

## 02/1999 - Sportartspezifische Leistungsdiagnostik

### Basis für die richtige Trainingsbelastung

**Die richtige Trainingsbelastung ist für alle Sporttreibenden eine Grundvoraussetzung, um die gesetzten persönlichen Ziele zu erreichen. Häufig wird das Trainingsziel verfehlt, weil die Belastungen nicht auf die individuelle Leistungsfähigkeit bzw. den aktuellen Trainingszustand abgestimmt sind. Die methodische Steuerung der Trainingsbelastung setzt eine sportartspezifische Leistungsdiagnostik – inzwischen eine unentbehrliche Hilfe bei der Vorbereitung persönlicher Höchstleistungen – voraus. Sowohl im Leistungs- als auch im Fitnesssport ist die Leistungsdiagnostik im Labor als Kontrolle der Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit nicht mehr wegzudenken. Das Ziel ist die Überprüfung des durch das Training erreichten Anpassungszustandes.**

Die sportartspezifische Leistungsdiagnostik ist im Abstand von drei bis vier Monaten sowohl für den Fitnesssportler als auch für den Leistungssportler eine nützliche Untersuchung zur objektiven Kennzeichnung des trainingsbedingten Anpassungszustandes. Vorteilhaft ist die Bestimmung von Herzfrequenz, Laktat und Sauerstoffaufnahme bei der leistungsdiagnostischen Untersuchung. Durch den Einsatz mehrerer Messgrößen steigt die Sicherheit im diagnostischen Urteil. Oft sind besonders bei mehrjährigem Training die leistungsdiagnostischen Befunde nur diskret verändert und erfordern in der Bewertung Sachkenntnis. Vor allem sollten diagnostische Daten stets im Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Training bewertet werden. Dadurch werden Fehlurteile vermieden. Die Leistungsfortschritte erfolgen sowohl im Fitness- als auch im Leistungssport nicht in großen Sprüngen, jeder Leistungsverbesserung liegt eine adäquate Anpassung in leistungsbestimmenden Funktionssystemen zugrunde. Leistungsorientiertes Training kann auch vorübergehend zu Befundverschlechterung führen; die Diagnostik weist dann auf notwendige Trainingskorrekturen hin. Herzfrequenz, Laktat und Sauerstoffaufnahme sind biologische Meßgrößen, die die Reizstärke einer Trainingsbelastung oder die Wirkrichtung eines Trainingszyklus sehr genau widerspiegeln und für ein zielgerichtetes kontrollierbares

Leistungsstraining unentbehrlich sind. Im Hochleistungssport werden weitere Messgrößen wie Serumharnstoff bei extremen Trainingsumfängen (z.B. im Trainingslager) oder Serumkreatinkinase bei neuen Anforderungen an die Muskulatur (z.B. Tempo- oder Frequenztraining) zur Kontrolle der Belastungen hinzugezogen.

## **Trainingsanpassungen brauchen Zeit**

Die durch das Training hervorgerufene Anpassung der einzelnen Organe verläuft zeitlich unterschiedlich. Die Herzschlagfrequenz (Hf) kann sich am schnellsten verändern (Abb. 1). Die zur Trainingssteuerung genutzte Laktatkonzentration wird durch die Wirkrichtung des Leistungsstrainings, den Ermüdungszustand, den Füllungszustand der Glycogenspeicher, durch Umstellungen im Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel sowie andere Faktoren beeinflusst. Die Größe der Veränderungen ist abhängig vom Leistungszustand, d.h. je höher die Leistungsfähigkeit ist, desto kleiner sind die Veränderungen und umgekehrt. Die längste Zeit zur Anpassung durch Training benötigt die Sauerstoffaufnahme auf submaximalen und maximalen Belastungsstufen. Erst nach 4 bis 6 Wochen reizwirksamer Belastung ist mit einer strukturellen und funktionellen Anpassung beim leistungssportlichen Training zu rechnen. Daher sollten leistungsdiagnostische Untersuchungen erst im Abstand von über 8 Wochen erfolgen. Die Wirkung des Trainings kann sich in einer Zunahme oder auch Abnahme von Hf, Laktat sowie submaximaler und/oder maximaler O<sub>2</sub>-Aufnahme äußern. Die Anpassung vollzieht sich besonders in der sportartspezifisch beanspruchten Muskulatur und in den zentralen Vermittlungssystemen des Gesamtorganismus, wie Herz-Kreislauf- und Atmungssystem, Stoffwechsel, Motorik, Immunsystem u.a..

### Adaptionszeit leistungsrelevanter Meßgrößen

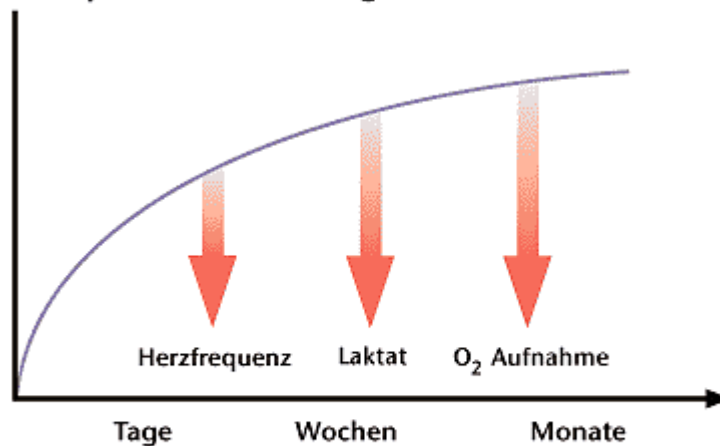


Abb. 1: Schematische Darstellung der durchschnittlichen Adaptionszeiten von Herzfrequenz, anaeroben Energiestoffwechsel (Laktat) und Sauerstoffaufnahme im Leistungstraining.

## Dominantes Grundlagenausdauertraining ist erforderlich

Die sportartspezifische Leistungsfähigkeit kann mit unterschiedlichen Trainingsmethoden entwickelt werden, wobei Ausdauersportler das Grundlagenausdauertraining (GA1-Training in aerober Stoffwechsellaage bei Laktat < 2 mmol/l) mit Anteilen von über 70% an der Gesamtbelastung bevorzugen. Die aerobe Grundleistungsfähigkeit ist eine entscheidende Voraussetzung für die Verträglichkeit intensiver sportartspezifischer Trainingsbelastungen. An den Eckpunkten des Leistungstrainings ist die Leistungsdiagnostik eine objektive Möglichkeit, das erreichte Anpassungsniveau und die Leistungsgrundlagen zu beurteilen. So konnte z.B. mit Hilfe der Leistungsdiagnostik belegt werden, dass die ständige Unterbrechung des GA 1-Trainings mit hohen intensiven Anteilen (GA 2- und wettkampfspezifisches Ausdauertraining [WSA] mit über 20% an Gesamtbelastung) zu einer schnellen Leistungsentwicklung führt, die aber leider instabil ist. Der Nachteil dieses vorzeitigen „Mischtrainings“ ist, dass die Optimierung der Leistungsfähigkeit auf zu niedrigem Niveau erfolgt. Wenn die aerobe Basisleistung zur Kompensation intensiver Belastungen unzureichend ausgebildet ist, kommt es nach nur wenigen Wettkämpfen zu einer Leistungsinstabilität. In der Wettkampfsaison ist ein aerobes Nachholtraining begrenzt möglich bzw. bedeutet längere Wettkampfabstinenz. Motorische Defizite (Geschwindigkeitsreserven) lassen sich schneller nachtrainieren als eine zu niedrige aerobe Basisleistungsfähigkeit.

## Diagnostische Kennzeichen stabiler Anpassung

### Herzschlagfrequenz (Hf)

Die Zustandsänderungen im Herz-Kreislauf-System vollziehen sich in der kürzesten Zeit (s. Abb. 1). Bereits nach 8 Tagen standardisierten Trainings kann es zu einer deutlichen Abnahme der submaximalen Hf kommen. Bei der Messwertbeurteilung ist stets an eine bestimmte biologisch verursachte Schwankung der Hf zu denken, die im Normalfall etwa 4-6 Schläge/min beträgt. Erst Hf-Veränderungen über 6-8 Schläge/min bedeuten, dass eine echte Zustandsveränderung im Herz-Kreislauf-System durch Training eingetreten ist. Bei mehrjährigem Leistungstraining kommt es zur Abnahme der Hf auf submaximalen Belastungsstufen. Diese durch das Ausdauertraining erreichte Anpassung im Herz-Kreislauf-System kann zur Ausbildung eines Sporthertzens (Herzvergrößerung) führen. Dadurch nimmt die Herzfrequenz in Ruhe und bei Belastung ab.

### Laktat

Auch die Laktatkonzentration unterliegt einer physiologischen Schwankung, die bis zu 10% betragen kann. Einflussfaktoren auf den Laktatspiegel sind der Leistungszustand, der Füllungsstatus der Glycogenspeicher, die muskuläre Restermüdung (Kraftverlust), die veränderte Muskelfaseransteuerung sowie die erhöhte Außentemperatur. Bei Kenntnis der Einflussfaktoren und wiederholten Messungen bei derselben Person können auch kleinere Messwertunterschiede in der Laktatkonzentration (< 10%) als echt (signifikant) gedeutet werden. In der Leistungsdiagnostik hat die Bestimmung von aerob-anaeroben Stoffwechselschwellen mit Hilfe des Laktats einen hohen Stellenwert. Bei Zunahme der aeroben Leistungsfähigkeit erreicht der Sportler eine höhere Geschwindigkeit oder Leistung mit weniger Laktat. Die Abbildung 2 verdeutlicht, dass es beim Leistungstraining auch Rückschläge geben kann, d.h. statt zu einer Verbesserung, kann es auch vorübergehend zur Stagnation oder gar Verschlechterung der Leistungsfähigkeit kommen. Ursachen dafür sind meist nachschwingende Ermüdungsprozesse, die in einer monatlich durchgeführten Diagnostik nicht zu vermeiden sind. Entscheidend ist, dass der Leistungsdiagnostik-Befund Anlass zur Trainingskorrektur ist. Der höchste Anspruch an ein Testverfahren ist dann gegeben, wenn aus den Ergebnissen prognostisch auf die Wettkampfleistungsfähigkeit

geschlossen werden kann. Beispielsweise kann bei Triathleten von der bei Laktat 2 mmol/l in einem 4 x 4 km-Laufbandstufentest erreichten Geschwindigkeit direkt auf die 10 km-Laufzeit im Triathlon geschlossen werden (Abb. 3). Langstreckenläufer können aufgrund ihres höheren spezifischen Trainingsaufwandes und der zusätzlichen Inanspruchnahme des anaeroben Stoffwechselweges im 10 km-Wettkampf um 0,5 m/s schneller laufen als der erreichten Geschwindigkeit bei 2 mmol/l Laktat (=vL2) aussagt. Die Beispiele aus den Sportarten sollen verdeutlichen, dass der vL2 ein empfindlicher und zuverlässiger Indikator zur Beurteilung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit ist, besonders des aeroben Trainingszustandes.

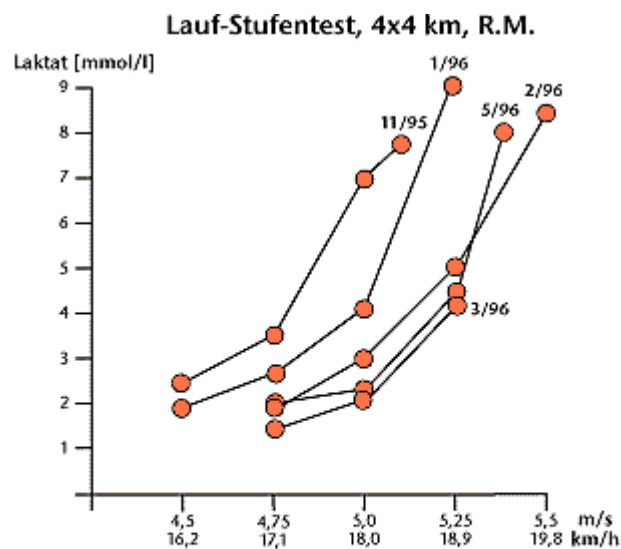


Abb. 2: Darstellung der Laktat-Geschwindigkeitskurve bei einem leistungs-starken Triathleten, der sich in Vorbereitung der Saison monatlich einer Laufbanduntersuchung im 4 x 4 km-Stufentest unterzog. In Abhängigkeit vom Training (Restermüdung) kam es zu unterschiedlichen Entwicklungen der Laktat-Geschwindigkeitskurve.

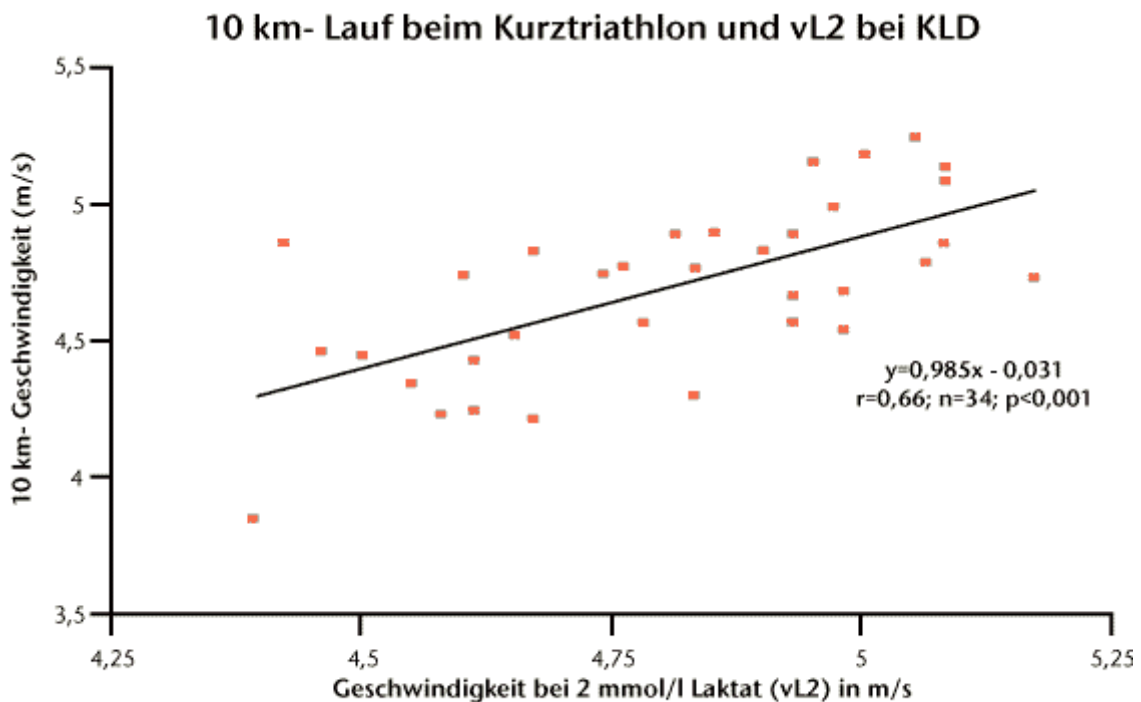


Abb. 3: Zusammenhang zwischen der 10 km-Geschwindigkeit im Triathlonwettbewerb und der erreichten Geschwindigkeit bei 2 mmol/l Laktat (vL2) im 4 x 4 km-Laufbandstufentest.

### Maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub> max)

In den Ausdauersportarten sind bestimmte Referenzwerte in der VO<sub>2</sub> max zu erreichen, da ohne diese erfahrungsgemäß Höchstleistungen nicht möglich sind. Eine wichtige Referenzgröße ist die VO<sub>2</sub> max. Die niedrige maximale Sauerstoffaufnahme ist Kennzeichen unzureichender Sauerstoffversorgung bei hoher Belastung. Eine zu geringe muskuläre Sauerstoffversorgung muss mit erhöhter Laktatbildung (anaerober Stoffwechsel/Glycolyse) kompensiert werden. Derzeit werden deshalb Trainingsmethoden bevorzugt, die zu einer geringen Laktatbildung führen.

### Sauerstoffaufnahme bei submaximalen Leistungen

Die submaximale Sauerstoffaufnahme ist keine stabile Größe, sie unterliegt trainingsbedingten Änderungen. Besonders bei Ausprägung der Laufökonomie vermindert sich die submaximale Sauerstoffaufnahme. Zu den Einflussfaktoren auf die Sauerstoffaufnahme beim Lauf zählen Laufstil, Schrittfrequenz, Herz-Kreislaufbelastung, Außentemperatur, Muskelfaserbeanspruchung, Luftwiderstand, Sauerstoffgehalt der Luft (Höhe), Restermüdung, Trainingszustand u.a. Besonders die Nebenbewegungen beim Laufen wie Kniebeugung, Fußbeugewinkel, Kniebeugegeschwindigkeit, Rumpfmittbewegungen und Körperschwerpunktschwankung beeinflussen die Sauerstoffaufnahme und sind als Kennzeichen des individuellen

Laufstils meist wenig veränderbar. Die Sportler mit den geringsten Nebenbewegungen und der größten Gelenkwinkelbewegung sparen eine Sauerstoffaufnahme von 3-6 ml/kg·min für dieselbe Geschwindigkeit (Abb. 4). Der bei der Fahrradergometrie errechenbare Wirkungsgrad der Muskelarbeit kann nicht auf das Laufen übertragen werden, da hierbei keine Leistung, sondern die Geschwindigkeit gemessen wird. Man hilft sich beim Lauf mit einem Wirkungsindex, indem die Sauerstoffaufnahme zur Laufgeschwindigkeit in Beziehung gesetzt wird ( $VO_2/v$  in km/h). Die absolvierten Laufkilometer haben auf die Ausprägung der Laufökonomie einen großen Einfluss. Beispielsweise ergab ein Vergleich der Laufgeschwindigkeit zwischen Triathleten und Langstreckenläufern, dass die Triathleten eine schlechtere Laufökonomie aufwiesen als die Langstreckenläufer (s. Abb. 4). Die Triathleten hatten eine kürzere Schrittlänge, höhere Schrittfrequenz, kürzere Flugzeit und längere Stützzeit als die Läufer. Die Differenzen im spezifischen Lauftraining sind die Hauptursachen für diesen Befund. Die Triathleten schaffen trotz höherer Gesamtbelastung nur etwa 50% des Laufumfanges der Läufer. Durch ein mehrjähriges sportartspezifisches Training nimmt die Sauerstoffaufnahme auf vergleichbaren Belastungsstufen ab. Dieser Befund ist unabhängig vom Leistungsniveau ein Anzeichen für die Zunahme des Wirkungsgrades der Muskelarbeit bzw. Bewegungsökonomie.

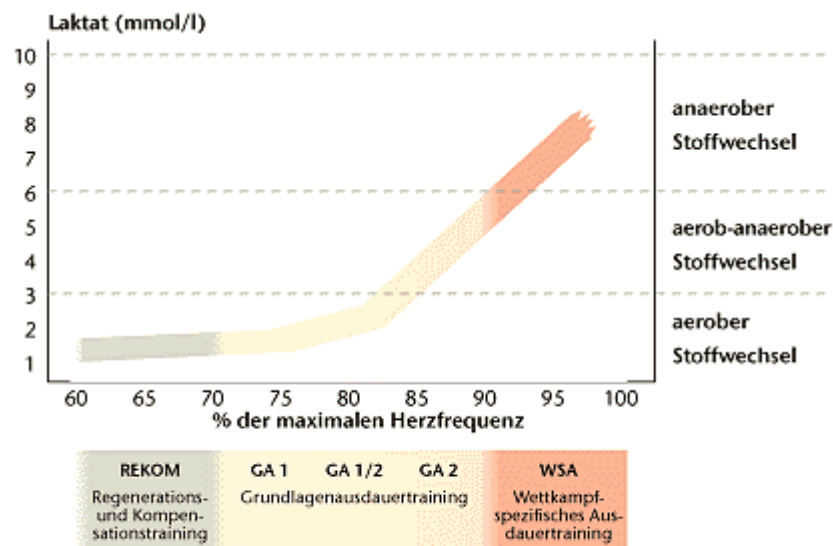


Abb. 5: Trainingsbereiche in Abhängigkeit von der Laktatkonzentration und die relative Beziehung zur maximalen Herzfrequenz

### Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme (% $VO_{2max}$ )

Die Stoffwechselökonomie kann durch die prozentuale Ausnutzung der maximalen Sauerstoffaufnahme gekennzeichnet werden. Je leistungsfähiger ein Sportler ist, desto höhere Anteile der  $VO_{2max}$  nimmt er in aerober Stoffwechsellage auf. Ein Hochtrainierter nimmt bei Laktat

2 mmol/l noch 85 % seiner ohnehin hohen VO<sub>2</sub>max auf. Hingegen nimmt ein weniger gut Trainierter bei 2 mmol/l Laktat erst 65% seiner VO<sub>2</sub>max in Anspruch und muss bei steigender Belastung mit erhöhter Laktatbildung kompensieren. Zur Kennzeichnung der Belastungsintensität in % VO<sub>2</sub>max hat sich dieser Vergleichsstandard international durchgesetzt.

Die richtige Trainingsbelastung ist für alle Sporttreibenden eine Grundvoraussetzung, um die gesetzten persönlichen Ziele zu erreichen. Um eine Trainingseinheit oder einen gesamten Trainingszyklus methodisch planen und in der Praxis umsetzen zu können, sind differenzierte Angaben zur Trainingsbelastung erforderlich. Für das Ausdauertraining unterscheidet man dazu fünf Kenngrößen. Der Trainingsumfang bzw. das -volumen gibt an, wieviel Trainingsstunden oder Kilometer in einem bestimmten Zeitraum trainiert werden sollen, und mit der Dichte bzw. Häufigkeit wird die Anzahl der Trainingseinheiten beispielsweise für eine Woche oder einer kompletten Vorbereitungsphase festgelegt und kennzeichnet damit das Verhältnis von Belastung zu Erholung. Die Dauer gibt die zeitliche Begrenzung der Trainingseinheit an. Die Angabe der Bewegungsfrequenz, wie z.B. der Tretfrequenz beim Radfahren oder der Schlagfrequenz beim Rudern, sind unentbehrliche Angaben, um das Trainingsziel wie die Entwicklung der Kraftausdauer bei niedriger Frequenz oder die Verbesserung der Bewegungskoordination, Schnelligkeit und Mobilisationsfähigkeit bei hoher Bewegungsfrequenz festzulegen. Die Intensität kennzeichnet die Stärke der Belastungsanforderungen in der Trainingseinheit und wird meist in Geschwindigkeit (m/s, min/km, km/h) oder Leistung (Watt) angegeben. Diese Art der Intensitätsvorgabe ist allerdings auf wenige Sportarten und standardisierte Bedingungen (vermessene Strecken, Ausdauergeräte mit Leistungsangabe) beschränkt. Äußere Einflussfaktoren wie Gegenwind beim Radfahren oder leichte Anstiege beim Laufen führen bei gleicher Geschwindigkeit zu einer deutlich höheren Beanspruchungsintensität des Organismus. Von daher messen Sportler die Trainingsintensität während der Aktivität hauptsächlich über die Herzfrequenz. Die Herzfrequenz nimmt von allen Messgrößen eine ganz besondere Stellung ein. Sie ist mit den modernen Herzfrequenzmessgeräten fortwährend EKG-genau erfassbar und reagiert unmittelbar auf eine Änderung der Beanspruchungsintensität oder Störung des Gesundheitszustandes (anbahnender Infekt). Sie ist ohne aufwendige Labortests und ohne Hilfspersonen, auch vom nicht leistungsorientierten Sporttreibenden messbar.

## Praktische Belastungssteuerung über die Herzfrequenz

Anfang der 80er Jahre wurde das erste kabellose und EKG-genaue Herzfrequenz-Messgerät entwickelt und damit ein neues Zeitalter der Belastungssteuerung eingeleitet. Heute ist das Messen der Herzfrequenz im Fitness- und Leistungssport nahezu eine Selbstverständlichkeit. Das alleinige Messen stellt jedoch keine wirkliche Trainingshilfe dar. Nur wer die verschiedenen Möglichkeiten eines Herzfrequenz-Messgerätes ausschöpfen kann, die Trainingsbelastung richtig wählt und die persönlichen Herzfrequenz-Zonen ermittelt, wird seine Trainingsziele verwirklichen können.

## Training in Herzfrequenz-Zonen

Um die gesetzten Trainingsziele zu realisieren, müssen Trainingsinhalte und die methodischen Steuergrößen der Belastung (Umfang, Volumen, Häufigkeit, Dauer, Bewegungsfrequenz, Intensität) genau auf das Ziel und den aktuellen Trainingszustand des Sportlers abgestimmt werden. Wer primär seine Leistung verbessern will, muss anders trainieren als jemand, der Pfunde verlieren und das Wohlbefinden steigern will. Für die Steuerung der Trainingsintensität hat sich ein Training in Herzfrequenz-Zonen im Ausdauersport durchgesetzt. Zur Festlegung der Zonen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Leistungssportler wählen meist den Weg über die Laktatbestimmung während eines Ausdauerstufentests.

Hfmax 100%	Zone 1 50-60%	Zone 2 60-70%	Zone 3 70-85%	Zone 4 85-100%
200	100-120	120-140	140-170	170-200
195	98-117	117-137	137-166	166-195
190	95-114	114-133	133-162	162-190
185	93-111	111-130	130-157	157-185
180	90-108	108-126	126-153	153-180
175	88-105	105-123	123-149	149-175
170	85-102	102-119	119-145	145-170
165	83-99	99-116	116-140	140-165
160	80-96	96-112	112-136	136-160

Tab. 2: Herzfrequenz-Zonen (Angaben in Schläge/min)

### 1. Zone:

50 bis 60% der Hfmax (sehr leicht) Ziele:

- Allgemeines Gesundheitstraining insbesondere bei Bluthochdruck, Diabetes
- Rehabilitation, Koronarsportgruppen
- Regeneration und Kompensation (REKOM)
- Warm-up und Cool-down

Die Trainingsprogramme (z. B. Walking) werden in der Regel nach der Dauer- oder Dauerleistungsmethode durchgeführt. Die Belastungsintensität lässt sich durch das Einstellen der oberen Grenze (60% von Hfmax) am Herzfrequenz-Messgerät kontrollieren.

2. Zone: 60 bis 70% der Hfmax (leicht, moderat) Der Energiebedarf wird annähernd zu 100 Prozent über den aeroben (sauerstoffabhängigen) Stoffwechselweg gedeckt.

Ziele:

- Regeneration und Kompensation mit begrenzter Belastungszeit (< 45 min)
- Training der Grundlagenausdauerfähigkeit (GA 1 - Training)
- Stressfreies Training des Fettstoffwechsels
- Erhöhung der muskulären Enzyme für den aeroben Stoffwechsel
- Stabilisierung des Herz-Kreislauf-Systems (u.a. Blutdrucksenkung)
- Stabilisierung des Herz-Kreislauf-Systems (u.a. Blutdrucksenkung)

Die Dauer- oder Dauerleistungsmethode ist auch hier die Methode der Wahl. Um in der Zielzone während der Aktivität zu bleiben, werden am Herzfrequenz-Messgerät zwei Grenzen bei 60% und 70% der Hfmax eingestellt. Ist die Belastungsintensität höher oder niedriger, ertönt ein Signal (Piepen).

3. Zone:

70 bis 85% der Hfmax (etwas anstrengend)

In diesem Intensitätsbereich wird am häufigsten trainiert. Es ist für viele eine Art Standardbelastung. Sehr gut Ausdauertrainierte können die Energie in dieser Intensitätszone annähernd zu 100 Prozent über den aeroben Stoffwechsel decken. Weniger gut Ausdauertrainierte müssen den anaeroben Stoffwechsel geringfügig hinzuschalten. Wird die

Laktatkonzentration bestimmt, sollten allerdings keine Werte über 2,5 mmol/l erreicht werden, anderenfalls muss die Herzfrequenzgrenze nach unten korrigiert werden. Die leichte Laktatbildung wird vom Sportler meist als sehr angenehm empfunden.