

---

# **Einfluss eines reaktiven Krafttrainings auf die Laufökonomie und Laufleistung von hochtrainierten Mittel- und Langstreckenläufern**

Rolf Geese & Srđan Popović

Universität Göttingen, Institut für Sportwissenschaften

## **Einleitung**

Es besteht allgemeiner Konsens darüber, dass der Mittel- und Langstreckenlauf primär der motorischen Grundeigenschaft Ausdauer zuzuordnen ist. Im bisherigen Modell wird die Leistung im Mittel- und Langstreckenlauf im Wesentlichen von drei übergeordneten Faktoren determiniert: der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2\text{max}$ ), deren prozentueller Nutzung an der individuellen anaeroben Schwelle (IANS) und der Laufökonomie (Basset & Howley, 2000). Die Generierung des Kraftimpulses im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus sowie weitere neuromuskuläre und biomechanische Einflussfaktoren werden bislang nur indirekt durch den Faktor Laufökonomie berücksichtigt.

Aus biomechanischer Sicht ist dies insofern verwunderlich, als stets diejenige Athletin bzw. derjenige Athlet erfolgreicher sein wird, die bzw. der in der gegebenen Zeit bzw. über die Renndistanz eine höhere Summe an Kraft- bzw. Bewegungsimpulsen erzeugt (Heim et al., 2007). Bislang war das reaktive Krafttraining den Sprint- und Sprungdisziplinen vorbehalten. Jedoch ist auch der Mittel- und Langstreckenlauf als ein zyklisches Kontinuum aus Sprüngen im kurzen DVZ mit sich permanent abwechselnden Flug- und Stützphasen zu betrachten. Während der Stützphase, die je nach Laufgeschwindigkeit und Stiffness der Muskel-Sehnen-Einheiten der unteren Extremitäten variiert, läuft ein Großteil der Muskelaktion des DVZ als ein willkürlich nicht mehr beeinflussbares motorisches Programm ab und determiniert somit maßgeblich den Bewegungsimpuls sowie die Effizienz der Muskelaktion. Entsprechend ist das Ziel dieses Betreuungsprojekts in Kooperation mit dem Deutschen Leichtathletik-Verband (DLV), die Auswirkung eines reaktiven Krafttrainings auf die Laufleistung und Laufökonomie im Mittel- und Langstreckenlauf zu untersuchen.

## **Methodik**

An der Studie nahmen 18 hochtrainierte Mittel- und Langstreckenläuferinnen bzw. -läufer teil. Die Probandengruppe wurde randomisiert einer Kontroll- (N = 9; Alter = 23,7 ± 5,1 Jahre; Größe = 1,85 ± 0,04 m; Gewicht = 69,8 ± 6,6 kg; 3000-m-Bestzeit: 08:36 ± 00:13 min) und einer Versuchsgruppe (N = 9; Alter = 20,9 ± 3,1 Jahre; Größe = 1,86 ± 0,04 m; Gewicht = 70 ± 4,4 kg; 3000-m-Bestzeit 08:45 ± 00:16 min) zugewiesen. Die Versuchsgruppe implementierte ein 8-wöchiges reaktives Krafttraining (2 - 3 x wöchentlich) in das „konventionelle Ausdauertraining“. Trainingsinhalt waren Drop-Jumps aus vorher festgestellter individuell-optimaler Fallhöhe sowie Sprungläufe. Es wurde die intensive Methode mit 3 - 5 Serien und 10 - 12 Sprüngen mit einer intraserialen Pause > 6 sek und einer interserialen Pause > 5 min angewandt.

Die Testbatterie, bestehend aus Squat-Jumps (SJ), Drop-Jumps (DJ) und sub-maximalen und maximalen Lauftests fand in einer Leichtathletikhalle mit einer 200-m-Rundbahn statt. Die dynamischen Parameter der Sprünge wurden durch eine Messplatte (Aufnahmefrequenz 1000 Hz; BIOVISION, Wehrheim) erfasst. Als vorzeitiges Abbruchkriterium bei den Drop-Jumps (Fallhöhen 20 - 40 cm) galt ein Durchschlagen der Ferse mit einhergehenden hohen Kraftspitzen in der initialen Phase des Kraft-Zeit-Verlaufs (Schmidtbleicher et al., 1987).

Für die Bestimmung der Laufökonomie absolvierte die Probandengruppe einen progressiven Stufentest mit jeweils 4-minütiger Stufendauer bei konstanten, sub-maximalen Lauf-geschwindigkeiten von 12, 14 und 16 km/h (Frauen) und 14, 16 und 18 km/h (Männer). Während des Laufs wurden mit dem Suunto T6c-Messsystem kardio-respiratorische Parameter erfasst. Zur statistischen Auswertung wurden die Werte der letzten Minute der jeweiligen Belastungsstufe herangezogen, da dort ein „steady-state“ zu erwarten war. Am Ende der Zielgeraden liefen die Athletinnen bzw. Athleten über eine 12 m lange Kontaktmatte (BIOVISION, Wehrheim), die mit einem entsprechend langen Tartanläufer und einer 0,2 mm dünnen PE Folie überdeckt war. Mittels der Kontaktmatte und der Spikes-Abdrücke konnten so in jeder Runde Stütz- und Flugzeiten sowie die Schrittlänge von 5 - 6 Schritten exakt gemessen werden. Nach ausreichender Pause erfolgte ein maximaler 1000-m-Lauf mit identischem Einsatz der Messmethoden. Aus der Kontroll- und Versuchsgruppe wurden randomisiert jeweils 4 Testpersonen ausgewählt, bei denen vor und nach der Trainingsintervention bei den Drop-Jumps zusätzlich eine telemetrische Oberflächenmyographie (NORAXON Telemyo 2400 T G2, Scottsdale, USA) und eine kinematische Analyse (VICON Motion Systems Ltd., Oxford, UK) durchgeführt wurden.

## Ergebnisse

Die Versuchsgruppe zeigt nach dem 8-wöchigen Training signifikant kürzere Stützzeiten und verbesserte Sprunghöhen ( $p < 0,05$ ) bei Drop-Jumps aus allen Fallhöhen (20, 30 und 40 cm). Im Kraft-Zeit-Verlauf (Abb.1) sind analog dazu ein signifikant steilerer Anstieg in der exzentrischen Phase sowie eine Erhöhung der maximalen Bodenreaktionskraft zu erkennen ( $p < 0,05$ ). Bei der Kontrollgruppe sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen (Tab. 1).

Tab. 1. *Vergleich der Sprungtestparameter am Beispiel des Drop-Jump\_30 (L-Index = Flugzeit/Stützzeit). \*( $p < 0,05$ ) \*\*( $p < 0,01$ )*

Parameter	Versuchsgruppe (N=9)		Kontrollgruppe (N=9)	
	Vorher	nach 8 Wochen	Vorher	nach 8 Wochen
<b>Sprungtest</b>				
SJ_Sprunghöhe [m]	0,318 ± 0,07	0,312 ± 0,068	0,302 ± 0,031	0,308 ± 0,038
Stützzeit_DJ30 [sek]	0,172 ± 0,014	0,155 ± 0,009*	0,180 ± 0,022	0,179 ± 0,02
Sprunghöhe_DJ30 [m]	0,288 ± 0,049	0,302 ± 0,038*	0,268 ± 0,041	0,260 ± 0,035
L-Index_DJ30	2,85 ± 0,42	3,2 ± 0,22**	2,65 ± 0,49	2,63 ± 0,43

Analog zur Verbesserung des reaktiven Bewegungsverhaltens zeigen die neuromuskulären Innervationscharakteristika der Versuchsgruppe nach 8 Wochen eine deutliche „Linksverschiebung“ im EMG-Muster des m. gastrocnemius und des m. soleus mit entsprechenden Veränderungen des IEMG in den funktionellen Phasen (Gollhofer, 1987) des kurzen DVZ. Die Vorinnervation und insbesondere die spinale Reflexaktivität sind nach der Trainingsintervention signifikant ( $p < 0,05$ ) erhöht. In der primär kortikal gesteuerten Phase ist hingegen ein hochsignifikanter ( $p < 0,01$ ) Rückgang der EMG-Aktivität zu verzeichnen (Abb. 1). Die Kontrollgruppe zeigte keine signifikanten Veränderungen im EMG-Muster.

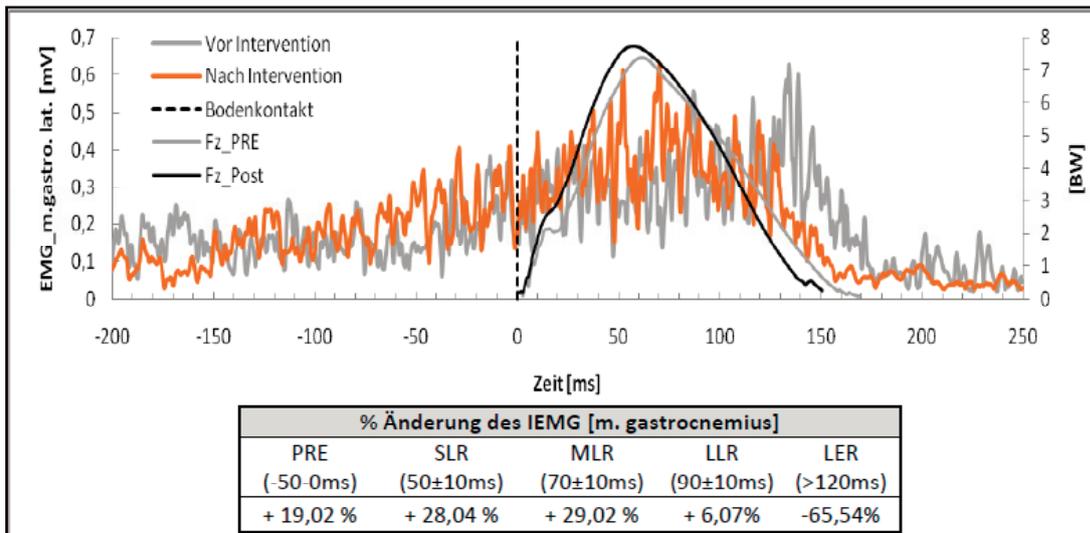


Abb.1. Vergleich des OEMG des m. gastrocnemius lateralis und des Kraft-Zeit-Verlaufs beim DJ30 (Mittelwerte der Versuchsgruppe; N = 4) vor und nach der Intervention. Alle Sprünge wurden auf den Punkt des Bodenkontakts zeitrelativiert. (PRE = Vorinnervation; SLR = Short Latency Response; MLR = Medium Latency Response; LLR = Long Latency Response; LER = Late EMG Response).

Die kinematischen und kardiorespiratorischen Parameter der Lauftests zeigen bei der Laufgeschwindigkeit von 14 km/h (3,89 m/s) in keiner der Gruppen signifikante Veränderungen. Bei 16 km/h (4,4 m/s) ist ex-post sowohl in der Kontroll- ( $52,7 \pm 3,3$  vs.  $51,5 \pm 3,1$  ml/kg/min;  $p < 0,05$ ) als auch in der Versuchsgruppe ( $53 \pm 3,2$  vs.  $51,9 \pm 3$  ml/kg/min;  $p < 0,05$ ) eine signifikante Verbesserung der Laufökonomie festzustellen. Bei den ersten zwei submaximalen Laufgeschwindigkeiten gab es keine signifikante Veränderung der kinematischen Parameter.

Tab.2. Vergleich der kinematischen und kardiorespiratorischen Daten bei  $v = 5$  m/s.

Parameter	Versuchsgruppe (N=9)		Kontrollgruppe (N=9)	
	Vorher	nach 8 Wochen	Vorher	nach 8 Wochen
<b>18 km/h</b>				
VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	59,83 ± 3,41	58,21 ± 3,89*	60,14 ± 2,81	59,88 ± 2,86
HF [1/min]	176,16 ± 8,72	173,69 ± 9,81	178,04 ± 8,74	176,15 ± 8,58
Schrittlänge rel.	0,92 ± 0,03	0,91 ± 0,03	0,91 ± 0,02	0,91 ± 0,03
Stützzeit [ms]	190,24 ± 9,25	183,55 ± 7,8*	188,82 ± 8,06	189,12 ± 5,44

Bei der Laufgeschwindigkeit von 18 km/h (5 m/s) sind bei der Versuchsgruppe eine signifikante Verbesserung der Laufökonomie und eine Minimierung der Stützzeit ( $p < 0,05$ ) zu verzeichnen. Die Kontrollgruppe zeigte keine Veränderungen (Tab. 2).

## Diskussion

Jeder Bodenkontakt bei einem Mittel- und Langstreckenlauf stellt einen kurzen DVZ mit Stützzeiten von 130 - 180 ms dar. Nur der innerhalb dieses kurzen Zeitfensters erzeugte Kraftimpuls sorgt für den Vortrieb. Die primär kortikale bzw. „willkürliche“ Kontrolle des Kraftimpulses ist frühestens ab 90 ms nach Bodenkontakt möglich. Daraus folgt, dass mit ansteigender Laufgeschwindigkeit und den damit kürzer werdenden Stützzeiten mindestens 50 % des den Antrieb generierenden Kraft- bzw. Bewegungsimpulses nicht der willkürlichen Kontrolle unterliegt, sondern primär auf spinaler Ebene in Form eines festen motorischen Programms (kurzer DVZ) abläuft (Taube et al., 2008).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Implementierung eines intensiv-reaktiven Krafttrainings in das „konventionelle Ausdauertraining“ zu einer signifikanten Verbesserung der reaktiven Leistungsfähigkeit und einer Optimierung des motorischen Programms im kurzen DVZ führen. Die Modifikation des Innervationsmusters bedingt eine Optimierung der Stiffnesseinstellung der Muskel-Sehnen-Einheit und damit eine optimierte Speicherung der viskoelastischen Energie in der exzentrischen Phase. Somit kann die Laufökonomie nicht nur über die Optimierung des kardiorespiratorischen Systems sondern auch über die Effizienz der Muskelaktion, also über neuromuskuläre Wege optimiert werden.

Die Verbesserung der reaktiven Leistungsfähigkeit hat auch aus biomechanischer Sicht Vorteile: die Generierung eines identischen Kraftimpulses in kürzerer Zeit, sprich die Verringerung der Stützzeit bei zumindest konstanter Schrittlänge, birgt über die hohe Summe der Stützphasen während eines Mittel- und Langstreckenlaufs sehr großes Potential zur Leistungsverbesserung. Der Einfluss neuromuskulärer Faktoren auf die Laufleistung sollte sowohl in der Trainingspraxis als auch in der wissenschaftlichen Forschung zukünftig mehr berücksichtigt und im Modell der übergeordneten Faktoren der Ausdauerleistungsfähigkeit stärker gewichtet werden.

## Literatur

- Basset, D.R. & Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32, 70-84.
- Heim, C., Wirth, K., Frick, U., & Schmidtbleicher, D. (2007). Unterstützendes Krafttraining im Ausdauersport. In U. Hartmann, M. Niessen & P. Spitzenpfeil (Hrsg.) *Ausdauer und Ausdauertraining, Symposiumsbericht München, Band 14*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Gollhofer, A. (1987). *Komponenten der Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Erlensee: SFT Verlag.
- Schmidtbleicher, D., Gollhofer, A. & Frick, U. (1987). Auswirkungen eines Tief sprungtrainings auf die Leistungsfähigkeit und das Innervationsverhalten der Beinstreckmuskulatur. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38 (9), 389-394.
- Taube, W., Leukel, C., Schubert, M., Gruber, M., Rantalainen, T. & Gollhofer, A. (2008). Differential modulation of spinal and corticospinal excitability during drop jumps. *Journal of neurophysiology*, 99, 1243-1252.