
ZUM EINFLUSS EINER VORBELASTUNG AUF DAS ANSTRENGUNGSEMPFINDEN BEI EINER AUSDAUERBELASTUNG

Jan-Peter Brückner

Institut für Sportwissenschaft, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Zusammenfassung

Bei konstanter Belastungsintensität nimmt das Anstrengungsempfinden linear mit der Belastungsdauer zu. Die Studie untersucht den Einfluss einer vorherigen Belastung auf das Anstiegsverhalten bei einer Folgebelastrung. Erwartet wird, dass das Anstrengungsempfinden gegenüber einer Belastung im erholten Zustand anfangs erhöht ist und dann gleichermaßen ansteigt. 14 Triathleten/-athletinnen absolvieren zwei Laufbelastungen auf einer 400 m-Laufbahn mit derselben, konstanten Geschwindigkeit über jeweils maximal acht Runden entsprechend einem Anstrengungsempfinden von 15 auf der RPE15-Skala (Borg, 2004) am Anfang des ersten Laufs. Am Ende jeder Runde wird das Anstrengungsempfinden erfasst. Die Pause zwischen den Läufen ist 15min lang. Das anfängliche Anstrengungsempfinden ist beim zweiten Lauf um 0.7 Einheiten auf der RPE15-Skala erhöht ($p < .05$), während sich die Steigung der Anstrengungs-Belastungsdauer-Beziehung in beiden Fällen nicht signifikant unterscheidet. Die mittels Regression berechnete maximale Belastungsdauer bis zum Erreichen eines maximalen Anstrengungsempfindens ist beim zweiten Lauf auf 87 % des Ausgangswertes reduziert ($p < .05$). Geschlussfolgert wird, dass eine Vorbelastung das anfängliche Anstrengungsempfinden erhöht, die maximal mögliche Belastungsdauer reduziert, das Anstiegsverhalten des Anstrengungsempfindens aber nicht beeinflusst.

Schlüsselwörter

Anstrengungsempfinden, RPE, Ermüdung, Dauerbelastung, Laufen

Einleitung

Das Anstrengungsempfinden ist nach dem Central Governor Model (Noakes, St. Clair Gibson & Lambert, 2004) und dem Psychobiologischen Modell (Marcora, 2008) als bewusste Wahrnehmung des Grads der Aktivierung der Ressourcen zur Bewältigung der sportlichen Anforderungen anzusehen. Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass das mit der RPE15-Skala (Borg, 1998) gemessene Anstrengungsempfinden bei konstanter Belastung linear mit der Belastungsdauer zunimmt (z.B. Noakes, Snow & Febbraio, 2004; Faulkner, Parfitt & Eston, 2008).

Dieser Anstieg repräsentiert unter anderem den erhöhten Aufwand, der mit der Fortführung der Belastungsbewältigung bei gleichzeitiger Abnahme energetischer Ressourcen und Akkumulation von Ermüdungsmediatoren verbunden ist.

Eston, Faulkner, St. Clair Gibson, Noakes und Parfitt (2007) haben gezeigt, dass die Ermüdung durch eine vorherige Belastung zu einem steileren Anstieg des Anstrengungsempfindens bei einer Radbelastung in Höhe von 75 % der VO_2 peak führt. Damit wird bereits früher eine maximale Anstrengung empfunden und die Belastung vorzeitig abgebrochen. Während der

Anstieg des Anstrengungsempfindens im ermüdeten Zustand steiler verlief, konnten die Autoren dagegen keinen Unterschied im Hinblick auf das initiale Anstrengungsempfinden am Anfang der Belastung feststellen. Dies ist aus theoretischer Sicht insofern bemerkenswert, als die Ermüdung in Form reduzierter Glykogenspeicher bereits bei Beginn der Belastung vorlag und deshalb bereits zu diesem Zeitpunkt ein höheres Anstrengungsempfinden als im erholten Zustand zu erwarten gewesen wäre. Weitere Studien, die gezielt den Einfluss von Ermüdung auf die Dynamik des Anstrengungsempfindens untersuchen und dabei zwischen initialem Anstrengungsempfinden und dem weiteren Anstieg differenzieren, liegen bisher nicht vor.

Ziel der vorliegenden Studie ist es entsprechend, den Einfluss von Ermüdung auf das Anstrengungsempfinden im Verlauf einer Ausdauerbelastung zu bestimmen. Erwartet wird, dass Ermüdung bereits zu Beginn der Belastung mit einem erhöhten Anstrengungsempfinden verbunden ist. Bei gleicher Belastungsintensität sollte die weitere Ermüdungszunahme im erholten und ermüdeten Zustand

aufgrund derselben energetischen Anforderungen übereinstimmen, so dass in beiden Fällen ein identischer Anstieg des Anstrengungsempfindens zu erwarten ist.

Methode

Versuchspersonen

An der Studie nehmen 14 (davon 8 männlich) Freizeitsportler/-innen im Alter von 34 ± 13 Jahren teil. Alle Teilnehmer/-innen sind Mitglied eines lokalen Triathlonvereins, trainieren regelmäßig und nehmen an lokalen und regionalen Lauf- oder Triathlonwettkämpfen teil. Die Vpn hatten keine vorherigen Erfahrungen im Umgang mit der RPE15-Skala oder vergleichbaren Verfahren.

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Untersuchung wird im Laufen als Feldstudie auf einer 400m-Rundbahn durchgeführt (s. Abb. 1). Sie beginnt mit einer umfassenden theoretischen Einführung in die Benutzung der RPE15-Skala, die sich an der Skalenbeschreibung von Borg (2004) orientiert. Anschließend werden die Vpn aufge-

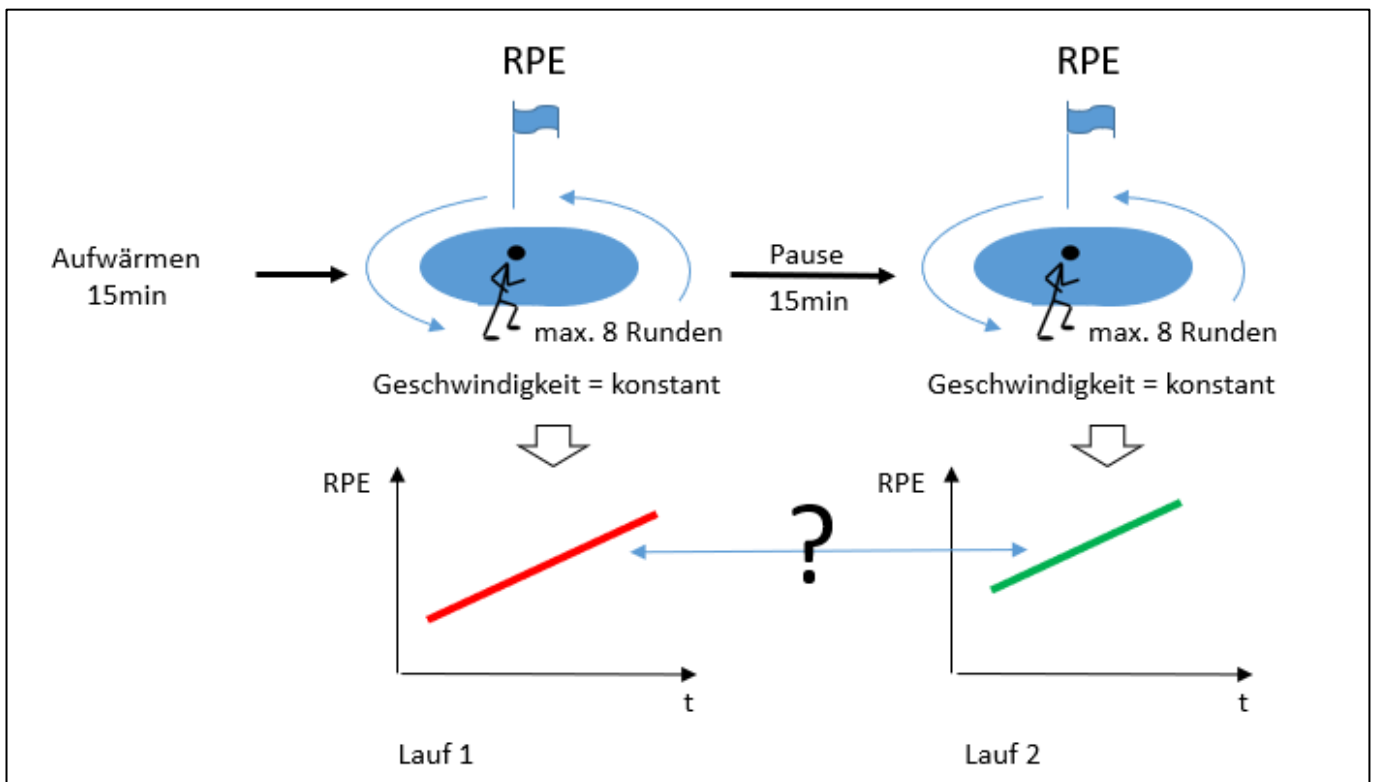


Abb. 1: Versuchsaufbau

fordert sich innerhalb von 15 min eigenständig einzulaufen und sich hierbei mit der Beurteilung des Anstrengungsempfindens vertraut zu machen sowie auszuprobieren, bei welcher Laufgeschwindigkeit sie ein Anstrengungsempfinden von 15 empfinden.

Nach dieser Vorbereitung beginnt die eigentliche Untersuchung: Hierbei sind von jeder Vp zwei Laufbelastungen mit einem zeitlichen Abstand von 15 min zu absolvieren. Auf der ersten 400 m-Runde des ersten Laufs ist das Lauftempo von jeder Vp so zu gestalten, dass sie eine Anstrengung von 15 auf der RPE15-Skala empfindet. Dieses Tempo ist im Weiteren beizubehalten, wobei die Vpn über Stopp- und GPS-Uhren die Geschwindigkeit bzw. die Rundenzeiten kontrollieren, um sie möglichst konstant halten zu können.

Der erste Lauf wird abgebrochen, wenn das auf der ersten Runde gewählte Tempo nicht mehr aufrechterhalten werden kann, spätestens jedoch nach 8 Runden. Nach der 15-minütigen Pause beginnt der zweite Lauf, der im selben Tempo zu laufen ist. Auch der zweite Lauf wird beendet, wenn das Tempo nicht aufrechterhalten werden kann oder wenn acht Runden gelaufen wurden.

Am Ende jeder Laufrunde wird das aktuelle Anstrengungsempfinden mittels RPE15-Skala bewertet und dem Versuchsleiter mitgeteilt, der auch die gelaufene Rundenzeit erfasst.

Datenauswertung

Für Kontrollzwecke werden Regressionsanalysen getrennt nach Läufen und Versuchspersonen durchgeführt. Zuerst wird geprüft, ob sich die jeweils gelaufenen Rundenzeiten auf die jeweiligen Rundenzahlen zurückführen lassen. Vpn, für die sich ein signifikanter Trend der Rundenzeit in einem der Läufe zeigt, werden von weiteren Analysen ausgeschlossen.

Im nächsten Schritt werden Analysen für die lineare Regression des Anstrengungsempfindens auf die verstrichene Gesamtzeit während des Laufs durchgeführt, um so das individuelle Anstiegsverhalten des Anstrengungsempfindens innerhalb des Laufs in Relation zur Belastungsdauer zu modellieren.

Sowohl die Parameter der individuellen Regressionen von Lauf 1 und Lauf 2 (Steigung und additive Konstante) als auch das jeweils nach der ersten Runde Laufrunde gemessene Anstrengungsempfinden werden mittels t-Test für verbundene Stichproben auf Unterschiede geprüft.

Hypothesentests erfolgen auf einem α -Fehlerniveau von $\alpha = .05$. Die Berechnungen werden mit IBM® SPSS® Statistics (Version 24) durchgeführt.

Ergebnisse

Die mittlere von den Vpn gelaufene Rundenzeit betrug 1:55 min ($SD = 0:22$ min), was einer Laufgeschwindigkeit von 12.9 kmh^{-1} ($SD = 2.5 \text{ kmh}^{-1}$) entspricht. Sie sollte so gewählt werden, dass auf der ersten Runde ein Anstrengungsempfinden von 15 auf der RPE15-Skala vorlag. 11 der 14 Vpn gaben dementsprechend einen RPE-Wert von 15 am Ende der ersten Runde an. Jeweils eine Vp nannte hier einen abweichenden RPE-Wert von 13, 14 und 16.

Die anfangs im ersten Lauf gewählte Geschwindigkeit konnte von allen Vpn während beider Läufe weitgehend bis zum ermüdungsbedingten oder vom Versuchsleiter veranlassten Abbruch konstant gehalten werden. Der größte Unterschied zwischen zwei Rundenzeiten, der bei einem Läufer auftrat, betrug drei Sekunden; alle anderen Zeiten differierten um maximal zwei Sekunden. Bei allen Vpn konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Rundenzahl und Laufgeschwindigkeit festgestellt werden.

Fünf Vpn brachen den ersten Lauf ermüdungsbedingt nach der fünften ($n = 1$), sechsten ($n = 1$) oder siebten ($n = 3$) Laufrunde ab. Alle weiteren Vpn liefen acht Runden im ersten Lauf. Der zweite Lauf wurde von sechs Vpn vorzeitig nach der vierten ($n = 2$), fünften ($n = 2$) oder sechsten ($n = 2$) Runde beendet. Die anderen acht Vpn liefen auch hier acht Runden.

Am Ende der ersten Laufrunde des ersten Laufs gaben die Versuchspersonen ein Anstrengungsempfinden von 14.9 ($SD = 0.7$) an. Zum Ende des ersten Laufs stieg dieser Wert auf 18.9 ($SD = 1.4$) an. Das Anstrengungsempfinden am Ende der ersten Runde des zweiten Laufs betrug 15.6 ($SD = 0.6$) und war

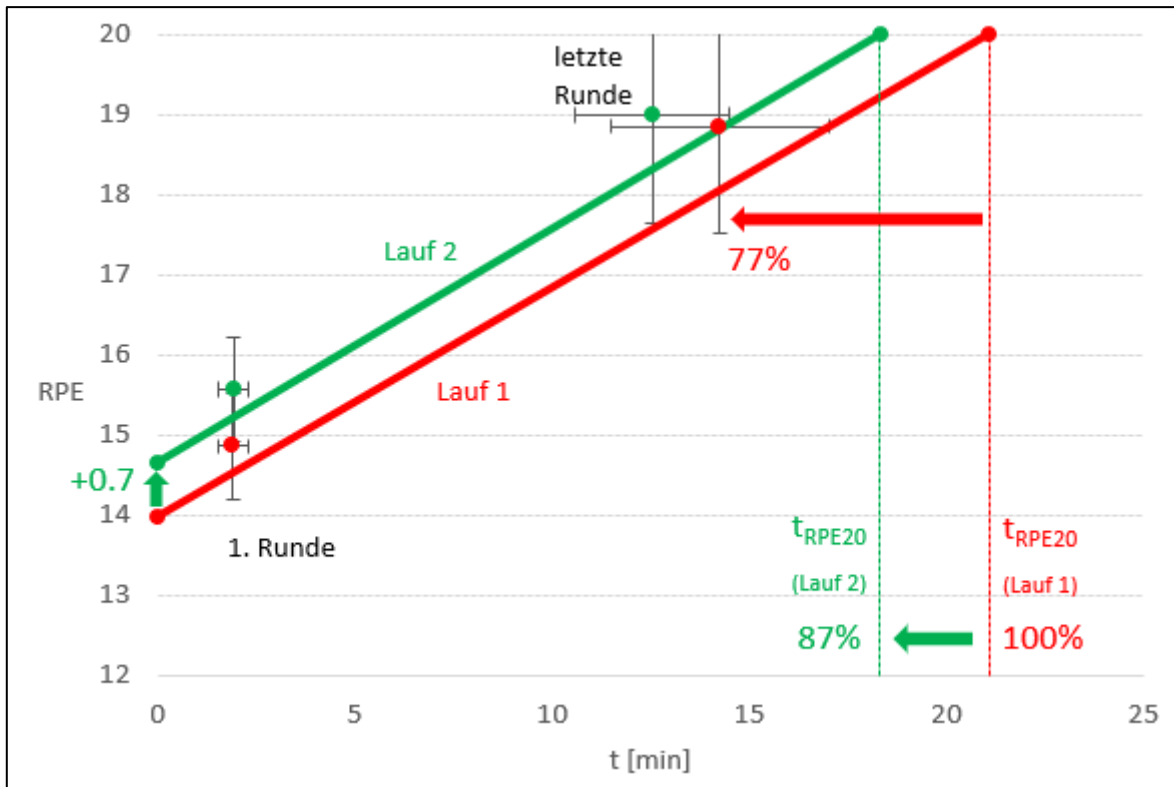


Abb. 2: Anstrengungsempfinden (RPE) in Abhängigkeit von der Belastungsdauer t für Lauf 1 (rot) und Lauf 2 (grün). Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichung am Ende der ersten und letzten Laufrunde. Die Geraden ergeben sich durch die Mittelwerte von Steigung und Konstante der individuellen Regressionsgeraden der 14 Vpn. t_{RPE20} entspricht der theoretischen Belastungsdauer bis zum Erreichen des maximalen Anstrengungsempfindens von 20 auf der RPE15-Skala.

signifikant höher als der entsprechende Wert des ersten Laufs ($t_{13} = -3.24; p < .01$). Gleichzeitig war das Anstrengungsempfinden aber signifikant niedriger als auf der letzten gelaufenen Runde des ersten Laufs ($t_{13} = 8.25; p < .001$). Die 15-minütige Pause zwischen den beiden Läufen hat damit zu einer mittleren Abnahme des Anstrengungsempfindens von 3.3 RPE-Einheiten ($SD = 1.5$) geführt, was einem Rückgang um 83 % ($SD = 19\%$) vom zuvor im ersten Lauf beobachteten Anstieg von 4.0 RPE-Einheiten entspricht. Am Ende des zweiten Laufs wurde ein Anstrengungsempfinden von 19.0 ($SD = 1.4$) angegeben.

Tabelle 1 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse der individuellen Regressionsanalysen für das Anstrengungsempfinden und die Laufzeit. Für Lauf 1 ergibt sich eine signifikant niedrigere additive Konstante ($p < .05$), die das initiale Anstrengungsempfinden am Anfang des Laufs modelliert. In Bezug auf den zeitabhängigen Anstieg des Anstrengungs-

empfindens ist dagegen kein signifikanter Unterschied feststellbar.

Die mittels individueller Regressionsgleichungen berechneten Laufzeiten t_{RPE20} , die jeweils dem Zeitpunkt des Erreichens eines maximalen Anstrengungsempfindens von 20 entsprechen, sind beim zweiten Lauf signifikant um 2:24 min

Tab. 1: Gemittelte Parameter der individuellen linearen Regressionsanalysen für die Abhängigkeit des Anstrengungsempfindens von der verstrichenen Laufzeit [$M \pm SD$] sowie berechnete maximale Laufzeit für einen RPE-Wert von 20.

Parameter	Lauf 1	Lauf 2	t_{13}
Steigung	0.33 ± 0.11	0.36 ± 0.18	-0.91
Konstante	14.0 ± 0.93	14.7 ± 0.92	-2.70*
t_{RPE20}	$21:07 \pm 10:12$	$18:20 \pm 10:25$	2.43*

Anm.: Steigung in RPE-Einheiten*min⁻¹, t_{RPE20} in min, *: $p < .05$.

($SD = 4:15$ min) kürzer als im ersten Lauf, was einer mittleren Abnahme von t_{RPE20} auf 87 % ($SD = 22$ %) der Ausgangswerte entspricht, die für den ersten Lauf ermittelt wurden.

Beim ersten Lauf betrug die Belastungszeit im Mittel 77 % ($SD = 24$ %) von t_{RPE20} , so dass am Ende des Laufs die rechnerische Restzeit bis zum Erreichen eines maximalen Anstrengungsempfindens noch durchschnittlich 23 % ($SD = 24$ %) von t_{RPE20} betrug. Diese Restzeit ist nach der 15-minütigen Pause wieder auf 87 % angestiegen (entsprechend dem oben genannten Verhältnis von t_{RPE20} für Lauf 2 zu t_{RPE20} für Lauf 1).

Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss einer ermüdenden Belastung auf das Anstrengungsempfinden während einer darauffolgenden Ausdauerbelastung zu untersuchen. Das Anstrengungsempfinden auf der ersten Laufrunde war im zweiten Lauf durchschnittlich 0.7 Einheiten auf der RPE15-Skala gegenüber dem ersten Lauf erhöht. Ebenso ist die gemittelte additive Konstante der individuellen Regressionen des Anstrengungsempfindens auf die Belastungsdauer um denselben Betrag von 0.7 RPE-Einheiten erhöht (s. Abb. 2). Dieser Anstieg kann auf die Ermüdung durch die vorherige Belastung zurückgeführt werden. Die Annahme, dass die Vpn am Beginn des zweiten Laufs gegenüber dem ersten Lauf stärker ermüdet waren, wird dadurch gestützt, dass zumindest ein Teil der Vpn den zweiten Lauf trotz gleicher Laufgeschwindigkeit früher abbrechen musste als im ersten Lauf. Auch die theoretisch mögliche Belastungsdauer bis zum Erreichen eines maximalen Anstrengungsempfindens (t_{RPE20}) ist im zweiten Lauf um 13 % niedriger als im ersten Lauf und weist damit auf eine ermüdungsbedingte Abnahme der Leistungsfähigkeit hin. Die Ermüdung dürfte schon am Beginn des zweiten Laufs zu einem höheren Aktivierungsgrad der leistungssichernden Ressourcen geführt haben, der dann zum höheren Anstrengungsempfinden geführt haben könnte, was im Einklang mit dem Psychobiologischen Modell (Marcora, 2008) und dem Central Governor Model (Noakes, St. Clair Gibson & Lambert, 2004) steht.

Der belastungsbedingte Anstieg des Anstrengungsempfindens verlief in beiden Läufen gleich, d.h. je Zeiteinheit nahm das Anstrengungsempfinden um denselben Betrag zu, was die parallel verlaufenden mittleren Regressionsgeraden veranschaulichen (s. Abb. 2). Die gleichermaßen sich entwickelnde Ermüdung bzw. abnehmenden Ressourcen erfordern erwartungsgemäß dieselbe Zunahme der Aktivierungsprozesse, um die Belastung weiter aufrechterhalten zu können. Auch dieses Ergebnis steht im Einklang mit den genannten theoretischen Modellen.

Das vorliegende Ergebnis deckt sich dagegen nicht mit den Befunden von Eston et al. (2007), die im ermüdeten Zustand dasselbe initiale Anstrengungsempfinden und einen steileren Anstieg im weiteren Verlauf beschrieben haben. Der nichtsignifikante Unterschied am Anfang der Belastung in der Studie von Eston et al. (2007) könnte möglicherweise durch die kleine Stichprobengröße bzw. geringe Power zu erklären sein. Andererseits unterscheiden sich beide Untersuchungen in Bezug auf die untersuchte Sportart und die Art der vorhergehenden Belastung. So haben Eston et al. (2007) einen Rad-Stufentest mit 120 W Anfangsbelastung und einer Steigerung von 40 W alle 3 min bis zum Erreichen der VO_2 peak als Methode zur Ermüdungsinduktion genutzt, während hier eine konstante Laufbelastung verwendet wurde. Dadurch könnten in beiden Fällen verschiedene Ermüdungseffekte vorgelegen haben, die sich möglicherweise unterschiedlich auf das Anstrengungsempfinden ausgewirkt haben könnten.

Aus methodischer Sicht ist festzuhalten, dass in der vorliegenden Untersuchung zwar der Effekt einer vorherigen Belastung auf das Anstrengungsempfinden untersucht werden konnte. Als Defizit ist aber anzusehen, dass nicht sichergestellt werden kann, ob die gemachten Angaben der wahren Empfindung entsprechen oder ob sie bspw. durch die Erwartung eines höheren Anstrengungsempfindens aufgrund der wahrgenommenen oder vermuteten Ermüdung beeinflusst wurden. Die Frage der Validität von Bewertungen des Anstrengungsempfindens ist jedoch ein generell noch ungelöstes Problem in der Forschung zum Anstrengungsempfinden. Ein

weitere Defizit ist darin zu sehen, dass die Stichprobe dieser Studie sehr inhomogen zusammengesetzt war. Der erste Lauf hat bei den Vpn vermutlich zu sehr unterschiedlichen Ermüdungsgraden geführt, was sich teilweise darin widerspiegelt, dass einzelne Vpn die Belastung nicht über acht Runden durchhalten konnten. Welchen Einfluss unterschiedliche Ermüdungsgrade hier auf das Anstrengungsempfinden in der nachfolgenden Belastung hatten, kann jedoch nicht ermittelt werden, da der Grad der Ermüdung nicht direkt und unabhängig vom Anstrengungsempfinden erfasst wurde.

Insgesamt liefert diese Untersuchung erste Hinweise, dass die Ermüdung durch eine Ausdauerbelastung zu einem höheren Anstrengungsempfinden bei einer nachfolgenden Ausdauerbelastung führt, das weitere Anstiegsverhalten aber unverändert ist. Welchen Einfluss die Belastungsintensität und die Länge der dazwischenliegenden Pause haben, muss in weiteren Studien untersucht werden.

Literatur

Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Leeds: Human Kinetics.

Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Dt. Ärzteblatt*, 101(15), A1016-A1021.

Eston, R., Faulkner, J., St. Clair Gibson, A., Noakes, T., & Parfitt, G. (2007). The effect of antecedent fatiguing activity on the relationship between perceived exertion and physiological activity during a constant load exercise task. *Psychophysiology*, 44, 779-786.

Faulkner, J., Parfitt, G., & Eston, R. (2008). The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. *Psychophysiology*, 45, 977-985.

Marcora, S.M. (2008). Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 104(5), 929-931.

Noakes, T.D., Snow, R.J., & Febbraio, M.A. (2004). Linear relationships between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *J. Appl. Physiol.*, 96, 1571-1573.

Noakes, T.D., St. Clair Gibson, A., & Lambert, E.V. (2004). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.*, 38, 511-514.

Kontakt

Dr. Jan-Peter Brückner
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Sportwissenschaft
Olshausenstr. 74
24098 Kiel
jpbueckner@email.uni-kiel.de