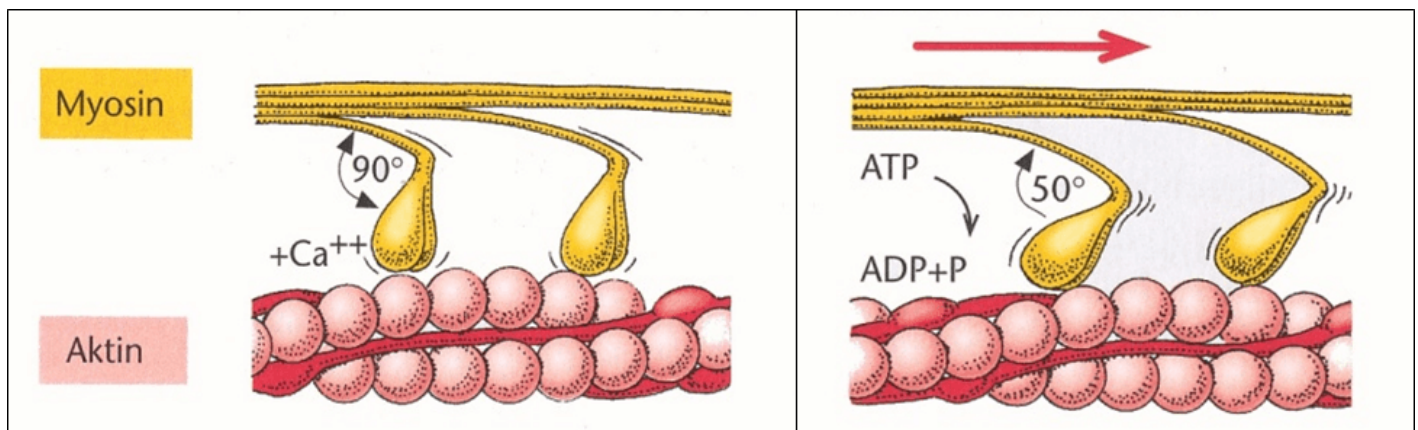


Abb. 6.12 Mechanismus der Muskelkontraktion, unter Beteiligung des ATP zieht der Kopf des Myosins das Aktin zu sich und verkürzt so das Sarkomer (Huch & Bauer, 2022)

Für die Resynthese des ATP stehen dem Körper verschiedene Energiequellen bzw. -systeme zur Verfügung, die sich bezüglich der Schnelligkeit der Energiebereitstellung, aber auch der Dauer, für die diese Energie zum ATP-Wiederaufbau genügt, deutlich unterscheiden:

- Das ATP selber reicht – wie schon ausgeführt – für wenige maximale Kontraktionen bzw. ca. 1-2 Sekunden höchster Leistungsintensität (Sprünge, Würfe, Start).
- Das Kreatinphosphat (KP) in der Muskelzelle kann sehr schnell und ohne Leistungsverlust das ATP wieder aufbauen, doch reicht der KP-Speicher in der Zelle nur für weitere 4-6 Sekunden höchster Leistungsintensität.
- ATP und KP zusammen genommen ermöglichen 6-8 Sekunden fortgesetzter maximaler Muskelleistung, z. B. im Sprint für 60 bis 80 m maximale Beschleunigung und

Höchstgeschwindigkeit.

- Mittels der Glykolyse, also der anaeroben Nutzung der Glukose, kann das ATP schnell (in ca. 90-95 % der Geschwindigkeit des KP) wiederhergestellt und über 20-30 Sekunden eine hohe Leistungsintensität realisiert werden.
- Gemeinsam mit dem ATP- und KP-Speicher können mittels der anaeroben Glykolyse Strecken bei höchster Intensität bis 40 sec Dauer, also Lauf- bzw. Fahrstrecken von 300-400 m (=Langsprint), bei weniger intensiver Ausschöpfung bis 120 sec Dauer, entsprechend Strecken bis 800-1.000 m bewältigen.
- Durch das Abfallprodukt der Glykolyse, das Laktat, wird die Übersäuerung im Blut in dieser Zeit so hoch, dass in einer Art Schutzhemmung die Belastung abgebrochen werden muss (Langsprint, Mittelstrecke).
- Die VO₂max, die Geschwindigkeit bei maximaler Sauerstoffaufnahme, kann ca. 10 Minuten (Lauf 3.000 m, Rennrollstuhl ca. 5.000 m) aufrechterhalten werden.
- Ist die Geschwindigkeit etwas niedriger und wird gerade so viel Laktat produziert, dass es durch den gleichzeitigen Abbau auf hohem Niveau (ca. 4-6 mmol) konstant gehalten wird (=das maximale Laktat-Steady State), kann eine immer noch hohe Belastung bis zum Aufbrauchen der Glukose für ca. 30 min durchgehalten werden.
- Allein durch die aerobe Glukoseverbrennung kann eine ähnlich hohe Leistung (ca. 80 % der max. Geschwindigkeit) über einen Zeitraum von 30 bis 90 min aufrechterhalten werden (Langstrecke).
- Die aerobe Fettverbrennung ermöglicht eine praktisch unbegrenzte vielstündige Energiebereitstellung in geringer bis mittlerer Intensität (lange Langstrecken, körperliche Arbeit; nach Weineck, 2019).
- Für einen intensiven Fettstoffwechsel, wie er für Spitzenleistungen im Ausdauersport erforderlich ist, muss ein Minimum an Glukose vorhanden bleiben, da es für den Fettstoffwechsel enzymatischen Charakter hat. Ist die Glukose völlig aufgebraucht, droht ein abrupter Leistungsabfall.

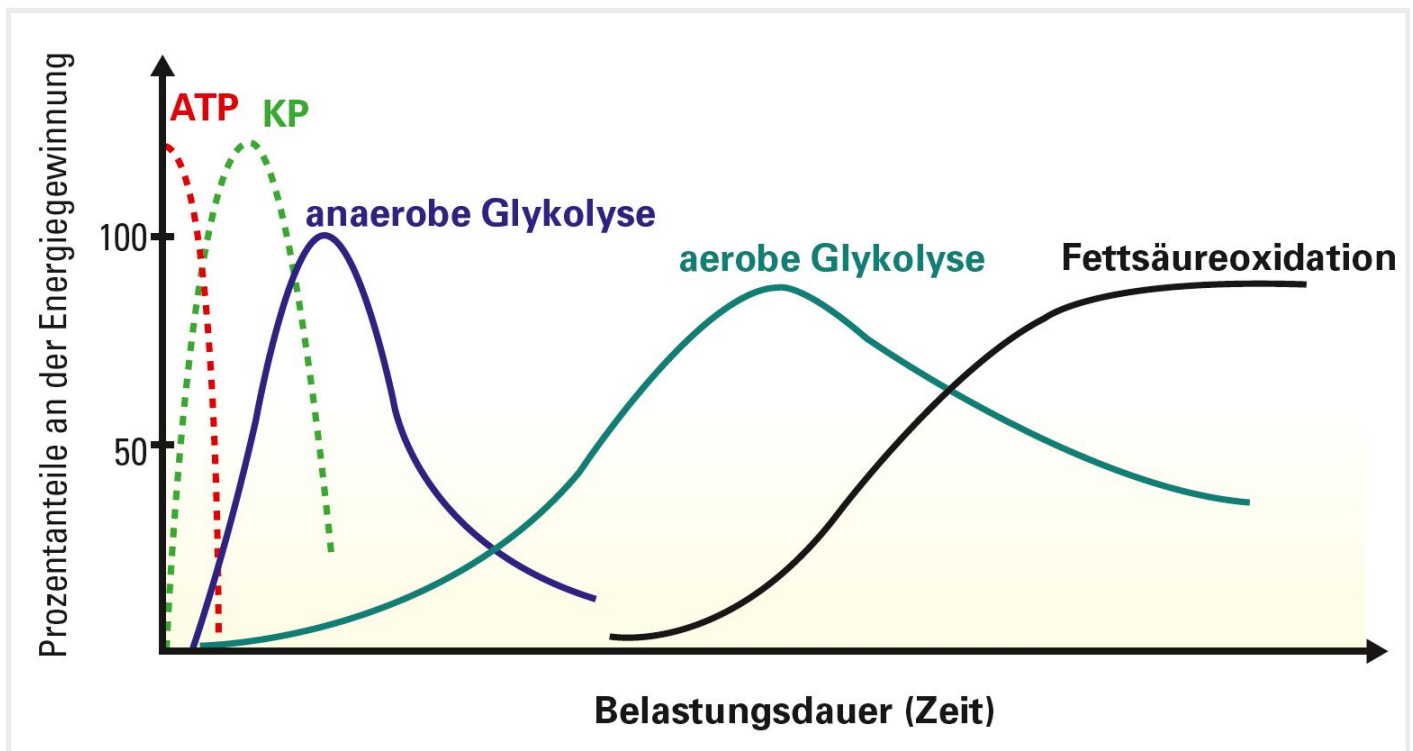


Abb. 6.13 Anteile an der Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsdauer

Für die verschiedenen Formen der Energiebereitstellung gibt es besonders geeignete Muskelfasern:

- Die Typ-II- bzw. weißen, schnellen FT-Fasern (FT = Fast-Twitch) mit einem hohen Anteil an energiereichen Phosphaten, Glykogen und Enzymen für den anaeroben Stoffwechsel
- Die Typ-I bzw. roten, langsamen ST-Fasern (ST = Slow-Twitch) mit einem hohen Anteil an Mitochondrien und Enzymen für den aeroben Stoffwechsel

Dazu kommen weitere Differenzierungen des Typ II in IIx, IIa, IIc (vergl. Weineck, 2019), die in ihrer Funktionsweise zwischen Typ I und II eingeordnet werden können, aber im Folgenden vernachlässigt werden. Durchschnittlich sind die roten und die weißen Fasern zu gleichen Anteilen in der Skelettmuskulatur vorhanden, damit der Organismus auf unterschiedliche Belastungen durch vorrangigen Einsatz der entsprechenden Muskelfasern reagieren kann. Erfolgreiche Schnellkraftsportler verfügen häufig über einen höheren Anteil der schnellen Muskelfasern („Schnellzucker“, s. o., Kap. 6.1.5), Ausdauersportler über einen höheren Anteil roter Muskelfasern, man kann jeweils von einem Talentfaktor sprechen. Durch Training kann die Faserzusammensetzung allerdings beeinflusst werden:

- Durch hochintensive, kurze Trainingsreize werden gezielt die schnellen Muskelfasern angesprochen, die darauf mit einer Querschnittszunahme reagieren, was sich vorteilhaft auf die Kraft- und Schnellkraftleistungen auswirkt (s. u., Kap. 6.3.5 und Kap. 6.3.6).
- Mit langdauernden Ausdauerbelastungen in angemessener Intensität werden gezielt die ausdauernden Muskelfasern angesprochen, die ihren Mitochondrien- und Enzymbesatz

entsprechend anpassen/ vergrößern. Zudem können sich bei fortgesetztem Ausdauertraining Typ-II Fasern reversibel in ausdauernde Typ- I-Fasern verwandeln. Dadurch steigt der relative Anteil der ausdauernden Muskelfasern und ermöglicht höhere Ausdauerleistungen (s. u., Kap. 6.3.3).

Derart reine Belastungsanforderungen, also nur Schnellkraft oder nur Ausdauer, treten in der Sportpraxis selten auf, ersteres z. B. im Kugelstoß, letzteres bei Ultralangläufen. Ansonsten sind in den zyklischen Sportarten unterschiedliche Formen des Energiemixes erforderlich (Abb. 6.14):

- So muss schon im 100-m-Sprint neben der ATP-/KP-Energie für die letzten Meter bzw. Sekunden ein Teil der Energie aus der anaeroben Glukoseverbrennung gewonnen werden.
- Im Langsprint und der kurzen Mittelstrecke kann nicht die gesamte Strecke mit der anaeroben Energie bestritten werden, sondern muss schon die aerobe Glukoseverbrennung einsetzen. Dieser Anteil steigt mit zunehmender Streckenlänge bzw. Belastungsdauer.
- Im Langlauf kommt ein Energiemix aus Kohlenhydrat- und Fettverbrennung zum Einsatz. Während im 5.000-m-Lauf die Glukoseverbrennung dominiert, macht im Marathonlauf die Fettverbrennung den größten Anteil der Energieerzeugung aus.

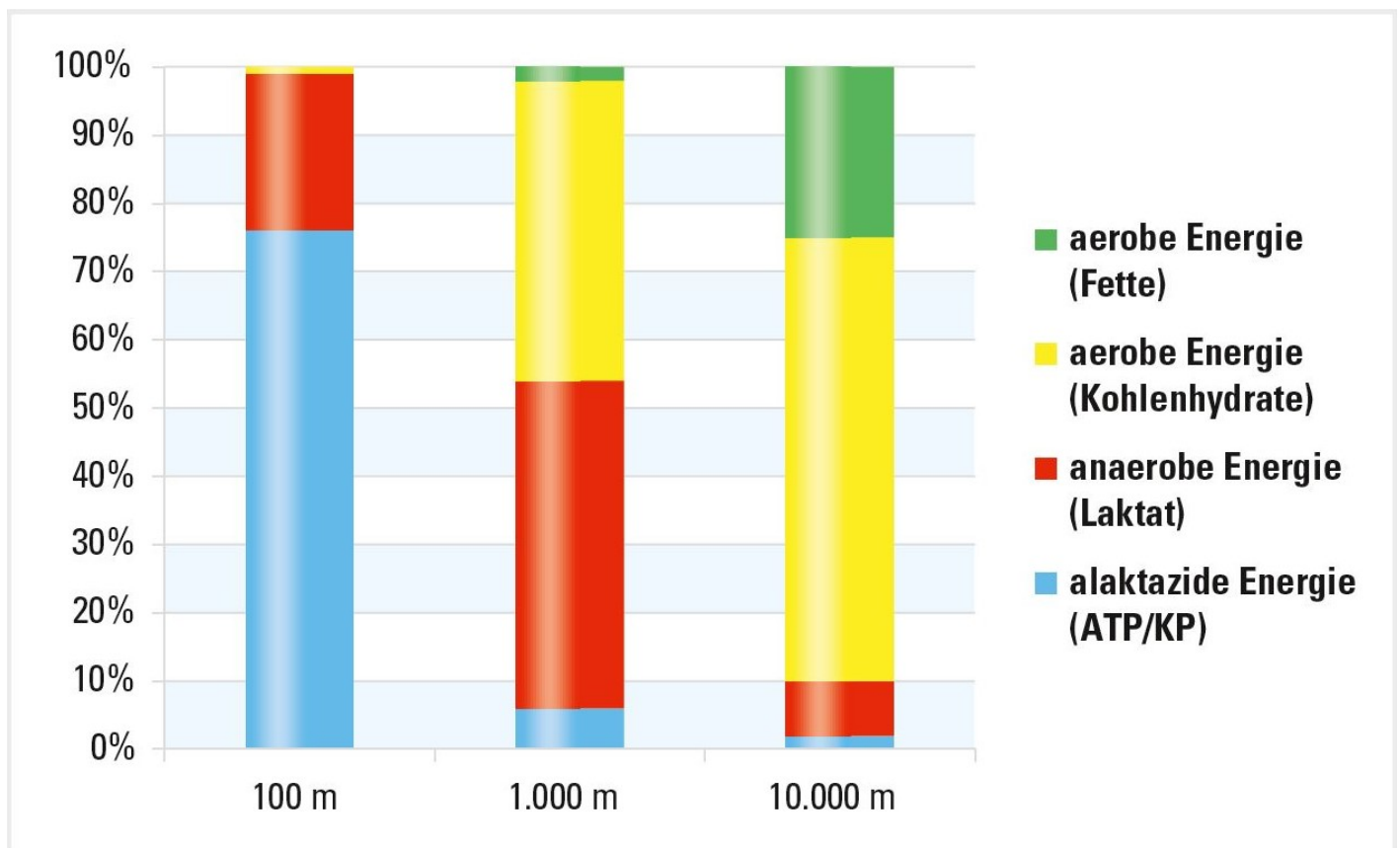


Abb. 6.14 Prozentuale Anteile der Energiequellen bei unterschiedlich langen Laufstrecken

Durch einen Laktat-Stufentest kann die Leistungsfähigkeit eines Sportlers auf den verschiedenen Intensitätsstufen ermittelt werden. Die Höhe des Laktats gibt Auskunft über die Art der

Energiebereitstellung. Bei sehr niedrigen Laktatwerten (< 1 mmol/l) wird primär Fett verbrannt, so dass die da erbrachte Geschwindigkeit sehr lange durchgehalten werden kann. Bei Laktatwerten um 2 mmol/l ist der Anteil der aeroben Glukoseverbrennung schon erheblich, jenseits der 3 mmol/l wird die anaerobe Glykolyse immer stärker, so dass die da erbrachte Leistung nur befristet durchgehalten werden kann. Im Ergebnis des Laktat-Stufentest entsteht eine individuelle Laktatkurve (Abb. 6.15), die in verschiedene Abschnitte unterteilt werden kann:

- Einen mehr oder weniger langen Abschnitt steigender Laufgeschwindigkeit, der durch zunehmende Herzfrequenz, aber einen sehr geringen Laktat-Anstieg gekennzeichnet ist und den Bereich der Energieversorgung darstellt, der aerob ohne ein nennenswertes Laktataufkommen absolviert werden kann. Dabei gilt, je niedriger der Laktatgehalt, umso höher der Anteil der Fettverbrennung (in Abb. 6.15 der ReKom-Bereich = Regeneration und Kompensation).
- Bei weiterer Geschwindigkeitszunahme wird der Anteil der Kohlenhydrat-Verbrennung höher, doch kann die geringe Menge anfallenden Laktats direkt wieder abgebaut werden. Dieser Intensitätsbereich (grün) ist besonders zur Entwicklung der Grundlagenausdauer (GA1) geeignet.
- Bei weiter steigender Geschwindigkeit wird die Kohlenhydratverbrennung dominant und muss ein Teil der Energie anaerob unter Bildung von Laktat produziert werden. Doch kann immer noch das Blutlaktat, wenn auch auf höherem Niveau bis zum maximalen Steady-State, zugleich die aerobanaerobe Schwelle, konstant gehalten werden (blau, GA2).
- Erst jenseits der aerob-anaeroben Schwelle, bei noch höherer Geschwindigkeit, übersteigt die Laktatproduktion den -abbau, so dass das Laktat immer weiter ansteigt und nach einiger Zeit zum Leistungsabbruch führt. Diese Geschwindigkeiten bzw. Intensitäten (roter Bereich, WSA) können also nur befristet, z. B. für einen Tempodauerlauf oder ein Intervalltraining genutzt werden.

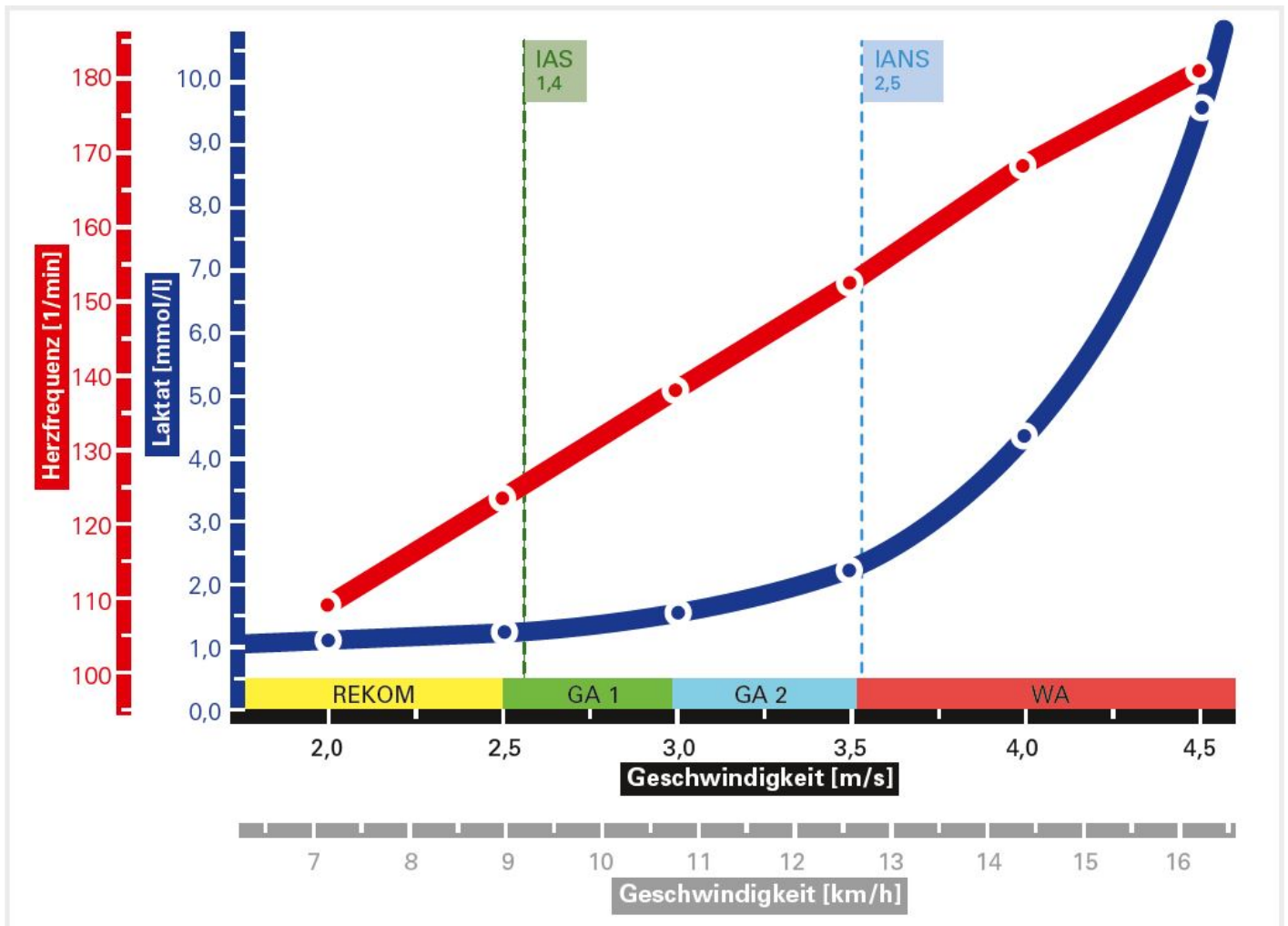


Abb. 6.15 Herzfrequenz- und Laktat-Leistungskurve: gelb = Geschwindigkeit zur Regeneration und Kompensation (ReKom), grün = Geschwindigkeit zur Entwicklung der aeroben Ausdauer (GA1), blau = Geschwindigkeit zur Entwicklung der intensiven aeroben Ausdauer (GA2), rot = Geschwindigkeiten zur Ausprägung der wettkampfspezifischen Ausdauer (WA)

Durch ein fortgesetztes Ausdauertraining wird die Laktatkurve nach rechts verschoben, so dass in allen Bereichen höhere Laufgeschwindigkeiten möglich sind. Der Blutlaktatspiegel kann zusätzlich als Marker bzw. Warnhinweis im Schnelligkeitstraining eingesetzt werden. Sind die Sprintstrecken zu lang und/oder die Pausen zu kurz, summiert sich von Lauf zu Lauf das Laktat, so dass nicht mehr die Schnelligkeit, sondern die Schnelligkeitsausdauer trainiert wird, die für die Entwicklung maximaler Geschwindigkeiten kontraproduktiv ist. Treten also im Schnelligkeitstraining hohe bzw. ansteigende Laktatwerte auf, sollten entweder die Strecken verkürzt, oder die Pausen verlängert werden.