



# Belastungssteuerung im Spitzensport

## Informations-Vorsprung für Trainer und Athleten

Wer seine sportliche Leistung verbessern will, muss die Anforderungen beim Training kontinuierlich steigern. Das wusste schon Milon von Kroton, einer der berühmtesten Athleten der Antike. Der einstmals schwächliche Knabe begann sein Krafttraining, indem er ein neugeborenes Kalb um den Hof seiner Eltern trug. Der Legende nach fuhr er damit fort, bis das Kalb zum Stier herangewachsen war. Heutzutage bewegen sich Spitzenathleten auf einem schmalen Grat zwischen hochwirksamem Trainingsreiz und Überlastung. Die diagnostischen Methoden der Sportwissenschaft und Sportmedizin helfen ihnen, ihre Trainingsbelastungen optimal zu steuern.

**von Christian Thiel und Winfried Banzer**

Unter Belastungssteuerung verstehen Sportwissenschaftler und -mediziner eine Leistungsoptimierung durch die gezielte Anpassung körperlicher Trainingsbelastungen an individuelle Voraussetzungen. Dazu zählen Alter, Geschlecht, Konstitution, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Psyche und Motivation. Bei der wissenschaftlichen Steuerung des Trainingsprozesses wird sichergestellt, dass überschwellige Reize zu einer Leistungssteigerung führen, ohne die Belastbarkeit des Athleten zu übersteigen. Analysen von Wettkämpfen und Laborsimulationen kompetitiver Sportereignisse liefern Trainern und Athleten zudem Informationen, wie sie ihre Energie über die gesamte Dauer des Wettbewerbs für ein bestmögliches Resultat einteilen.

### **Fußball: Wiederholte Sprints fordern Muskeln und Herz**

Was verlangt eine bestimmte Sportdisziplin vom Athleten? Antworten liefert die Belastungsanalyse. Sie basiert auf systematischen Beobachtungen, Videoanalysen, Messungen der physiologischen Antwort des Körpers sowie der vergleichenden Evaluation der Leis-

tungsfähigkeit von Sportlern. Fußballspieler absolvieren beispielsweise in einem Bundesligaspiel durchschnittlich über 1000 Einzelaktionen, darunter 10 bis 20 lange Sprints, 10 Kopfball-Duelle, 50 Aktionen mit Ball und 30 Pässe. Profis laufen während eines 90-minütigen Spiels etwa 10 bis 12 Kilometer (Torwart: 4 Kilometer). Die intervallförmige Belastung setzt sich aus Sprints zusammen. Sie machen zwar nur 0,5 bis 3 Prozent der effektiven Spielzeit aus, sind aber letztlich spielentscheidend. 90 Prozent dieser Sprints gehen über eine Distanz von weniger als 30 Metern, 50 Prozent sogar unter 10 Metern.

Die resultierende Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems und der Lunge, wie sie auch die Abteilung Sportmedizin bei Erstligamannschaften wie der Eintracht Frankfurt erfasst hat, liegt bei 80 bis 90 Prozent der maximalen Herzfrequenz und einer Sauerstoffaufnahme von 42 bis 50 ml/kg/min (Milli-Liter pro Kilogramm Körpergewicht und Minute). Um diese Leistungen zu erbringen, müssen Fußballspieler eine überdurchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme von 55 bis 68 ml/kg/min aufweisen (Normalbevölkerung 35 bis 40 ml/kg/min) und über Schnelligkeit (30-Meter-Sprint in 4,0 bis 4,4 Sekunden) und Sprungkraft (35 bis 50 Zentimeter beidbeiniger Counter Movement Jump) verfügen.

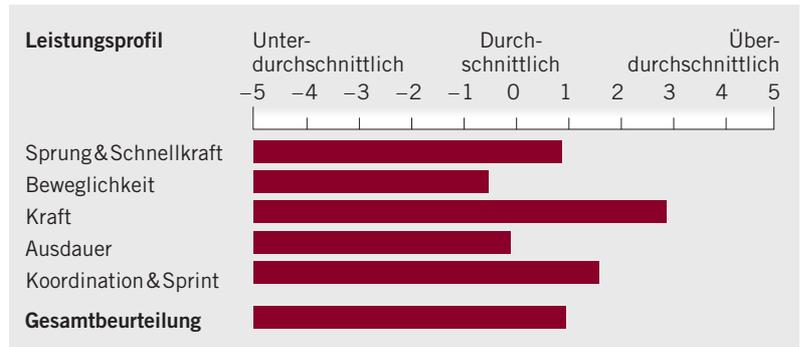
Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) bezeichnet die maximale Menge an Sauerstoff, die bei schwerster körperlicher Arbeit pro Minute aufgenommen werden kann und gilt als »Bruttokriterium« der kardiopulmonal-metabolischen Kapazität. Sie repräsentiert alle Mechanismen, die an der Ausdauerleistung beteiligt sind, darunter die Herzgröße, die Kapillarisation, die Zahl der Mitochondrien und die aerobe Enzymkapazität in der Muskulatur. Sie kann absolut in Litern pro Minute oder relativ zum Körpergewicht (in ml/kg/min) ausgedrückt werden.

Eine gute Einschätzung der kardiorespiratorischen Belastung einer Sportart bietet der gesamte in Training und Wettkampf benötigte Energieumsatz. Leistungsphysiologen der Abteilung Sportmedizin verglichen erstmals den Gesamtenergieumsatz von Profis einer Erstligamannschaft an Trainings-, Wettkampf- und Erholungstagen unter Feldbedingungen. Tagesenergieumsätze an Erholungs- (2985+/-434 kcal), Trainings- (3859+/-823 kcal) und Wettkampftagen (5021+/-1269 kcal) unterschieden sich signifikant voneinander. Zum Vergleich: Sitzend arbeitende Menschen kommen auf 1600 kcal, Radprofis bei einer langen Etappe auf über 8000 kcal pro Tag. Der an Wettkampftagen um knapp 70 Prozent erhöhte Energieumsatz von Fußballprofis liegt demnach im unteren Bereich klassischer Ausdauersportarten. Die Ergebnisse unterstreichen die Rolle der Ausdauerleistungsfähigkeit im Fußball und der Ernährung für eine optimale Regeneration.

**Tennis: Leistungsdiagnostik deckt Schulter-Dysbalancen auf**

In allen Sportarten hat die Bedeutung von Ausdauer, Schnelligkeit, Sprungkraft, Kraft und Beweglichkeit in den vergangenen Jahren zugenommen. Die sportmedizinische Leistungsdiagnostik gibt Antworten auf die Frage, welche Stärken und Schwächen ein Athlet hat, und welche individuellen Belastungsintensitäten die größten Effekte versprechen. Bei Spitzensportlern arbeitet man in der Frankfurter Sportmedizin mit einer Reihe unterschiedlicher Labor- und Feldtests, welche die individuelle Ausprägung von Leistungen in unterschiedlichen konditionellen Bereichen vergleichend darstellen. Eine Tennis-Komplexdiagnostik dauert beispielsweise – inklusive notwendiger Pausen – fünf bis sechs Stunden. ■

Die Messung der Beweglichkeit, insbesondere von Schulter- und Hüftgelenk, gibt Auskunft über den Muskel- und Gelenkstatus der Spieler. Häufig wird auf der dominanten Seite eine eingeschränkte Schulter-In-



■ Darstellung der Komplexdiagnostik-Ergebnisse für eine Tennis-Nachwuchsspielerin mit überdurchschnittlicher Kraftfähigkeit und guter Schnellkraft. Die Trainingsempfehlung in diesem Fall lautete, Beweglichkeit und Ausdauer vermehrt zu trainieren.

nenrotation diagnostiziert. Bei langfristigem Bestehen erhöht sich dadurch das Verletzungsrisiko. Ein weiterer Messwert, die Kraftwerte der unteren Extremität, des Rumpfes und der Schulter geben Aufschluss über das Kraftniveau im Vergleich zu Normdaten. Gemessen werden die Unterschiede zwischen Beuge- und Streckmuskulatur (Agonisten und Antagonisten) sowie Unterschiede zwischen rechter und linker Körperseite. Häufigster Befund sind Schulter-Dysbalancen. Wenn Tennisprofis bis zu 20 Stunden pro Woche auf dem Platz stehen, trainieren sie bei Vorhand und Aufschlag fast ausschließlich ihre Innenrotatoren und vernachlässigen die für die Stabilität der Schulter so wichtigen Außenrotatoren. Nicht zuletzt aus Sicht der Verletzungsprophylaxe gilt es speziell im Nachwuchsbereich, aber auch bei Profis, dieses Ungleichgewicht durch gezieltes Training auszugleichen.

Die professionelle Umsetzung der Erkenntnisse aus der Leistungsdiagnostik in den Trainingsalltag wird im Hochleistungssport häufig vernachlässigt. Eine umfassende sportmedizinische und sportwissenschaftliche Nachberatung und ein stetiger Kontakt im Anschluss an die Diagnostik stellen wichtige Erfolgsfaktoren dar.

**Leistungstraining in der Antike**

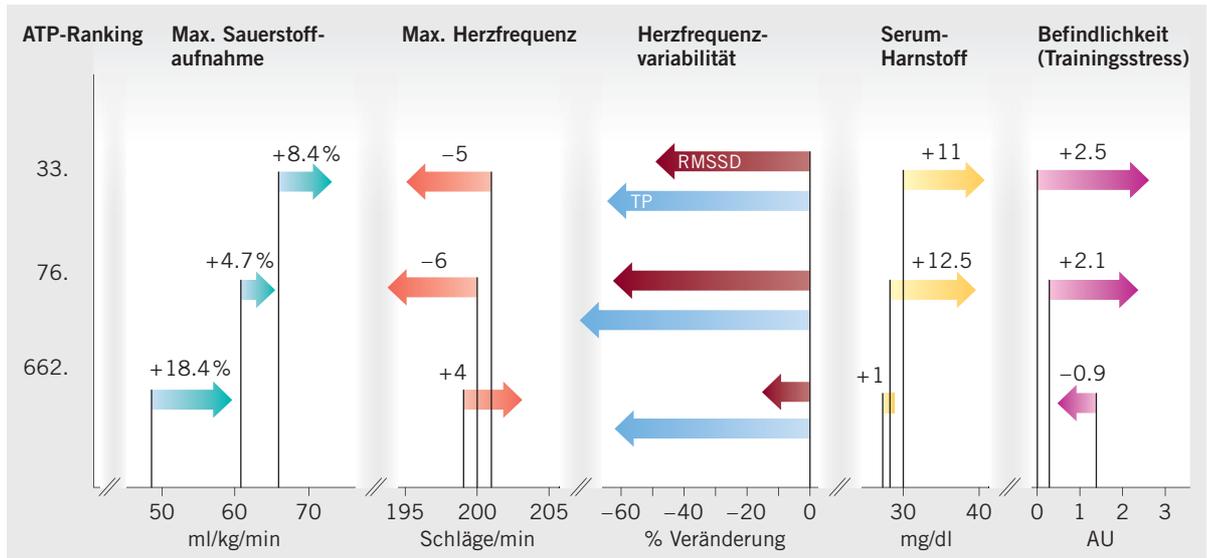
Milon von Kroton (circa 555–510 v. Chr.) ging als sechsfacher Olympiasieger im Ringkampf in die Geschichte ein. Da er als Junge häufig von den stärkeren Nachbarskindern verprügelt wurde, entschloss er sich zu einem ungewöhnlichen Krafttraining. Er trug ein neugeborenes Kalb um den elterlichen Hof. Dies wiederholte er antiken Quellen zufolge so lange, bis aus dem Kalb ein Stier geworden war. Mit seinen 600 bis 1200 Kilogramm wäre ein Stier wohl selbst für den aktuellen Weltrekordhalter im Kniebeugen zu schwer: Er schafft eine 90-Grad-Kniebeuge mit einer 475 Kilogramm schweren Hantelstange auf den Schultern.

Aus trainingswissenschaftlicher Sicht interessant ist die Tatsache, dass ein Kalb täglich 0,4 bis 1,2 Kilogramm zunimmt und sich die Trainingslast somit der zunehmenden Leistungsfähigkeit des jungen Milon anpasste. Dies ist im weitesten Sinne eine frühe Strategie der Belastungssteuerung, wie sie im heutigen Training von Spitzensportlern Anwendung findet.



Ergebnisse von ein- und beidbeinigen Sprungtests gestatten die Beurteilung der Explosivkraft und bewerten damit die Fähigkeit, Kraft maximal schnell entfalten zu können.

Veränderung von Leistung, Laborparametern, autonomer kardialer Regulation und Befindlichkeit von Tennisprofis während der trainingsintensiven Vorbereitungsperiode. Der RMSSD-Wert (»Root mean square of successive differences«) errechnet sich aus Differenzen aufeinanderfolgender Herzschläge. Er ist ein Indikator für die vegetative Steuerung der Herzrhythmusleistung. TP (Total Power) steht für die Gesamtleistung der autonomen kardialen Regulation. Ein Anstieg des Harnstoffs im Blutserum zeigt einen verstärkten Eiweißabbau in den Muskeln an, der durch hohe Belastungen hervorgerufen wird.



**Überlastung rechtzeitig erkennen**

Überlastungszustände (Overreaching) machen sich durch einen Leistungsabfall bemerkbar. Werden rasch Regenerationsmaßnahmen eingeleitet, kann die alte Leistung innerhalb von wenigen Tagen oder Wochen wieder erreicht werden. Kommt es dagegen zu fort-dauernder Überlastung, kann die Leistungseinbu- ße über mehrere Monate anhalten und die Karriere des Sportlers ernsthaft gefährden. Die Prävalenz von Overreaching im Profi-Sport variiert erheblich, unter anderem in Abhängigkeit von Wettkampf- und Trainingsdichte. Der Turnierplan der Association of Tennis Professionals (ATP)-Tour zwingt Tennisprofis zu einer sehr langen Saison von Januar bis November. In der kurzen für die Saisonvorbereitung verbleibenden Zeit muss eine sehr hohe Trainingsdichte mit teils ungewohnten Trainingsbelastungen realisiert werden. Momentan ist unklar, inwieweit Overreaching im Tennis verbreitet ist.

Die Diagnose von Überlastungszuständen, wie sie Sportmediziner für den Spitzensport fordern, ist komplex, und es fehlen etablierte Marker. In einer Pilotstudie haben Frankfurter Sportmediziner erstmals bei Tennisprofis unterschiedlichen Leistungsniveaus ob-

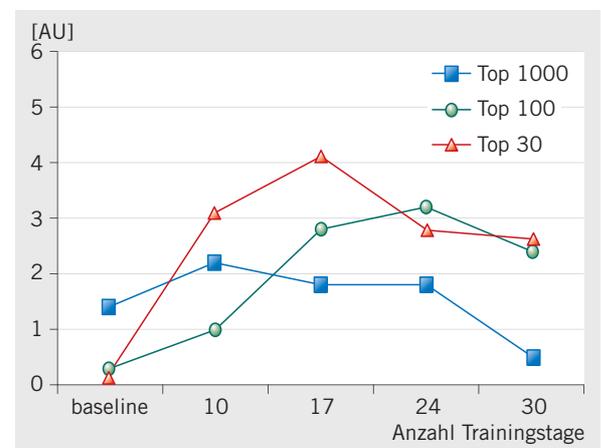
jektive und subjektive Indikatoren von Overreaching während dieser Vorbereitungsphase beobachtet. Untersucht wurden drei erfahrene, in der Weltrangliste auf Top-30-, Top-100- und Top-1000-Niveau spielende Tennisprofis, die ihre Trainingsbelastung in der von Frankfurter Sportwissenschaftlern betreuten einmonatigen Vorbereitung um 120, 160 und 180 Prozent erhöhten. Das Monitoring von Überbeanspruchungsanzeichen erfolgte trainingsbegleitend auf Grundlage paralleler Längsschnittbeobachtungen von Laborparametern, Leistungsfähigkeit, physiologischen Belastungsreaktionen, kardialer autonomer Regulationsleistung und psychophysischer Befindlichkeit.

Die Spieler wiesen nach 74, 76 und 55 Trainingsstunden innerhalb von 30 Tagen eine erhöhte Sauerstoffaufnahme und Schnellkraft auf, aber kein Overreaching. Das Ergebnis zeigt, dass Tennisprofis grundsätzlich für einen begrenzten Zeitraum von vier Wochen Steigerungen ihrer Trainingsbelastung auf 15 bis 25 Stunden pro Woche tolerieren. Reduktionen der maximalen Herzfrequenz, Veränderungen einiger Labormarker sowie eine reduzierte Herzfrequenz zeigten jedoch insbesondere bei den beiden Top-100-Spielern eine außergewöhnlich hohe Trainingsbelastung an. Das ergibt

**Dienstleistungen der Abteilung Sportmedizin**

Nicht nur Spitzensportler, sondern auch Sport-einsteiger, Patienten und Freizeitsportler nutzen die Dienstleistungen der Abteilung Sportmedizin in den Bereichen Leistungs-/Funktionsdiagnostik und Trainingsplanung. Das Angebot umfasst ebenfalls eine sportwissenschaftliche Sprechstunde und Ernährungsberatung. Für Studierende und Mitarbeiter der Universität Frankfurt gibt es Sonderkonditionen.

Informationen:  
 Andreas Bernardi, Tel. 069/79 82 45 84  
 bernardi@sport.uni-frankfurt.de  
[www.sportmedizin.uni-frankfurt.de/Leistungsdiagnostik/index.html](http://www.sportmedizin.uni-frankfurt.de/Leistungsdiagnostik/index.html)



Befindlichkeit (wahrnehmener Trainingsstress) von Tennisprofis im Verlauf der trainingsintensiven Vorbereitungsperiode. Werte über 2 sind mit starker Belastung assoziiert. Beim Top-30-Spieler wurde die Trainingsbelastung in den letzten beiden Wochen leicht reduziert.

Schulter-Kraftdiagnostik bei einem Tennisprofi an einem Biodex 2 Isokinetik-Gerät. Aus den Absolutwerten bei unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten und der Kraftrelation zwischen Beugen und Streckern lassen sich Zielvorgaben für das Training ableiten.



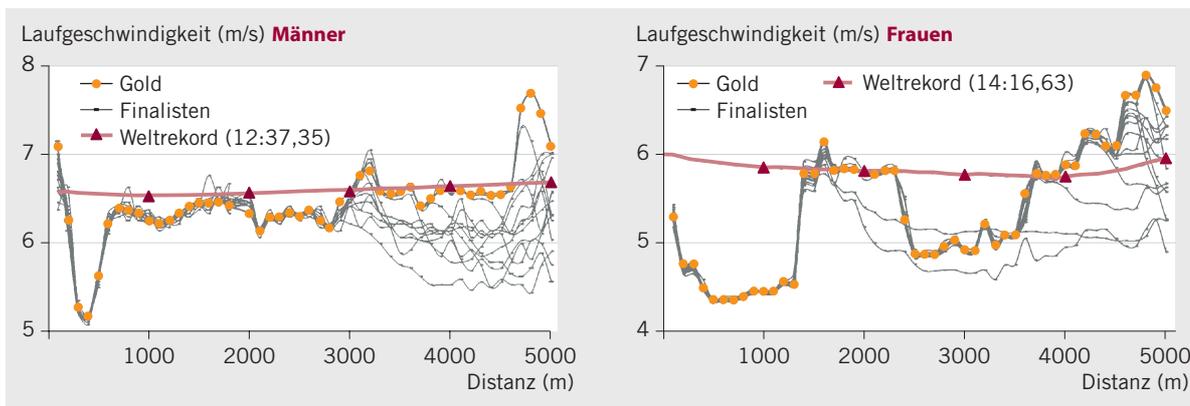
sich aus der Gesamtschau der Parameter, von denen einige Veränderungen zeigen und/oder Absolutwerte überschreiten, die mit starker oder temporärer Überlastung assoziiert werden **2** und die sich auch in der subjektiven Befindlichkeit widerspiegeln **3**. Ein engmaschiges Monitoring erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll, um beim Auftreten von Überlastungserscheinungen frühzeitig Regenerationsmaßnahmen einleiten zu können.

### Leichtathletik: Energie richtig einteilen

In Ausdauer-Sportarten können wenige Sekunden über Sieg oder Niederlage entscheiden – Sekunden, die sich durch eine optimale Einteilung der Energie über die gesamte Renndistanz hinweg einsparen lassen. Strategien der Leistungssteuerung in Ausdauer-Sportarten heißen »Pacing-Strategien«.

In der Leichtathletik werden fast sämtliche Langstrecken-Weltrekorde mit der gleichen U-förmigen Pacing-Strategie erzielt: ein schneller Start, ein langer Mittelteil mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit und ein langer Endspurt. Welche Pacing-Strategien am Saisonhöhepunkt bei den Finals großer Wettkämpfe zum Einsatz kommen, ist hingegen noch nicht systematisch

Die Analyse ergab erstens, dass Pacing-Strategien in olympischen Finals variabel sind und sich von Strategien zum Erzielen eines Weltrekordes deutlich unterscheiden, was auf die taktische Natur olympischer Rennen hinweist. Zweitens ist bei hoher Auflösung eine erhebliche Variabilität der Laufgeschwindigkeit evident. Drittens wiesen Läufer, die auf der Langstrecke das Tempo der Spitzengruppe nicht mitgehen konnten, eine stabile Laufgeschwindigkeit und einen Endspurt auf. Demnach stellt die Reduktion der Laufgeschwindigkeit keine physiologische Katastrophe dar, sondern eine aktive Handlung zur Vermeidung dieser Katastrophe. Und viertens: Nachdem die späteren Medaillengewinner einen Großteil der Konkurrenten ent-



**45** Strategien der Leistungssteuerung (Pacing) bei den olympischen 5000-Meter-Finals der Männer (links) und der Frauen (rechts) in Peking 2008 im Vergleich zum jeweiligen Weltrekord.

Unterschiede in der Pacing-Strategie zeigen sich insbesondere bei den Frauen durch erhebliche Veränderungen der Laufgeschwindigkeit (Tempowechsel). Läufer, die das Tempo der Spitzengruppe nicht mehr mitgehen können, reduzieren ihre Geschwindigkeit dosiert. Bei fast allen Läufern ist ein Endspurt erkennbar.

untersucht. Auf Basis erstmals verfügbarer hochauflösender Daten untersuchten die Sportmediziner der Goethe-Universität gemeinsam mit den weltweit renommierten Leistungsphysiologen der Partneruniversität Wisconsin-La Crosse (USA) exklusiv den Verlauf und die Variabilität individueller Laufgeschwindigkeiten bei den olympischen 800- bis 10000-Meter-Finals in Peking 2008.

Vier Fragen standen dabei im Mittelpunkt: 1) Unterscheiden sich die bei Olympischen Spielen und dem aktuellen Weltrekord genutzten Pacing-Strategien? 2) Wie konstant ist die Laufgeschwindigkeit? 3) Treten auf den Langstrecken Fälle eines massiven Leistungseinbruches im Sinne einer physiologischen Katastrophe auf, wenn Läufer das Tempo der Spitzengruppe nicht mitgehen können? 4) Welche Strategie führt die Medaillengewinner zum Sieg? Zur Ermittlung der 100-, 200-, 300- und 400-Meter-Zwischenzeiten registrierten unter der Laufbahn verlegte Transponderantennen Signale von Chips in den Startnummern der Athleten. **45**

weder durch ein weitgehend dauerhaft hohes Renn-tempo oder eine Verschärfung der Geschwindigkeit in der zweiten Hälfte des Rennens abgeschüttelt haben, werden sieben von acht Rennen im Endspurt auf den letzten 400 Metern entschieden.

### Laborsimulation von Wettkämpfen: Wie reguliert der Körper seine Leistung?

Die Läufer der olympischen Finals haben – bewusst und/oder unbewusst – eine Belastungssteuerung durch Anpassungen ihrer Laufgeschwindigkeit betrieben. Diese Steuerung beruht auf einem permanenten Abgleich der physiologischen Beanspruchungssignale des Körpers mit der zu erwartenden Arbeit auf der noch bevorstehenden Laufstrecke. Das Modell der zentralen Regulierung (Central Governor Model) geht davon aus, dass es in höheren Hirnregionen einen zentral ablaufenden Regulationsprozess gibt, der darauf abzielt, eine relative Homöostase (dynamisches physiologisches Gleichgewicht) über die gesamte Dauer des



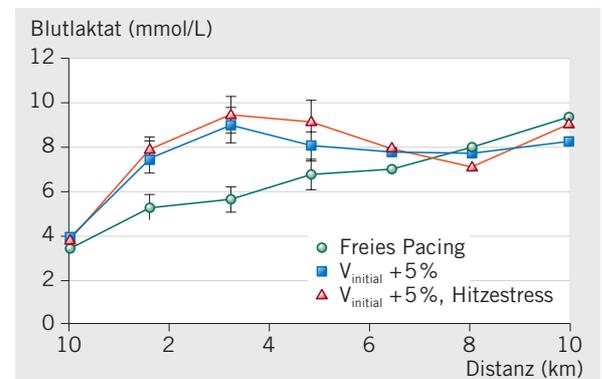
Wettkampfes zu sichern. Kann die Homöostase nicht aufrecht erhalten werden, kommt es zur physiologischen Katastrophe mit massivem Geschwindigkeitsverlust oder sogar zum Abbruch des Wettkampfes.

Wettkampfsimulationen im Labor erlauben Einblicke in die Mechanismen der zentralen Verarbeitung dieser Signale und verbessern das Verständnis dafür, wie die resultierenden Anpassungen der Leistung im Verlauf des Wettkampfes sich physiologisch auswirken. Wie die Pecking-Studie zeigt, kann es vorkommen, dass Läufer bei großen Wettkämpfen möglichst lange mit einer unangemessen hohen Geschwindigkeit laufen, um den Kontakt zur Spitzengruppe nicht zu verlieren. Bislang ist unklar,

Atemgasanalysen mit Hilfe portabler Spiroergometrie erlauben die Erfassung der kardiorespiratorischen Belastung, beispielsweise im Rahmen von Wettkampfsimulationen im Labor.

welche physiologischen Größen in solch einem Fall an der Regulation der Geschwindigkeit beteiligt sind.

Zwei Parameter, die Körpertemperatur und den Blutlaktat Spiegel, haben die Frankfurter Sportmediziner gemeinsam mit US-amerikanischen und niederländischen Partnern untersucht. Dazu absolvierten zwölf trainierte, mithilfe finanzieller Anreize besonders motivierte Läufer ein 10-Kilometer-Rennen auf dem Laufband zunächst mit einem selbst gewählten Pacing. Im zweiten Durchgang wurde die Laufgeschwindigkeit um fünf Prozent erhöht. Während des dritten Laufs kam zu der erhöhten Laufgeschwindigkeit noch Hitzestress hinzu. Zur kontinuierlichen Registrierung der Körperkerntemperatur diente eine speziellen Pille, welche von den Läufern vor Untersuchungsbeginn verschluckt wird und Daten telemetrisch aus dem Verdauungstrakt überträgt. Die Studie zeigte, dass Läufer



Veränderung der Laktatkonzentration während einer 10-Kilometer-Rennsimulation (selbst gewählte Geschwindigkeit versus initial um 5 Prozent erhöhtes Lauftempo).

## 42. Deutscher Sportärztekongress



6. bis 8. Oktober 2011  
Frankfurt am Main

Der Kongress der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin & Prävention findet in diesem Jahr auf dem Campus Westend der Goethe-Universität statt. Bei dieser bedeutenden wissenschaftlichen Veranstaltung deutschsprachiger Experten treffen sich Sportmediziner, Sport- und Gesundheitswissenschaftler, Physiotherapeuten, Ökotrophologen sowie Vertreter des Vereins- und Fitnesports.

International hochrangige Wissenschaftler referieren über ein breites Themenspektrum, beispielsweise sportliche Aktivitäten bei chronischen Erkrankungen wie Herzinsuffizienz oder Krebs, Trainingsoptimierung für Leistungssportler sowie Therapiemöglichkeiten bei Knorpeldegeneration oder typischen Sportverletzungen. Wie die Erkenntnisse der Epigenetik in die Bewertung des sportlichen Potenzials eingehen, ist Gegenstand eines Plenarvortrags zum Auftakt des Kongresses.

Ebenfalls Teil des Programms sind Fortbildungen aus nahezu allen Bereichen der Sportmedizin, von der Höhenmedizin bis zur Tauchmedizin, von Athletenbetreuung bis zur Bewegungstherapie bei chronischen Erkrankungen. Praxisnahe Workshops zu Themen wie Spiroergometrie, Laktatdiagnostik und Untersuchungstechniken sowie eine eigene Trainerfortbildung verbinden Wissenschaft und Praxis. In den Kongress integrierte Fachsymposien ergänzen das Programm.

[www.dgsp.de/kongress](http://www.dgsp.de/kongress)

eine um fünf Prozent erhöhte Geschwindigkeit, wie sie beispielsweise bei Meisterschaftsrennen vorkommt, für zwei bis fünf Kilometer aufrechterhalten können, bevor sie die Geschwindigkeit reduzieren müssen.

Die Körpertemperatur und der Laktat-Wert im Blut stiegen unter den erschwerten Bedingungen deutlich früher an. Entscheidend ist jedoch, dass sie am Ende des Tests den Werten beim freien Pacing gleichen. Demnach scheinen individuelle Veränderungen der Körpertemperatur und der Blutlaktatkonzentration an der antizipatorischen Modulation der Belastungsintensität beteiligt zu sein, die eine energetische Homöostase gewährleistet. Die Untersuchung bestätigt damit aktuelle Studien, welche die Rolle von Laktat als Puffer- und Signalmolekül hervorheben. Die aktuell diskutierte »critical core«-Theorie, der zufolge der Körper unter allen Umständen versucht, eine kritische Temperatur von 40 Grad nicht zu überschreiten, konnte dagegen nicht bestätigt werden - die maximal tolerierte Temperatur scheint eher individuell vom Trainingszustand determiniert zu sein. ♦

### Die Autoren

Dr. Christian Thiel und Prof. Dr. Dr. Winfried Banzer, [siehe Autorenkasten Seite 17].