

FACHGRUPPE AUSDAUER Swiss Olympic

Fachdokumentation 2005/1

PHYSIOLOGISCHE TRAININGSINTENSITÄTSSZONEN

Autoren

- M. Vogt, O. Brügger, R. Schütz, J. Wehrli, C. Perret, R. Umberg, U. Aeschlimann, U. Bodenmann, S. Matter, A. Bürgi
- Kontakt: Michael Vogt, Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter Fachgruppe Ausdauer Swiss-Olympic
079 423 43 19, vogt@ana.unibe.ch

Effektives Ausdauertraining ist durch die Anwendung verschiedener Intensitätsbereiche charakterisiert ^(3, 4). Zur systematischen Planung und Steuerung des Trainings müssen diese Intensitätsbereiche möglichst genau definiert sein. Ein Vergleich zwischen den verschiedenen Sportarten ist schwierig, da praktisch jede Sportart seine eigene Definition der Trainingsintensitätszonen vornimmt. Oft erfolgt in der Praxis die Unterteilung der Intensitätszonen aufgrund langjähriger Erfahrung oder aufgrund der spezifischen Anforderungen an die Ausdauer in einer bestimmten Sportart.

Die Fachgruppe Ausdauer von Swiss Olympic hat die Einteilung der Trainingsintensitätszonen in verschiedenen Ausdauersportarten untersucht. Aufgrund dieser Analyse hat sich die Fachgruppe für eine allgemeingültige, physiologische Definition der Ausdauertrainingszonen entschieden. Die Vorteile bestehen darin, dass so die Trainingszonen direkt von der Ausdauerleistungsdiagnostik ableitbar sind, dass sie für alle Sportarten anwendbar sind und dass sie die Individualität berücksichtigen.

Dank der Anwendung einheitlicher physiologischer Trainingszonen wird die Umsetzung leistungsdiagnostischer Resultate in die Trainingspraxis einfacher. Selbstverständlich können aber basierend auf den physiologischen Trainingszonen weitere Unterteilungen in trainingspraktische Intensitätszonen vorgenommen werden.

Die Fachgruppe Ausdauer von Swiss Olympic empfiehlt allen Ausdauersportarten die Anwendung der physiologischen Trainingszonen.

Bern/Magglingen, im Dezember 2005



Copyright Swiss-Ski

Definition der physiologischen Trainingsintensitätszonen

Während einem Ausdauerleistungstest mit regelmässigem Belastungsanstieg bis zur Erschöpfung (Stufentest, Rampentest) können neben dem „Teststart“ und dem „Testabbruch“ physiologisch gesehen maximal zwei mehr oder weniger markante Fixpunkte identifiziert werden (Figur 1). Den ersten Fixpunkt nennen wir „Aerobe Schwelle“ (aS), den Zweiten „Anaerobe Schwelle“ (anS).

Die physiologische Definition dieser zwei Schwellen lautet ^(1, 5, 6):

Aerobe Schwelle (=Ventilationsschwelle 1): Leistung oder Geschwindigkeit, bei welcher

- die Blutlaktatkonzentration erstmals ansteigt
- das Sauerstoffequivalent (Atemminutenvolumen / O₂-Aufnahme) erstmals ansteigt
- ca. 70 – 80% der maximalen Herzfrequenz erreicht werden
- das subjektive Belastungsempfinden nach Borg zwischen 11 und 13 liegt

Anaerobe Schwelle (=Ventilationsschwelle 2): Leistung oder Geschwindigkeit, bei welcher

- der maximale Laktat-Steady-State (MaxLass) erreicht wird
- das Kohlendioxidequivalent (Atemminutenvolumen / CO₂-Abgabe) ansteigt
- ca. 85 – 95% der maximalen Herzfrequenz erreicht werden
- das subjektive Belastungsempfinden nach Borg zwischen 15 und 17 liegt

Teststart	Aerobe Schwelle	Anaerobe Schwelle	Testabbruch
Physiologische Zonen			
Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
Grundlagenausdauerbereich	Übergangsbereich	Stehvermögensbereich	Supramaximaler B.
Aerober Bereich	Aerob-anaerober Übergangsbereich	Anaerober Bereich	

Figur 1: Definition und Einteilung der physiologischen Trainingsintensitätszonen

Für das Ausdauertraining können aufgrund dieser physiologischen Schwellenwerte maximal vier **Physiologische Trainingsintensitätszonen** definiert werden (Tabelle 1).

	<u>Trainingsmethodische Definition</u>	<u>Bezüglich Energiebereitstellung</u>
Zone I	Grundlagenausdauerbereich	aerober Bereich
Zone II	Übergangsbereich	aerob-anaerober Übergangsbereich
Zone III	Stehvermögensbereich	anaerober Bereich
Zone IV	Supramaximalbereich	

Tabelle 1: Die 4 physiologischen Trainingszonen und deren Bezeichnungen

Jede Intensitätszone erstreckt sich über einen relativ grossen Belastungsbereich. Wichtig ist aber, dass innerhalb eines Belastungsbereichs einer Intensitätszone grundsätzlich die gleichen Stoffwechselforgänge, einfach in unterschiedlicher Ausprägung, beobachtet werden können. Diese Vorgänge können wie folgt beschrieben werden:

Zone I ist derjenige Belastungsbereich, in welchem es zu keinem messbaren Anstieg der Blutlaktatkonzentration kommt. Die aerobe Energiebereitstellung ist vorherrschend. Mehr als 50% der Energiebereitstellung läuft hier über den Fettstoffwechsel. Dadurch werden bei Trainings in Zone I die limitierten muskulären Zuckerspeicher (Glykogen) geschont. Das Training wird als locker bis wenig anstrengend empfunden. Reden ist ohne Unterbrüche möglich.

Zone II ist derjenige Belastungsbereich, in welchem es zu einem messbaren Anstieg der Blutlaktatkonzentration und beginnender Übersäuerung (metabole Azidose) kommt. Bei allen Belastungsintensitäten innerhalb der Zone II kann aber die Blutlaktatkonzentration immer noch einen Gleichgewichtszustand (steady-state) erreichen. Der Kohlenhydrat-Stoffwechsel spielt in dieser Zone II eine zunehmend wichtigere Rolle für die Energiebereitstellung. Reden ist in kurzen Sätzen möglich.

Zone III ist derjenige Belastungsbereich, in welchem es zu einem überproportionalen Blutlaktatanstieg kommt. Die Laktatkonzentration im Blut steigt kontinuierlich an. Es wird kein Gleichgewichtszustand (steady-state) mehr erreicht. Parallel dazu nimmt die Übersäuerung (metabole Azidose) stark zu. In Abhängigkeit der gewählten Intensität muss deshalb eine Belastung in Zone III über kurz oder lang abgebrochen werden. In dieser Zone ist der Kohlenhydrat-Stoffwechsel vorherrschend. Ein wesentlicher Anteil der Energie wird anaerob bereitgestellt. Die anaerobe Energiebereitstellung ist zwar sehr schnell (pro Zeiteinheit wird viel ATP bereitgestellt), jedoch bezüglich Glykogenverbrauch sehr ineffizient (rein anaerobe Energiebereitstellung liefert 2 ATP pro Glykogen, rein aerobe Energiebereitstellung liefert 37 ATP pro Glykogen). Die Glykogenspeicher entleeren sich hier also sehr schnell. Reden ist nur noch in einzelnen Worten möglich.

Zone IV ist von der Energiebereitstellung her gesehen ein Unterbereich der Zone III. Ein Leistungstest durchgeführt nach Swiss Olympic Standards (Stufen- oder Rampprotokoll) dauert zwischen 10 und 40 Minuten ⁽²⁾. Die so maximal erreichbare Leistung oder Geschwindigkeit ist bezüglich der gewählten Testform maximal. Bei kurzen Intervallbelastungen können diese maximalen Leistungen (oder Geschwindigkeiten) während Sekunden bis wenige Minuten überschritten werden. Man spricht deshalb von supramaximaler Leistungsfähigkeit in Bezug auf die erreichte Maximalleistung in der gewählten Testform (Beispiel: Wenn ein Radfahrer im Stufentest eine maximale Leistung von 450 Watt erreicht, dann ist die Intensität bei einer kurzzeitigen Sprintleistung von 700 Watt supramaximal). Die Energiebereitstellung erfolgt grösstenteils über die anaerobe Verwertung von Glykogen. Reden ist kaum mehr möglich.

Einige Erklärungen

Was bedeutet „aerob“ und „anaerob“?

Die Begriffe „aerob“ und „anaerob“ werden in der trainingswissenschaftlichen Literatur oder auf einschlägigen Internetseiten oft missverständlich verwendet. Allgemein gesprochen bezeichnet „Aerobie“ Lebensprozesse, welche mit Sauerstoff ablaufen. „Anaerobie“ bezeichnet Lebensprozesse, welche ohne Sauerstoff ablaufen.

Die Muskelfaser verfügt einerseits über Stoffwechselwege, welche Energie nur unter Verbrauch von Sauerstoff bereitstellen und andererseits solche, welche Energie ohne Sauerstoff bereitstellen können. Wir sprechen deshalb im ersten Fall von aerober und im zweiten Fall von anaerober Energiebereitstellung. Bei zunehmender Belastungsintensität nimmt der Beitrag der anaeroben Stoffwechselwege an der Energiebereitstellung zu. Dies bedeutet aber nicht, dass in der Muskelfaser mit zunehmender Belastung ein Sauerstoffmangel entsteht. Es bedeutet nur, dass bei höheren Belastungsintensitäten die benötigte Energie vermehrt über die „schnelleren“, sauerstoffunabhängigen Stoffwechselwege bereitgestellt wird, da die sauerstoffabhängigen Prozesse bei hoher Intensität „zu langsam“ sind.

Wenn wir also in der Trainingslehre von einem aeroben Bereich sprechen, dann sind damit diejenigen (tiefen) Belastungsintensitäten gemeint, bei welchen die Energiebereitstellung vorwiegend über aerobe Stoffwechselwege abläuft. Mit dem anaeroben Bereich sind die (hohen) Belastungsintensitäten gemeint, bei welchen die Energiebereitstellung zu einem grossen Teil über anaerobe Stoffwechselwege abläuft. Sauerstoff steht der Muskelfaser in beiden Fällen genügend zur Verfügung.

Was ist ATP?

Die Abkürzung ATP steht für Adenosin-Triphosphat. ATP ist der universelle und unmittelbare „Brennstoff“ für alle Lebensprozesse in einer Zelle, so auch für die Muskelkontraktion. Bei der Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten wird über mehrstufige Stoffwechselschritte viel Energie freigesetzt, welche über die Bildung von ATP kurzfristig in der Zelle gespeichert wird. Diese Energie wird so über das ATP an den Kontraktionsprozess in der Muskelfaser weitergegeben.

Trainingspraktische Bereiche

Grundsätzlich sind die physiologischen Trainingsintensitätszonen für alle Sportarten gültig. Denn sie widerspiegeln die physiologischen Vorgänge im Körper bzw. in der Muskulatur und nicht die spezifischen Eigenheiten einer Sportart. Zumindest für Ausdauersportarten kann es aber dennoch von Nutzen sein, eine weitere Unterteilung in sportpraktische Trainingsbereiche vorzunehmen (Figur 2). Diese sportpraktischen Trainingsbereiche müssen aber in jedem Fall auf der physiologischen Zoneneinteilung basieren.

So ist beispielsweise vorstellbar, dass die Zone I in einen Bereich „Aktive Regeneration“ und einen Bereich „Extensive Ausdauer“ eingeteilt wird (Figur 2). Der Übergang zwischen diesen zwei Bereichen ist aber in jedem Falle fließend, da sich physiologisch gesehen beide trainingspraktischen Bereiche in der gleichen Zone I befinden.

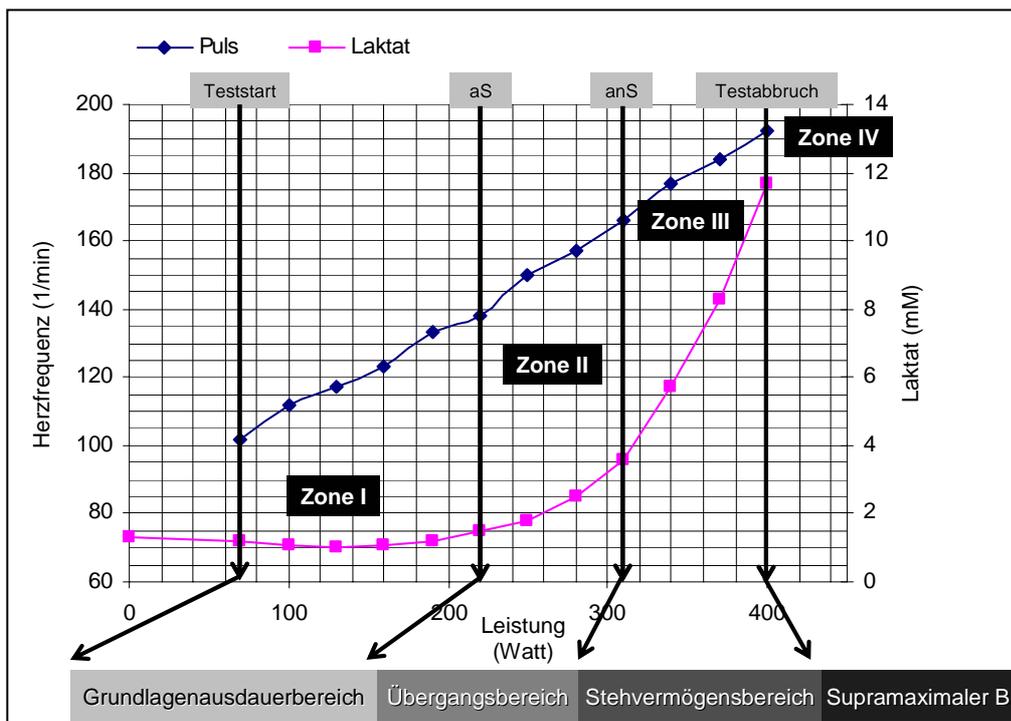
Auch ist vorstellbar, dass ein Trainingsbereich über eine physiologische Zonengrenze hinaus verläuft. So kann der obere Bereich der Zone II zusammen mit dem unteren Bereich der Zone III den trainingspraktischen Bereich der „intensiven Ausdauer“ bilden. Auch hier ist die untere und obere Grenze des trainingspraktischen Bereichs „intensive Ausdauer“ nicht klar abgrenzbar. Denn mittels Leistungstest ist in diesem Bereich nur die anaerobe Schwelle identifizierbar, welche die Grenze der physiologischen Zonen II und III definiert.

Teststart	Aerobe Schwelle	Anaerobe Schwelle	Testabbruch
Physiologische Zonen			
Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
Grundlagenausdauerbereich	Übergangsbereich	Stehvermögensbereich	Supramaximaler B.
Aerober Bereich	Aerob-anaerober Übergangsbereich	Anaerober Bereich	
Trainingspraktische Bereiche (Bsp.)			
Aktive Regeneration	Extensive Ausdauer	Mittlere Ausdauer	Intensive Ausdauer
			Stehvermögen

Figur 2: Basierend auf den physiologischen Zonen können trainingspraktische Intensitätsbereiche definiert werden. Die trainingspraktischen Bereiche sind sportartspezifisch. Die Festlegung der Bereichsgrenzen beruht auf Erfahrungswerten.

Leistungsdiagnostik: Identifikation der physiologischen Trainingszonen

Am genauesten können die Grenzen der physiologischen Trainingszonen mittels Laborleistungsdiagnostik ermittelt werden. Beispielsweise geschieht dies beim Fahrradergometer-Stufentest durch die Auswertung der Laktat-Leistungskurve (Figur 3). Dabei kann es aber schwierig sein, die anaerobe Schwelle genau zu identifizieren. Eine zusätzliche Unterstützung für die Schwellenbestimmung kann ein Leistungstest mit Atemgasanalyse (Ergospirometrie) sein. Die Swiss Olympic Medical Centers und viele Swiss Olympic Medical Bases sind in der Lage solche Tests durchzuführen ⁽²⁾.



Figur 3: Typische Laktat- und Herzfrequenzkurven in Abhängigkeit der Leistung bei einem Fahrrad-Ergometerstufentest. Aus der Bestimmung der aeroben (aS) und anaeroben (anS) Schwellen ergeben sich die entsprechenden physiologischen Trainingszonen.

Die Erstellung der Trainingsempfehlung aus den Testdaten gestaltet sich so sehr einfach (Tabelle 2). Für die Trainingsdurchführung sind vor allem die Herzfrequenz und das subjektive Belastungsempfinden nach Borg wichtig. Gelegentliche Blutlaktatmessungen im Felde können die Trainingssteuerung zusätzlich unterstützen. Damit kann die Trainingsbelastung vor allem an der aeroben Schwelle gut überprüft werden, während die Laktatwerte der anaeroben Schwelle im Feld oft höher sind als im Laborleistungstest.

	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	Maximalwert
Leistung [Watt]	< 220	220 - 310	310 - 400	> 400	400
Herzfrequenz [Hf]	< 138	138 - 166	> 166		192
%Hf _{max}	< 72%	72 - 86%	> 86%		100%
Subj. Empfinden [Borg]	< 13	13 - 16	> 16		20
Laktat [mM]	< 1.5	1.5 - 3.6	> 3.6		11.8

Tabelle 2: Beispiel für eine Trainingsdiagnostik basierend auf dem Konzept der physiologischen Trainingsintensitätszonen.

Literaturhinweise

- 1) Meyer T, Lucia A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. *Int J Sports Med* 26, S38-48, 2005
- 2) Qualitätssicherung Swiss-Olympic: Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer, 2001
- 3) Seiler S, Kjerland GO. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports*, 2004
- 4) Seiler S. Organizing daily training intensity: is there an optimal model for training intensity distribution? Abstract: 3rd International Congress on Skiing and Science, Aspen, 2004
- 5) Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation, 2nd edition, Williams & Wilkins, 1994
- 6) Wasserman K, Whipp BJ, Koysl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35, 1973

Weiterführende Lektüre

Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest C, Foster C, Lucia A. How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc* 37, 496-504, 2005