



Dr. Thomas Hauser | DFB Bereich Sportwissenschaft

## Das Training der fußballspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen HIT-Training und klassischer Dauerperiode

Dr. Thomas Hauser referiert in seinem Vortrag über die Energiebereitstellung innerhalb der Muskelzelle und zeigt die Unterschiede der beiden Methoden zur Verbesserung der fußballspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit auf.

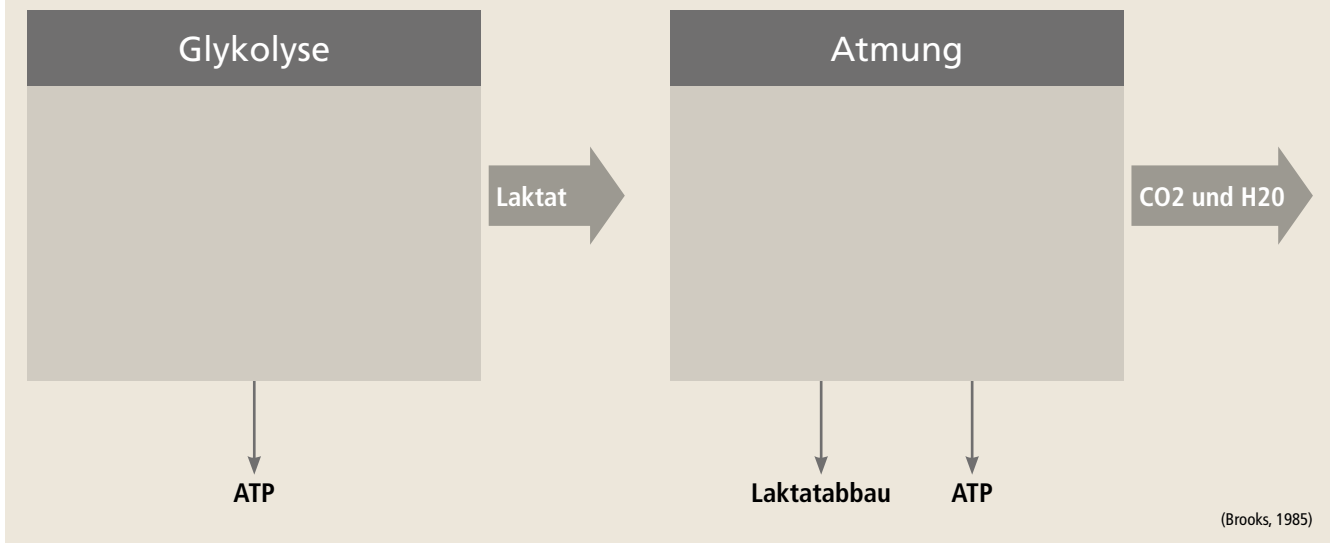
Die Ausdauerleistungsfähigkeit zählt in der Sportmedizin neben der Koordination, Flexibilität, Kraft und Schnelligkeit zu den fünf motorischen Hauptbeanspruchungsformen. In der Sportmedizin wurde sie bereits seit Mitte der 1950er-Jahre intensiv untersucht. Dies lässt den Blick in eine enorm hohe Anzahl an nationalen und internationalen wissenschaftlichen Studien zum Thema Ausdauer im Sport zu. Insbesondere auf die Frage, welchen Einfluss verschiedene Trainingsmethoden auf die Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit haben, konnten besonders zwischen den Jahren 1970 und 1990 wissenschaftlich fundierte Antworten gefunden werden. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen, wie im aktuellen Diskurs auch, primär die Methoden des hochintensiven Intervalltrainings (HIT) sowie der klassischen Dauerperiode. Um die Frage der Effektivität dieser beiden Methoden auf die Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit beantworten zu können, ist es notwendig, ein Verständnis davon zu entwickeln, welche biologischen Veränderungen durch die Anwendung dieser Methoden im individuellen Organismus der

Spieler ausgelöst werden und wie sich diese in der Entwicklung der Leistung bemerkbar machen.

### Exkurs: Individuell – was bedeutet das?

Um die biologischen Veränderungen verständlicher beschreiben zu können, bietet sich ein Exkurs zum Thema Blutdruck an. Die meisten Menschen haben schon einmal von ihrem Arzt den Blutdruck gemessen bekommen. Lag dieser im systolischen Wert über 140 mmHG, verschreibt der Arzt in der Regel ein Medikament, das den Blutdruck senkt. Doch aus welchen Bestandteilen genau besteht dieses Medikament, was wiederum nach Einnahme zur messbaren Veränderung des Blutdrucks führt? Als Beispiel hierfür gelten die Kalziumantagonisten. Diese reduzieren den Einstrom von Kalzium in die Zellen. Dadurch kommt es zu einer Entspannung der Gefäßmuskulatur, was sich wiederum in einer Verbesserung der Elastizität der Gefäße widerspiegelt. Die Folge ist eine Absenkung des Blutdrucks. Der Wirkmechanismus zwischen

## Funktionen der Atmung – ATP-Resynthese und Laktatabbau



Medikament und Veränderung des Parameters, in diesem Beispiel der Blutdruck, sind bekannt und somit zielorientiert anwendbar.

Wenn der Trainer den Organismus des Spielers belastet, handelt er bildlich gesehen ähnlich wie ein Arzt, der seinem Patienten ein gewisses Medikament oder eine Therapie verschreibt. Dem vom Arzt verschriebenen Medikament entspricht für den Trainer die dem Spieler verordnete Trainingsbelastung. Durch die richtige Wahl der Trainingsbelastung soll sich im besten Falle der Zustand – hier die Ausdauerleistungsfähigkeit – des Spielers verbessern. Der Trainer hat natürlich den Anspruch, das richtige und individuelle „Medikament“ im Sinne der richtigen Belastungsdosierung auszuwählen und anzuwenden! Um diese Entscheidung für jeden Spieler individuell bestmöglich treffen zu können, ist ein Verständnis des Wirkmechanismus zwischen gegebener Trainingsbelastung und biologischer Entwicklung hilfreich, wenn nicht gar notwendig. Der geistige Blick des Trainers sollte somit in den Organismus des Spielers hineinführen, um die Prozesse im Körper des Spielers verstehen zu können. Doch wo genau liegt die biologische Ursache, ob ein Spieler eine sehr gute oder weniger gute Ausdauerleistungsfähigkeit besitzt?

### Die Muskelzelle – wo die Leistung erbracht wird

Die Muskelzelle besteht aus einer myofibrillären Struktur, die durch zwei Elemente charakterisiert ist. Zum einen dem Myosin und zum anderen dem Aktin. Wird vom Gehirn ein Reiz an die Muskulatur abgegeben, zieht sich der Muskel zusammen – er kontrahiert. In dieser Phase dockt das Myosin an das Aktin an. Dabei löst sich Adenosintriphosphat (ATP), das Benzin des Muskels, vom Myosin, neues ATP haftet sich wieder an und das Myosin löst sich vom Aktin. ATP muss also im Körper vorhanden sein, damit der Organismus die Muskelkontraktion ausführen kann. Liegt das ATP aufgrund einer zu intensiven Belastung nicht mehr in ausreichender Konzentration vor, wird die Leistungsfähigkeit des Sportlers sinken. Daraus lässt sich ableiten, dass der Muskel eines Sportlers für das Aufrechterhalten einer Leistung auf die andauernde Herstellung von ATP angewiesen ist. Im Bereich der Physiologie spricht man hier von einem Gleichgewicht zwischen ATP-Verbrauch und der ATP-Produktion.

### Zwei Systeme

Innerhalb der Muskelzelle befinden sich zwei biologische Systeme, die für die ATP-Produktion zuständig sind: Die Glykoly-

se und die Atmung. Vor der Belastung herrscht innerhalb der Zelle eine bestimmte konstante ATP-Konzentration. Kommt es nun aufgrund einer Belastung (z. B. Beginn des Laufens) zum Verbrauch von ATP, so werden beide Systeme zur Wiederherstellung von ATP aktiviert. Diese Systeme überprüfen permanent, wie viel ATP noch zur Verfügung steht. Sinkt die ATP-Konzentration etwas ab, wird unmittelbar die Atmung aktiviert und ATP nachgeliefert. Kommt es zu einem massiven ATP-Verlust aufgrund einer schnelleren Kontraktion (z. B. schnellere Läufe), reicht die Hinzugabe von ATP aus der Atmung nicht aus – hier wird das System der Glykolyse als weiterer ATP-Zubringer aktiviert. Beide Systeme sind dafür verantwortlich, dass die ATP-Konzentration während der Belastung konstant aufrechterhalten wird und somit die Leistung erbracht werden kann. Beide Systeme, Atmung wie auch Glykolyse sind somit für die Bereitstellung von ATP verantwortlich.

### Laktatabbauendes System (Atmung)

Der Mensch nimmt pro Minute eine gewisse Menge an Sauerstoff auf. Dieser Sauerstoff wird durch die Lunge und die Blutbahn in die Muskulatur gefördert und wird dort durch das Atmungssystem zur Produktion von ATP verwendet. Aus diesem Produktionsprozess entstehen zugleich Kohlendioxid und Wasser, die wiederum aus dem Körper ausgeatmet werden.

### Laktatproduzierendes System (Glykolyse)

Die Glykolyse hingegen bildet neben dem ATP das Stoffwechselnebenprodukt Laktat (aus wissenschaftlicher Sicht würde man exakter Weise den Begriff Pyruvat verwenden – zur Vereinfachung wird im weiteren Verlauf die Bezeichnung Laktat genutzt). Dieses Laktat kann nicht einfach wie das Kohlendioxid oder Wasser abgeatmet werden, sondern es wird innerhalb der Muskelzelle im System Atmung verbrannt. Dort dient es als wertvoller Energieträger. Dies kann allerdings nur bis zu einer individuellen maximalen Abbaukonzentration erfolgen.

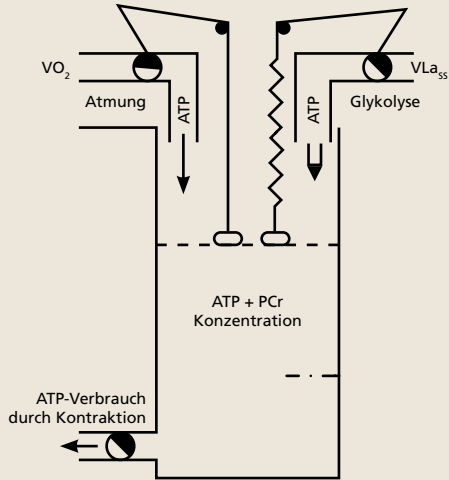
### Merke

Liegt die Produktionsrate von Laktat in der Glykolyse noch im Bereich der maximalen Abbaurates von Laktat in der Atmung, so entspricht dies dem maximalen Laktat-steady-state (anaerobe Schwelle). Die anaerobe Schwelle, die im Rahmen einer Laktatleistungsdiagnostik ermittelt wird, schätzt die Leistung am maximalen Laktat-steady-state ab.

Anders formuliert: Die Atmung kann man sich wie ein Glas vorstellen, in das das Laktat nach seiner Produktion in der

## Modell der Füllstandsregulation – System der zellulären Regulation des Energiestoffwechsels

(modifiziert nach Mader und Heck, 1994)



Glykolyse zum Abbau gefüllt wird. Die anaerobe Schwelle ist dann erreicht, wenn das Glas randvoll ist und somit die Produktion von Laktat genau der Menge entspricht, die zur gleichen Zeit aufgefangen und abgebaut werden kann. Das Gleichgewicht zwischen Auf- und Abbau von Laktat ist gerade noch gleich. Wird nur etwas mehr Laktat gebildet als abgebaut werden kann, das Glas läuft bildlich gesehen über, wird das physikochemische Gleichgewicht in der Muskelzelle gestört. Das zu viel gebildete Laktat führt zu einer Hemmung der Glykolyse selbst, was sich durch ein Herabsetzen oder Abbrechen der Leistung bemerkbar macht, da die notwendige Menge an ATP nicht mehr hergestellt werden kann.

Es ist also entscheidend, dass die Systeme der Glykolyse und der Atmung optimal aufeinander abgestimmt sind und somit sportartspezifisch funktionieren. Doch muss eines der beiden Systeme besser entwickelt sein? Welches System wird bei den verschiedenen Belastungsintensitäten (Hochintensives Intervalltraining oder klassische Dauerperiode) überhaupt angesprochen und entwickelt?

### Beispiele aus der Leichtathletik – unterschiedliche, sportartspezifische Beanspruchung von Glykolyse und Atmung

Um das Verständnis noch zu erweitern, werden im Folgenden drei Beispiele mit unterschiedlichen Belastungsintensitäten aus der Leichtathletik erläutert:

Der Weltrekord von Usain Bolt über 100m liegt bei 9,58 Sekunden. In dieser Sportart müssen die Systeme der Glykolyse und Atmung „nur“ über 100m maximal funktionieren. Der Athlet bekommt sein ATP zu fast 100 Prozent aus der Glykolyse. Die Atmung ist zwar supramaximal aktiviert, aber bis der Sauerstoff aufgenommen und über die Lunge und die Blutbahn in die Muskulatur gelangt ist, und ATP hergestellt wird, ist der Sprint längst zu Ende. Für kurze, hochintensive Kontraktionen muss das System der Glykolyse trainiert werden, mit dem deutlichen Nachteil, dass sehr schnell Laktat innerhalb der Muskelzelle gebildet wird.

Der Weltrekord über 10.000m von Kenenisa Bekele liegt bei 26:17 Minuten. Bei dieser Belastung wird die Muskelzelle ganz anders beansprucht. Auch bei ihm wird das System der Glykolyse aktiviert, mit der ATP- und Laktatproduktion. Es ist

allerdings entscheidend, dass der Großteil des ATP im Bereich der Atmung hergestellt wird. Die Atmung übernimmt nicht nur die ATP-Herstellung, sondern aufgrund der Länge des Laufes auch den Laktatabbau. Und zwar nicht am Ende der Belastung, sondern schon während jeder Sekunde des Laufes. Und das ist im Ansatz des Trainings die große Herausforderung. Die Energiebereitstellung erfolgt somit zu etwa 20 Prozent aus der Glykolyse und zu 80 Prozent aus der Atmung. Im Vergleich zum 100 Meter Sprinter herrscht ein komplett differentes physiologisches Beanspruchungsprofil, welches man als Trainer kennen sollte, um es entsprechend trainieren zu können.

Der Marathon-Weltrekord von Dennis Kipruto Kimetto liegt bei 2:02:57 Stunden (123 Minuten). Die ATP-Produktion erfolgt aufgrund der Länge des Laufes nicht über die Glykolyse. Sie ist zwar aktiv, aber im Verhältnis zur gesamten Laufstrecke kommt hier der Großteil aus der Atmung. Die Energiebereitstellung erfolgt somit zu fast 100 Prozent aus der Atmung.

### Die Energiebereitstellung im Fußball

Der Großteil der Energiebereitstellung kommt während eines Fußballspiels aus der Atmung. Dennoch wird vor allem in Situationen der Sprints auch das System der Glykolyse zur ATP-Produktion benötigt. Aufgrund der Tatsache, dass die Natur der Muskulatur nur diese Hauptsysteme zur Energiebereitstellung gegeben hat, ist es für einen Fußballer entscheidend, wie

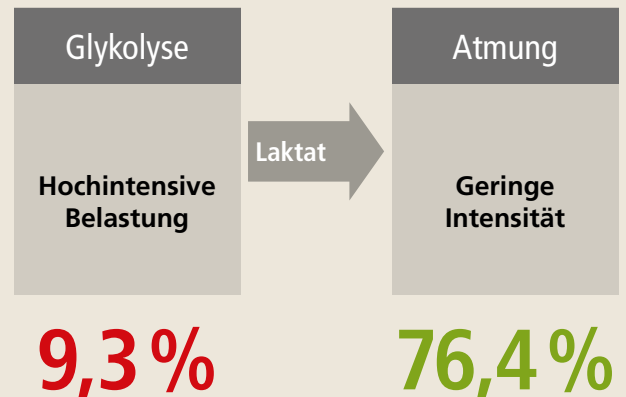
- » stark die Systeme jeweils im Wettkampf beansprucht werden und
- » wie hoch die maximale Leistungsfähigkeiten dieser beiden Systeme sind.

Daraus lässt sich schließen, dass sich die wechselnde Belastung von Sprints, langsamen und mittleren Intensitäten des fußballspezifischen Wettkampfes in der Aktivität der Glykolyse und der Atmung zeigen.

### Beispiel: Beanspruchung der energieliefernden Systeme

Etwa 76 Prozent der ATP-Produktion kommen bei einem Bundesligaspieler aus dem System der Atmung. Demgegenüber besteht der Anteil des glykolytisch produzierten ATPs nur bei etwa 9-10 Prozent. Die Energiebereitstellungsanteile sind natürlich abhängig vom individuellen Grad der muskulären Anpassung, des individuellen maximalen aeroben Grundlagenniveaus, der individuellen Muskelfaserverteilung, des individuellen Ausdauerlevels und vom Spielverlauf. Aufgrund der modernen Spielanalysesysteme können die Daten der erbrachten Laufleistung von jedem Spitzenspieler

## Individuelles Verhältnis zwischen anaerober und aerober Beanspruchung



## Was bedeutet eigentlich hochintensiv und geringintensiv?

Glykolyse	Mischform	Atmung
bis 10 Sekunden	2 min · 4 min · 60 min	über Stunden
<b>Hochintensiv</b>	2 vs. 2	<b>Geringintensiv</b>
Maximale Aktivität der Glykolyse	4 vs. 4	Aerobe Energiebereitstellung = 100 %
Die Glykolyse ist bei Sprint bis 10 Sekunden maximal aktiviert	6 vs. 6	Atmung ist bei langen Läufen Hauptenergielieferant
	<b>Small-sided games</b>	

valide gemessen werden. In Ergänzung mit einer individuellen sportmedizinischen Leistungsdiagnostik, die die maximale Leistungsfähigkeit der Atmung sowie der Glykolyse feststellen kann, kann somit von jedem Spieler individuell exakt ermittelt werden, wie die physiologische Energiebereitstellung auf zellulärer Ebene erfolgt. Dieses Ergebnis lässt wiederum Rückschlüsse zu, wie der Trainer das Training gestalten muss – welches System (Glykolyse oder Atmung) er trainieren sollte!

### HIT-Training oder Dauermethode?

Es ist also von entscheidender Bedeutung, dass die Auswirkungen eines HIT und der Dauermethode auf die zelluläre Struktur und somit auf die Glykolyse und die Atmung bekannt sind. Wie wirken die „Medikamente“ HIT oder Dauermethode auf den Muskel, wenn man diese wiederholt anwendet?

Hochintensives Training bedeutet, dass die Glykolyse zu 100 Prozent und somit maximal aktiviert ist. Dies geschieht nur, wenn der Spieler einen maximalen Sprint über eine maximale Dauer von 10-15 Sekunden durchführt. Mit zunehmender Sprintdauer ab 15 Sekunden und länger, nimmt die Atmung einen immer größer werdenden Anteil an der ATP-Produktion ein – der glykolytische Anteil nimmt ab. Beim hochintensiven Training wird somit das System der Glykolyse entwickelt. Dadurch wird die schnelle Produktion von ATP verbessert, allerdings auch die Schnelligkeit der Produktion von Laktat erreicht – hierbei spricht man von der Steigerung der maximalen Laktatbildungsrate. Studien belegen ebenso, dass sich durch hochintensives Training auch die maximale Leistungsfähigkeit der Atmung – gemessen an der maximalen Sauerstoffaufnahme – entwickelt und sich somit die Ausdauerleistungsfähigkeit durch hochintensives Training erhöht. An dieser Stelle ist Vorsicht geboten. Anzunehmen ist, dass hierbei die Betrachtung der glykolytischen Entwicklung, auf die der Großteil der biologischen Veränderungen in der Muskelzelle entfällt, keine Beachtung findet. Wird das hochintensive Training mehrmals über Wochen hinweg wiederholt, werden sich die Spieler, die nach dieser Trainingsmethode trainieren, sehr müde fühlen, vermutlich auch verletzungsanfälliger werden. Aus physiologischer Sicht wird die Ausdauerleistungsfähigkeit tendenziell sinken!

Geringintensives Training (Dauermethode) bedeutet, dass die Atmung den Hauptlieferanten des ATP darstellt und die Glykolyse kaum aktiviert ist. Die Energiebereitstellung erfolgt somit vorwiegend über die Atmung. Belastungen entsprechend der klassischen Dauermethode bewirken primär eine

Steigerung der maximalen Leistungsfähigkeit der Atmung und somit der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Folge des Trainings ist die Verbesserung der ATP-Produktion sowie des Laktatabbaus. Dadurch wird die Ausdauerleistungsfähigkeit steigen.

### Merke

Ist der Bereich der Grundlagenausdauer (Atmung) durch geringintensive mit hoher Dauer durchgeführte Belastungen ausreichend entwickelt und somit die ATP-Produktion ohne Laktatabbau in hohem Umfang gewährleistet, kann und muss aufgrund der fußballspezifischen Belastungsstruktur im Wettkampf zusätzlich hochintensiv trainiert werden. Die Muskelzelle ist somit während des Wettkampfes in der Lage, das durch die notwendigerweise teils maximal aktivierte Glykolyse schnell produzierte Laktat, durch das System der Atmung abzubauen. Ist das abbauende Element der Atmung jedoch nur geringfügig entwickelt, so ist anzunehmen, dass hochintensives Training mit einer Steigerung der maximalen Laktatbildungsrate die Ausdauerleistungsfähigkeit des Muskels reduziert.

### Sportmedizinische Leistungsdiagnostik

Die Glykolyse als laktatproduzierendes System und die Atmung mit der Funktion des Laktatabbaus lassen sich leistungsdiagnostisch abschätzen und messen. Der Laktatabbau ist in Abhängigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme feststellbar. Demgegenüber kann die maximale Laktatproduktion abgeschätzt werden. Mit Hilfe der Kenntnis der maximalen Leistungsfähigkeiten von Glykolyse und Atmung wird der Trainer in die Lage versetzt, eine Entwicklung der maximalen Laktatbildungsrate und/oder der maximalen Sauerstoffaufnahme zu initiieren – unter Anwendung der für die jeweils beiden Systeme primär reizauslösenden Trainingsprogramme HIT oder klassische Dauermethode.

### Fazit

Es ist hilfreich, die Struktur und daraus ableitend die Funktion des Muskels zu kennen. Basierend auf den beiden Systemen zur ATP-Produktion und einer entsprechenden Analyse jeden Spielers, können die individuell effektivsten Trainingsmethoden gewählt werden. Zur Bestimmung der fußballspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit sollten die maximalen Sauerstoffaufnahme sowie die maximale Laktatbildungsrate diagnostiziert und zueinander in Verbindung gesetzt werden. <