

# Sportphysiologie: Wie reagiert der Körper auf sportliche Aktivität?

Die Leistungsphysiologie beschäftigt sich mit den biologischen Systemen, deren Funktionen die Voraussetzungen für sportliche Leistung sind. Sie versucht eine Antwort auf die Frage zu finden, wie der Körper auf Belastungen reagiert, die aus sportlicher Aktivität resultieren. Für den Sportler ist diese Antwort sehr wichtig, da er hieraus ableiten kann, wie und was er trainieren muss. Daher unterziehen sich Spitzensportler im Rahmen der Leistungsdiagnostik regelmäßig speziellen medizinisch-physiologischen Belastungstests, die ihnen Werte liefern, aus denen sich Informationen über die Leistungsfähigkeit ihrer biologischen Systeme ableiten lassen.

Das Herz-Kreislauf-System und die Atmung von Spitzenausdauerathleten sind mehr als doppelt so leistungsfähig wie die eines Untrainierten.

Der fünfmalige Tour de France Sieger Miguel Indurain konnte auf dem Rad in einer Stunde eine Strecke von mehr als 53km zurücklegen (Stundenweltrekord vom 9.2.1994: 53,04 km). Für seine Rekordfahrt benötigte er eine durchschnittliche physikalische Leistung von 510 Watt (PADILLA/MUJICA/ANGULO/GOIRIENA 2000). Nur Ausnahmeathleten sind in der Lage, eine derart hohe Leistung über längere Dauer aufrechtzuerhalten. Voraussetzung sind genetische Veranlagung und jahrelanges, gezieltes Training, durch welche die Leistungsfähigkeit der biologischen Systeme, die den Organismus des Athleten ausmachen, auf ein maximales Niveau gelangt. Wie gut diese Systeme funktionieren, wissen wir, seit es die Möglichkeit gibt, im Labor und auch in realen Wettkampfsituationen biologische „Signale“ wie z.B. die Herzfrequenz oder die Menge des vom Körper verbrauchten Sauerstoffs zu messen. Indurain benötigte für seinen Weltrekord annähernd 350 Liter Sauerstoff. Hierzu musste sein Herz in 11.000 Schlägen 2.700 Liter Blut durch den Kreislauf pumpen.

So wusste Miguel Indurain bereits vor seinem Weltrekordversuch, dass er gute Chancen hat, den bestehenden Rekord zu brechen, da er in speziellen Tests die Leistungsfähigkeit seines Herz-Kreislauf- und seines Atemsystems überprüft hatte (PADILLA u.a. 2000). Eine wichtige Größe ist hierbei z.B. die maximale Sauerstoffaufnahme, welche die pro Zeit maximal mögliche Menge an Sauerstoff kennzeichnet, die während intensiver Belastung aufgenommen werden kann.

Die **Leistungsphysiologie** beschäftigt sich mit den Veränderungen der **Morphologie** (= äußere Form und Erscheinungsbild) und der **Funktion der biologischen Systeme** des menschlichen Körpers, die daraus resultieren, wenn der Mensch akuten oder chronischen Belastungen (im Sport) ausgesetzt wird.

Bei **funktionaler Anpassung** ändert sich die Funktionsweise, bei **struktureller** oder **morphologischer Anpassung** ändert sich die Struktur bzw. Morphologie eines biologischen Systems.



Siehe auch das Kapitel „Was ist Sportbiologie?“

Das Beispiel dieses Ausnahmeathleten zeigt, wie groß die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Körpers ist, denn auch Indurain ist nicht als Weltrekordler geboren worden. Anpassung oder Adaptation ist eine der grundlegendsten Fähigkeiten biologischer Systeme. Hierzu zählen das Herz-Kreislauf- und Atemsystem, die neben dem aktiven und passiven Bewegungsapparat und dem Nervensystem die Voraussetzung für Bewegung und sportliche Leistungen schaffen. Eine Anpassung erfolgt zum einen als Reaktion auf eine akute Belastung, wenn man zum Beispiel von einem Stuhl aufsteht und zu laufen beginnt. Der Organismus wechselt dabei aus der Ruhelage in eine Beanspruchungssituation. Eine Anpassung in diesem Beispiel wäre die Erhöhung der Häufigkeit (Frequenz), mit der das Herz schlägt. Anpassungen an akute Belastungen sind reversibel, d.h. sie bilden sich nach der Belastung wieder zurück. Man spricht daher von **funktionalen Anpassungen**, da sich die Funktionsweise ändert.

Die Systeme können sich zum anderen an eine chronische, d.h. sich regelmäßig wiederholende Belastung anpassen, wie sie ein Training darstellt. Dies ist der Fall, wenn der Mensch z.B. dreimal pro Woche einen Dauerlauf von 20min Dauer macht. Eine Anpassung in diesem Beispiel wäre eine verbesserte Blutversorgung der Beinmuskulatur durch Neubildung von Blutgefäßen. Anpassungen an eine chronische Belastung, wie sie ein sportliches Training darstellt, sind nicht sofort reversibel, d.h. sie bilden sich nicht unmittelbar nach Abbruch der Belastung zurück, sondern bleiben langfristig erhalten. Erst nach einer längeren Belastungspause ist mit einer Rückbildung zu rechnen. In diesem Fall spricht man von **struktureller** oder **morphologischer Anpassung**, da sich die Struktur bzw. Morphologie eines biologischen Systems ändert.

## Herz-Kreislauf-System

Damit der Bewegungsapparat seine Aufgaben erfüllen kann, müssen Nährstoffe und Sauerstoff an- und Stoffwechselzwischen- und Endprodukte abtransportiert werden. Diese Transportfunktion übernimmt das Herz-Kreislauf-System – mit dem Herz als Pumpe, mit dem Gefäßsystem als Wegenetz und mit dem Blut als Transportmedium. Wie ist es möglich, dass dieses Organsystem bei der Rekordfahrt von Miguel Indurain 2.700 Liter Blut in einer Stunde fördern kann? Um dies zu verstehen, muss man die Funktion der Systeme kennen.

### Herz

#### Aufbau und Funktion des Herzens

Das Herz ist ein Muskel der zwei Hohlräume umschließt – die rechte und die linke Herzkammer (Ventrikel). Das Herz sorgt dafür, dass das Blut durch das Gefäßsystem zirkuliert. Sauerstoffarmes Blut wird aus dem Körper aufgenommen, über die rechte Herzhälfte in die Lunge gepumpt, dort mit Sauerstoff angereichert und gelangt über die linke Herzhälfte wieder an die Organe. Den Weg von der rechten Herzkammer über die Lunge und wieder zurück bezeichnet man als **kleinen** oder **Lungenkreislauf**, den Weg durch das Gefäßsystem des restlichen Körpers als **großen** oder **Körperkreislauf** (siehe Abb. 35).

Die Funktion als Pumpe steuert der Herzmuskel durch den rhythmischen Wechsel von Erschlaffung (Diastole) und Kontraktion (Systole) der Herzkammern. Die Kammern werden in der Diastole mit Blut gefüllt, das in der Systole wieder ausgetrieben wird – aus dem rechten Ventrikel in die Lungenarterie und aus dem linken Ventrikel in die große Körperarterie (Aorta) (siehe Abb. 35).

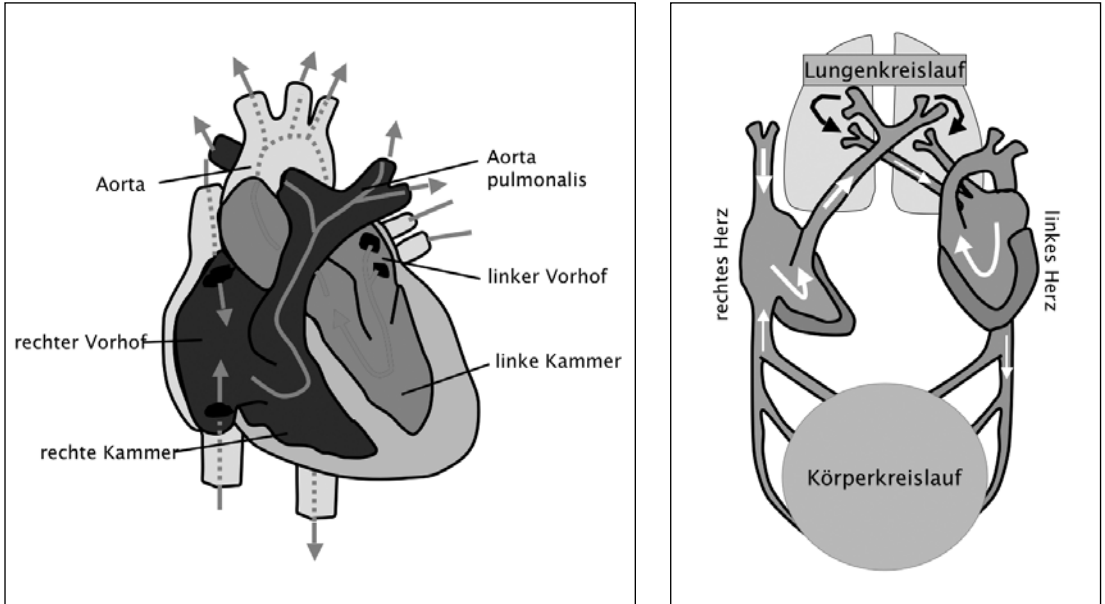


Abb. 35: Herz mit Vorhöfen, Ventrikel und Abgängen in die Kreisläufe.

Vor jeder Herzkammer befindet sich ein weiterer Hohlraum, der Vorhof (Artrium). In diesem wird das Blut aus dem Körper- bzw. Lungenkreislauf aufgenommen und an die Herzkammern weitergegeben. Hierzu erfolgt die Kontraktion der Vorhöfe kurz vor der Systole der Kammern, so dass das Blut aus den Vorhöfen in die Kammer und direkt danach aus der Kammer in den Kreislauf gelangt. Wären die Vorhöfe untereinander und die Kammern mit dem Blutkreislauf über eine einfache Öffnung verbunden, würde das Blut bei der Kontraktion der Kammern in die Vorhöfe und nach der Kontraktion der Kammern aus den großen Arterien in die Kammern zurückströmen. Um dies zu verhindern, befinden sich an den Ein- und Auslassöffnungen der Ventrikel Herzklappen, die wie Ventile funktionieren – sie lassen das Blut nur unter der Voraussetzung, dass der Ventrikeldruck den Aortendruck übersteigt, in eine Richtung strömen.

## Anpassung des Herzens an akute Belastung: Steigerung von Herzfrequenz, Schlagvolumen und Herzminutenvolumen

Jeder weiß aus eigener Erfahrung, dass mit steigender Belastung die Herzfrequenz zunimmt (siehe Aufgabe). Lässt man eine Person mit konstanter Geschwindigkeit laufen und steigert diese kontinuierlich, wird man einen nahezu linearen Anstieg der Herzfrequenz bis zum Maximalwert feststellen können (siehe Abb. 36).

Was passiert dabei? Das Herz pumpt schneller und fördert dadurch mehr Blut pro Zeit durch den Kreislauf. Die Auswurfmenge pro Zeiteinheit – meist über eine Minute gerechnet – wird als **Herz-Minuten-Volumen (HMV)** bezeichnet. Das HMV ergibt sich aus der **Herzfrequenz (HF)** und dem **Schlagvolumen (SV)**. Letzteres ist die Blutmenge, die das Herz während der Systole aus einer Herzkammer auswerfen kann. Auch das HMV steigt mit Belastung kontinuierlich an, erreicht auf den höchsten Stufen jedoch ein Plateau (siehe Abb. 36). Hier kann das Herz trotz zunehmender körperlicher Belastung seine Pumpleistung nicht mehr steigern. Dies hat seinen Grund darin, dass das SV nach einem linearen Anstieg bis ca. 40%–60% der Maximalleistung wieder geringfügig abnimmt (siehe Abb. 36). Ansteigende HF und abnehmendes SV halten sich die Waage, so dass das HMV konstant bleibt. Bei sehr gut trainierten Ausdauerathleten ist jedoch eine Zunahme des SV bis auf maximale Belastungsstufen zu verzeichnen.

Das Schlagvolumen beträgt in Ruhe je nach Trainingszustand 55–120 ml (siehe Tab. 1). An dieser Bandbreite wird ersichtlich, welche Adaptationsfähigkeit das Herz besitzt. Das SV ergibt sich aus der Herzgröße, die neben dem Trainingszustand mit der Körpergröße zusammenhängt.

In Ruhe kann das Herz 5–6 l/min Blut durch den Kreislauf pumpen. Bei Belastung kann dieser Wert um das vier- bis fünffache auf 20–25 l/min beim Untrainierten steigen (siehe Abb. 36 und Tab. 1) (MARÉES 2003). Bei Hochausdauertrainierten werden Herzminutenvolumina bis zu 45 l/min

### Aufgabe 48

Wie reagiert Ihre Herzfrequenz auf unterschiedliche Belastung? Messen Sie Ihre Herzfrequenz in Ruhe (morgens vor dem Aufstehen), im Sitzen, beim Gehen, bei einem lockeren Dauerlauf, bei (direkt nach) einem 1.000m-Lauf.

Nehmen Sie den Ruhewert 100% und berechnen Sie die Steigerung bei unterschiedlichen Belastungen. Vergleichen Sie absolute und relative Werte in Ihrer Gruppe. Berechnen Sie hierzu einen Gruppenmittelwert und Ihre individuelle Abweichung von diesem Wert.

Herzminutenvolumen

$$\text{HMV} = \text{HF} \times \text{SV}$$