
**Muskuläre Leistung im Krafttraining.
Zum Einfluss verschiedener Bewegungsgeschwindigkeiten im Krafttraining
auf die muskuläre Leistung unter Berücksichtigung hormoneller
Veränderungen**

Heinz Mechling^{1,2} (Projektleiter),
Peter Preuß¹, Jens Felder¹ & Joachim Mester²

¹ Universität Bonn, Institut für Sport und Sportwissenschaft

² Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

1 Problem

Sportartbegleitendem Krafttraining kommt im leistungssportlichen Training als Maximierung und Optimierung der muskulären Leistung¹ sowie als Verletzungsprophylaxe (Verbesserung der Gelenkstabilität, Erhöhung der Belastungsverträglichkeit) eine zentrale Rolle zu (vgl. Fleck & Kraemer, 2004; Schlumberger et al., 2003). Die Entwicklung der muskulären Leistung stellt eine der wichtigsten physiologischen Adaptationen für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch sportartbegleitendes Krafttraining dar. Ihre Entwicklung besitzt einen höheren Stellenwert als die Entwicklung der Maximalkraft an sich. Ausgehend von der zentralen Bedeutung des sportartbegleitenden Krafttrainings wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung der Einfluss der Bewegungsgeschwindigkeit auf die muskuläre Leistung im Vordergrund stehen.

In der hier vorliegenden empirischen Untersuchung wird der Vergleich a) intendiert-explosiver, b) kontrolliert-zügiger und c) langsamer Kontraktionsgeschwindigkeit auf die muskuläre Leistung untersucht. Neben hormonellen Effekten stehen die Auswirkungen des Treatments auf die muskuläre Leistung und der Maximalkraft als Basisfähigkeit (Gülich & Schmidtbleicher, 1999) im Vordergrund. Nicht nur hinsichtlich der speziellen Fragestellung der ballistisch intendierten Kontraktionen (Behm & Sale, 1993; Young & Bilby, 1993), sondern auch generell scheint ein Mangel an Studien zu den Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsgeschwindigkeiten an auxotonischen Krafttrainingsgeräten zu bestehen, wie Pereira und Gomes (2003) in einem Übersichtsartikel feststellen.

¹ Der Begriff der muskulären Leistung drückt auf einer physikalischen Basis die Abhängigkeit der konzentrischen Kraft von der Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskulatur aus (vgl. Grosser & Starischka, 1998, S. 42). Im angloamerikanischen Raum entspricht sie der Bezeichnung „Power“.

2 Methode

An der elfwöchigen Interventionsstudie nahmen 46 männliche Sportstudierende der Deutschen Sporthochschule Köln ($23,37 \pm 2,65$ Jahre, $181,80 \pm 6,17$ cm, $78,74 \pm 8,25$ kg) teil. Vor der sechswöchigen Intervention fanden ein einwöchiges Gewöhnungstraining und der Prä-Test statt, im Anschluss wurden zwei Post-Tests durchgeführt (s. Abb. 1).

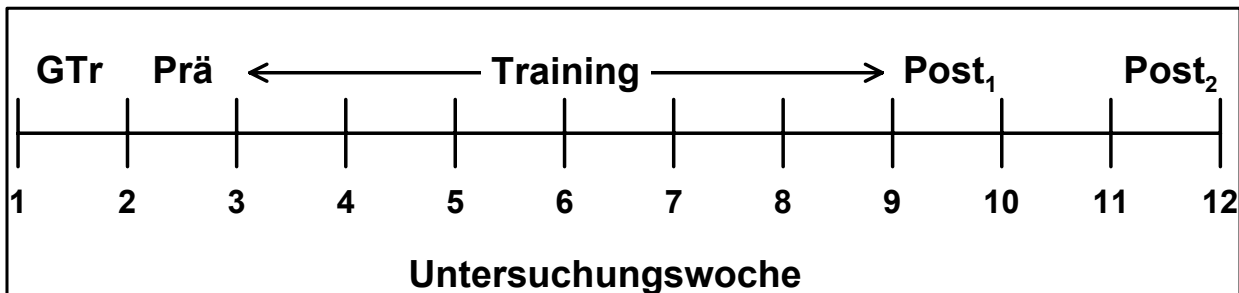


Abb. 1: Darstellung des Untersuchungsablaufs (GTr=Gewöhnungstraining, Prä=Prä-Test, Post1=Post-Test 1, Post2=Post-Test 2)

Tabelle 1 stellt das Training der Gruppen mit der jeweiligen Belastungskonfiguration dar. Alle angegebenen Wiederholungszahlen entsprechen einem „repetition maximum“ (RM), also der maximalen Anzahl an Wiederholungen pro Satz, die mit einer technisch korrekten Bewegungsausführung bei einem gegebenen Gewicht bewältigt werden kann.

- **EST** (Gruppe Einsatz-Training) absolviert die konzentrische und exzentrische Phase betont langsam und pausiert an den Umkehrpunkten kurz (Ausgangsposition (AP) und Endposition (EP) 0,5 sec.).
- **MST** (Gruppe Mehrsatz-Training) führt die Bewegung mit einer mittleren Geschwindigkeit aus und hält an den Umkehrpunkten kurz inne (AP und EP 0,5 sec.), um eine ballistische Bewegungsausführung zu vermeiden (typisches Hypertrophietraining).
- **MSTex** (Gruppe Mehrsatz-Training explosiv) arbeitet intendiert-explosiv, sodass der konzentrische und exzentrische Bewegungsabschnitt maximal schnell ausgeführt wird, ohne an den Umkehrpunkten der Bewegung zu pausieren (AP und EP 0 sec.).
- **KON** (Kontrollgruppe) behält ihre übliche körperliche und sportliche Aktivität bei und nimmt nicht am speziellen Trainingsprogramm teil.

Tab. 1: Belastungskonfiguration für die einzelnen Gruppen.

	Belastungsstruktur			Phasendauer pro Wdh. [sec.]			
	Ausführung	Sätze x Wdh.	%1-RM	AP	konz.	EP	exz.
EST	langsam	1 x 6 - 9	65	0,5	4	0,5	4
MST	kontrolliert bis zügig	3 x 6 - 9	80	0,5	1	0,5	1
MST _{ex}	intendiert-explosiv	3 x 6 - 9	80	0	max.	0	max.
KON	übliche körperliche und sportliche Aktivität wird beibehalten						
AP = Ausgangsposition; EP = Endposition; exz. = exzentrische Bewegungsphase; konz. = konzentrische Bewegungsphase; max. = maximal schnell; RM = repetition maximum; Wdh. = Wiederholung							

Das Trainingsprogramm bestand aus einem Ganzkörpertraining mit zehn Übungen (Leg Press, Leg Extension, Leg Curl, Row Machine, Chest Press, Dip Machine, Biceps Curl, Back Extension, Abdominal Press), das an Geräten der Firma Gym80® (Gelsenkirchen) durchgeführt wurde.

Folgende Parameter wurden in den Prä- und Post-Tests für die Übungen Leg Press, Leg Extension, Bench Press und Biceps Curl erhoben:

- Isometrische Maximalkraft,
- Dynamische Maximalkraft (1-RM),
- Bestimmung der Leistung bei 80 % und 50 % des dynamischen 1-RM
- Squat Jump

Die Untersuchungsgruppen wurden anhand ihrer isometrischen Maximalkraftwerte im PräTest parallelisiert. Die Datenaufnahme erfolgte mittels Kraftsensor (Messbereich 5kN, Auflösung 1N, Abtastrate 100 Hz) und Wegsensor (Inkrementalgeber, Messbereich 2m, Auflösung 1mm, Abtastrate 100 Hz) der Firma mechatronic® (Hamm).

Um akute Auslenkungen und trainingsbedingte Anpassungen des endokrinen Systems zu erfassen, wurden in der ersten und sechsten Trainingswoche jeweils vier Blutentnahmen (Zeitpunkte Prä, Post0, Post15, Post30) bei insgesamt 20 Probanden für eine exemplarische Trainingseinheit analysiert. Die betrachteten Parameter waren hierbei Testosteron (T), Cortisol (C), hGH (Wachstumshormone) und IGF-I (insulin growth-like factor).

Die Datenauswertung erfolgte mit der Software SPSS 12 für Windows© (SPSS Inc., USA). Das Signifikanzniveau wurde auf $p < .05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der isometrischen Maximalkraft zwischen Prä- und Post-Tests. Im unteren Teil der Abbildung sind die Veränderungen in den einzelnen Testübun-

gen als Floating Bar Charts dargestellt. Die Zahl unter dem jeweiligen Balken repräsentiert den Prä-Testwert, die Zahl darüber den korrespondierenden Post-Testwert. Im oberen Teil sind die prozentualen Veränderungen zu sehen (Ausgangswert = 100 %).

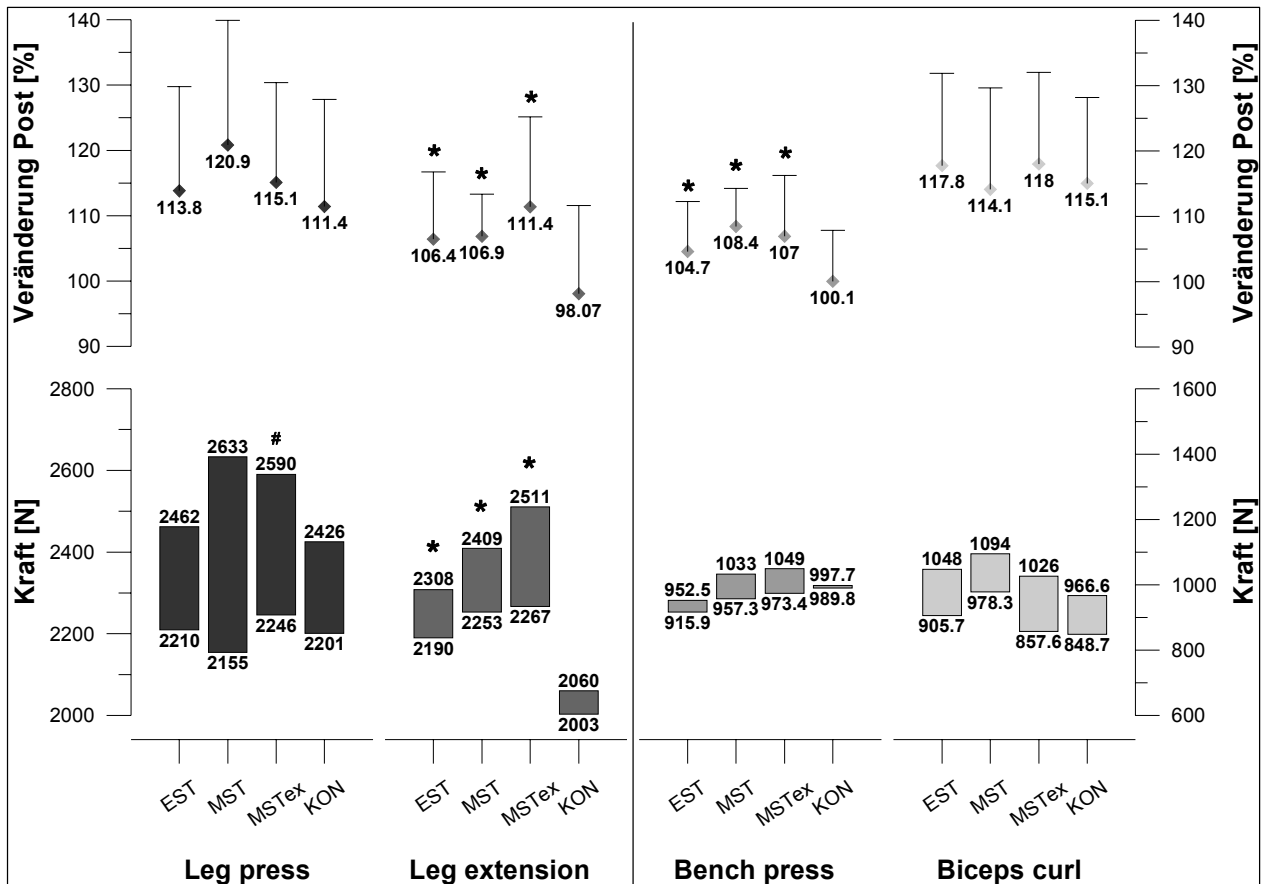


Abb. 2: Absolute und prozentuale Veränderungen der isometrischen Maximalkraft zwischen Prä- und Post-Tests (# = sig. Unterschied zwischen MST_{ex} und KON; * = sig. Unterschied zwischen KON und den 3 Trainingsgruppen)

Die Überprüfung der Mittelwertunterschiede mittels ANOVA zeigt in den Post Hoc-Tests (Bonferroni) signifikant höhere Kraftwerte der MST_{ex} im Vergleich zur KON in der Leg Press. Die a-priori-Kontraste lassen signifikant größere isometrische Kraftverbesserungen der drei Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe erkennen.

Abbildung 3 zeigt die Veränderungen der Hormonausschüttungen von Testosteron, Cortisol, hGH und IGF-I der Messzeitpunkte (Woche 1 und 6) für die 4 Abnahmezeitpunkte (Prä, Post0, Post15, Post30) im Vergleich. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung der Standardabweichung verzichtet.

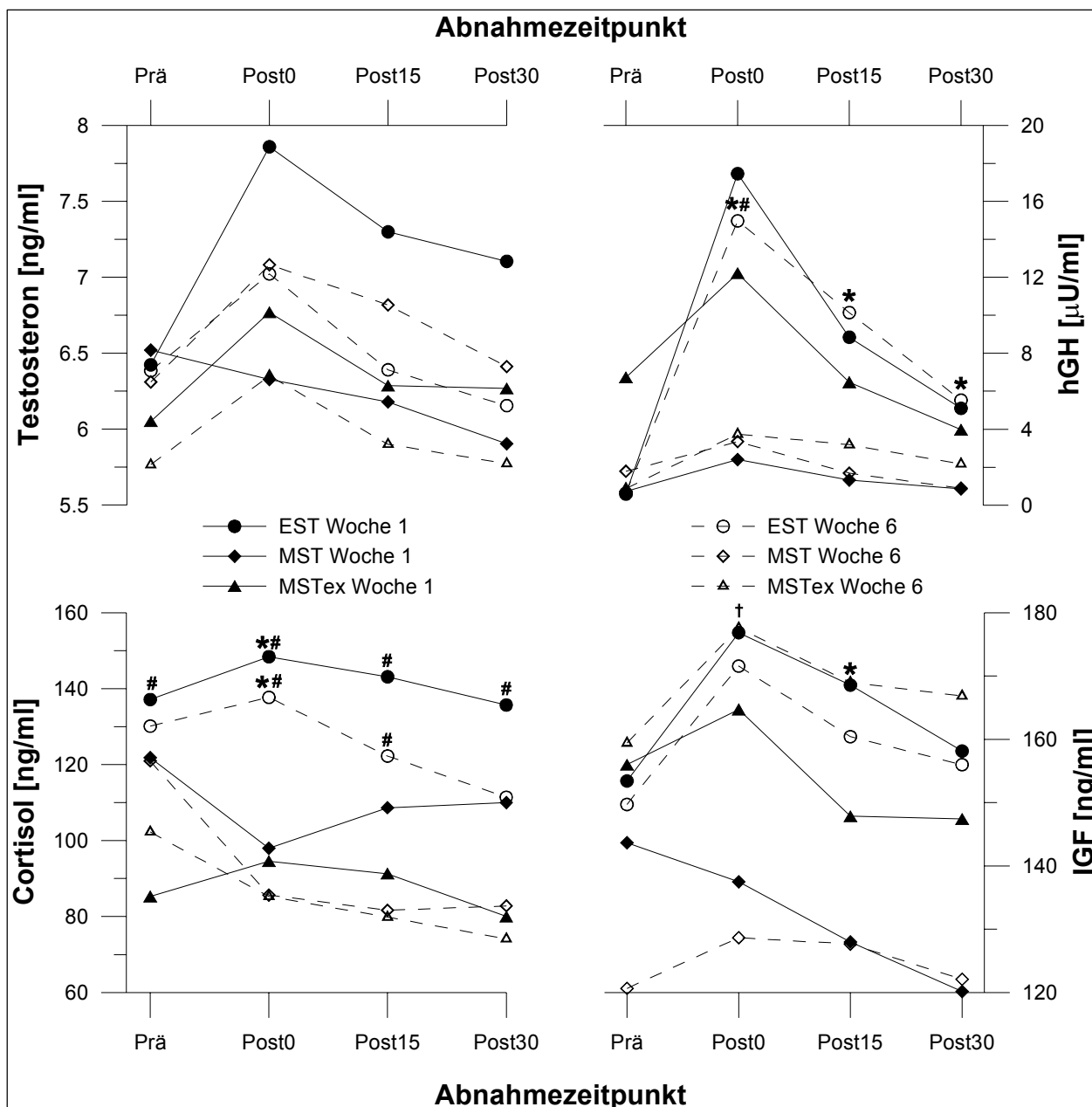


Abb. 3: Akute hormonelle Auslenkungen von Testosteron, Cortisol, hGH und IGF-I der drei Trainingsformen im Vergleich der Messzeitpunkte Woche 1 und 6 (*=sig. Unterschied EST-MST; #=sig. Unterschied EST-MSTex; †=sig. Unterschied MST-MSTex)

Das Allgemeine Lineare Modell mit Messwiederholung (Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (2 Stufen) und Abnahmezeitpunkt (4 Stufen) sowie Innersubjektvariablen T, C, hGH, IGF) zeigt für den Vergleich Gruppe*Messzeitpunkt*Abnahmezeit für das Testosteron keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Der Parameter Cortisol zeigt für Woche 1 in allen Abnahmezeitpunkten signifikant höhere Cortisolwerte für EST im Vergleich zur MSTex (p=0.12 bis .040), die aufgrund des signifikant höheren Ausgangswerts kritisch zu betrachten sind. Weiterhin ist bei Post0 ein signifikanter Unterschied (p = .031) zur MST

zu erkennen. In Woche 6 können zum Abnahmezeitpunkt 2 und 3 signifikant höhere Cortisolwerte ($p = .025$ bzw. $.048$) für die EST im Vergleich zur MST festgestellt werden. Ebenfalls signifikant erhöht ($p = .025$) sind die Werte im Vergleich EST-MST in Post0.

Die Wachstumshormonausschüttung zeigt für den 2., 3. und 4. Abnahmezeitpunkt der Woche 6 signifikant höhere Werte ($p = .030$ bis $.045$) für die EST im Vergleich zur MST sowie Post0 zur MSTex ($p = .030$).

Die IGF-I-Konzentration im Blut unterscheidet sich in Woche 1 Post15 zwischen EST und MST signifikant ($p = .027$). In Woche 6 ist zum Abnahmezeitpunkt 2 ein signifikant höherer Wert ($p = .042$) der MST im Vergleich zu MSTex festzustellen.

Zum Vergleich der gesamten post-hormonellen Auslenkung der einzelnen Trainingsformen wurde die ‚Area under curve with respect to increase‘ (AUC_i) (Pruessner et al., 2003, p. 920) berechnet:

$$AUC_i = \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{(m_{(i+1)} + m_i)}{2} \right) - (n-1) \cdot m_1$$

Die Formel gibt nicht die reale Fläche unter der Kurve zurück, da die konstante Zeitkomponente gleich 1 gesetzt wurde. Es handelt sich vielmehr um eine lineare Transformation der Fläche mit einer Korrelation von 1 zur realen Gesamtfläche. Die berechneten Werte sind somit als Index der Entwicklung zu betrachten.

Abbildung 4 zeigt die akuten hormonellen Reaktionen auf die Trainingsformen zum Messzeitpunkt 1 (Woche 1) und 2 (Woche 6). Die statistische Prüfung erfolgte mit einem Allgemeinen Linearen Modell mit Messwiederholung (Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (2 Stufen) und AUC_i (2 Stufen) sowie Innersubjektvariablen T, C, hGH, IGF). Die geschätzten Randmittel für Gruppe*Messzeitpunkt zeigen innerhalb der Trainingsgruppen für die EST eine tendenzielle Abnahme ($p = .089$) der AUC_i. Der Parameter AUC_i IGF-I lässt signifikant höhere Werte der Gruppen MST ($p = .011$) und MSTex ($p = .041$) in Woche 6 erkennen.

Zwischen den Gruppen weist die EST gegenüber der MST einen signifikant ($p = .035$) erhöhten Testosteronwert in Woche 1 auf. Die AUC_i-hGH zeigt in der ersten Woche tendenziell (MST: $p = .080$; MSTex: $p = .064$) und in der sechsten Woche signifikant (MST: $p = .014$; MSTex: $p = 0.41$) höhere Werte in der Gruppe EST. Für den Parameter IGF-I sind zwischen EST und MST signifikante ($p = .007$) und EST und MSTex tendenzielle Unterschiede ($p = .064$) zugunsten der EST zu erkennen.

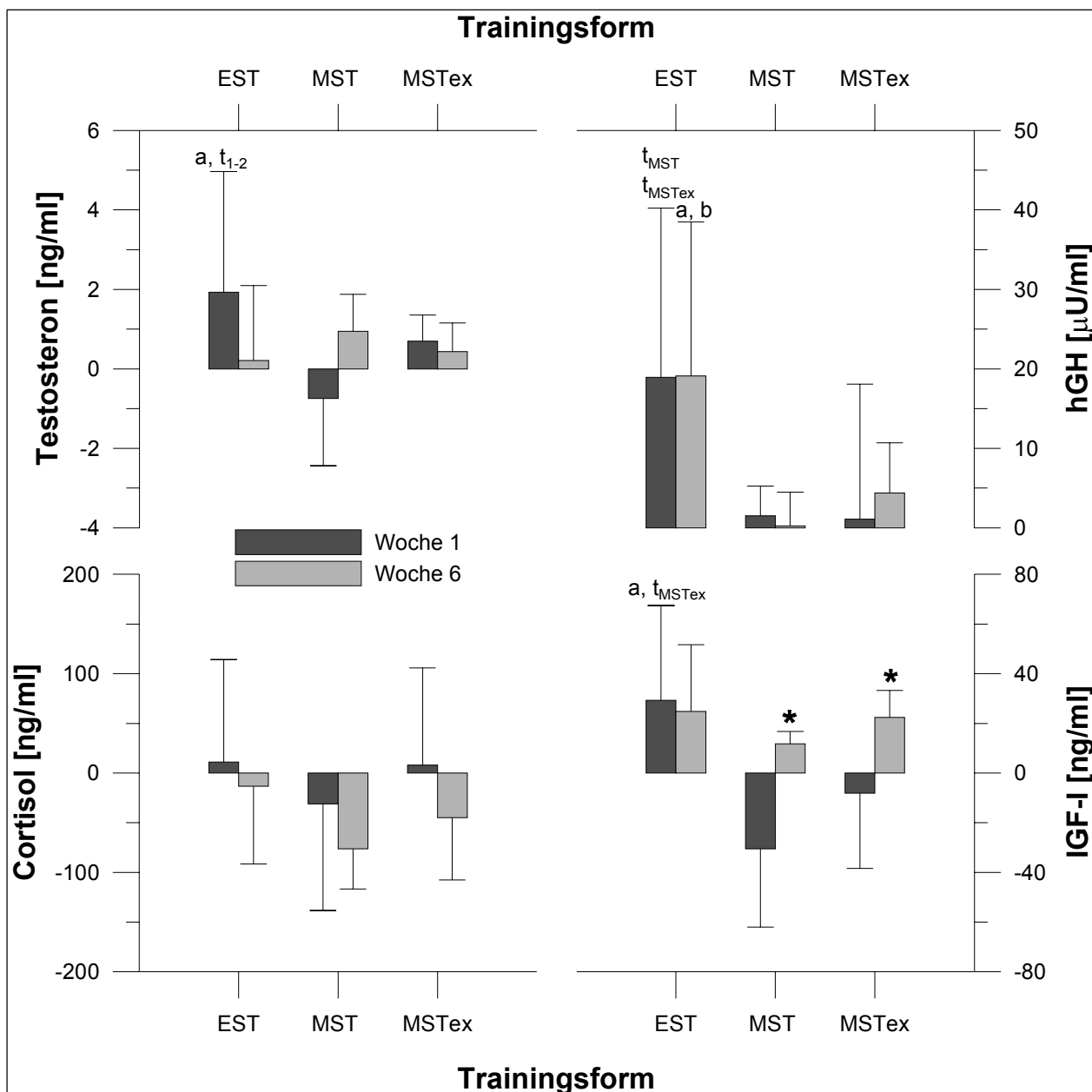


Abb. 4: AUCi Testosteron, Cortisol, hGH und IGF-I der drei Trainingsformen im Vergleich (*=sig. Unterschied zu Woche 1; a=sig. Unterschied zu MST; b=sig. Unterschied zu MSTex; t₁₋₂=tendenzieller Unterschied zur Woche 6; t_{MST}: tendenzieller Unterschied zu MST; t_{MSTex}: tendenzieller Unterschied zum MSTex)

4 Diskussion

Die isometrischen Maximalkraftwerte lassen für die Übungen Leg Extension und Bench Press signifikante Kraftzunahmen der Trainingsgruppen im Vergleich zur KON erkennen. Für die oben nicht dargestellten 1-RM-Tests ergibt sich ein identisches Bild. Zwischen den Trainingsgruppen sind sowohl bezüglich der isometrischen Maximalkraft als auch des

1-RM keine Unterschiede zu erkennen. Diese Beobachtungen entsprechend den Studien von Behm und Sale (1993) und Young und Bilby (1993). Sie können auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen sein. Zum einen handelt es sich bei den Probanden um krafttrainingserfahrene Personen, sodass generell geringere Zuwachsraten zu erwarten sind. Die Kraftveränderungen der Trainingsgruppen bewegen sich hierbei im Erwartungsrahmen (Ahtiainen et al., 2003; Paulsen, Mykkestad, & Raastad, 2003; Rhea et al., 2003). Zum anderen wurden die Probanden der KON angewiesen, ihre bisherigen Krafttrainingsgewohnheiten beizubehalten. Eine Auswertung der umfangreichen und weiteren aufschlussgebenden Leistungsmessungen liegt bis dato nicht vor.

Bei der Analyse der akuten hormonellen Auslenkungen (AUCi) ist der Parameter hGH hervorzuheben. In Woche 1 zeigt dieser tendenziell und in Woche 6 signifikant höhere Werte für die EST. Gotshalk et al. (1997) sowie Mulligan et al. (1996) fanden im Vergleich von EST und MST höhere hGH-Auslenkungen für die MST. Eine Ursache für die gegensätzlichen Beobachtungen könnte die in dieser Studie langsamere Bewegungsausführung der EST sein. Hiermit liegen – im Gegensatz zu anderen Studien – bezüglich des Parameters Anspannungszeit vergleichbare Bedingungen zwischen den Gruppen vor. Dass diese Anspannungszeit in der EST als ein einziger, kontinuierlicher Belastungsreiz gesetzt wurde, könnte mit einer höheren metabolischen Beanspruchung der EST einhergehen. Für diese Annahme sprechen ebenfalls die in Woche 1 tendenziell bzw. signifikant erhöhten Testosteron- und IGF-I-Auslenkungen.

Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der anhand der Literaturlage zu erwartenden hormonellen Reaktionen nach einem hypertrophie- bzw. leistungsoptimierten Krafttraining.

Tab. 2: Zusammenfassung von Untersuchungen der akuten Hormonauslenkungen nach einem Hypertrophie- und Schnellkrafttraining (modifiziert nach Crewther, Cronin & Keogh, 2006)

	Hypertrophie	Leistung
Testosteron	↑↑↑↑	↑↑↑↑
GH	↑↑↑↑↑↑↑↑	↔
IGF-I	↑↑↑	↔
Cortisol	↑↑↑↑	↑↑
GH= Wachstumshormon; IGF-I=insulin growth-like factor 1; ↑=Anstieg; ↔=keine Veränderung bzw. gleiche Ergebnisse		

Die hier vorliegenden Daten lassen keine unterschiedlichen hormonellen Reaktionen für das auf Maximierung der Leistung ausgelegte MST_{Ex} im Vergleich zum hypertrophieorientierten MST erkennen. Die Unterschiede zu den in Tabelle 2 für ein leistungsorientiertes Krafttraining dargestellten hormonellen Reaktionen lassen sich durch die andere Belas-

tungskonfiguration (50% 1-RM, längere Satzpausen) herkömmlicher Schnellkraftmethoden im Gegensatz zu dem hier untersuchten MSTex erklären.

Im Hinblick auf die eingangs formulierte Fragestellung lässt sich für ein sportartbegleitendes Krafttraining feststellen, dass ein Einsatz-, Mehrsatz- und explosiv-intendiertes Mehrsatz-Training zu keinen unterschiedlichen Anpassungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft innerhalb von sechs Wochen führen. Die Bedeutung der höheren post-hGH-Auslenkungen im Einsatz-Training hat keinen Einfluss auf die Maximalkraftentwicklung im Untersuchungszeitraum gezeigt.

5 Literatur

- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. & Hakkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology*, 89 (6), 555-563.
- Behm, D. G. & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of Applied Physiology*, 74 (1), 359-368.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J. & Cook, C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation : acute hormonal responses. *Sports Medicine*, 36 (3), 215-238.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U. et al. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22 (3), 244-255.
- Grosser, M. & Starischka, S. (1998). *Das neue Konditionstraining für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive* (7. Aufl.). München: BLV.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7/8), 223-234.
- Mulligan, S. E., Fleck, S. J., Gordon, S. E., Koziris, L. P. & Triplett-McBride, N. T. (1996). Influence of Resistance Exercise Volume on Growth Hormone and Cortisol Concentrations in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (4), 256-262.
- Paulsen, G., Mykkestad, D. & Raastad, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 115-120.
- Pereira, M. I. R. & Gomes, P. S. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Medicine*, 33 (6), 427-438.

- Pruessner, J. C., Kirschbaum, C., Meinlschmid, G. & Hellhammer, D. H. (2003). Two formulas for computation of the area under the curve represent measures of total hormone concentration versus time-dependent change. *Psychoneuroendocrinology*, 28 (7), 916-931.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N. & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35 (3), 456-464.
- Schlumberger, A., Wirth, K., Liu, Y., Steinacker, J. M. & Schmidtbleicher, D. (2003). Effekte eines Trainings mit einer Schnellkraftmethodenkombination. *Leistungssport*, 33 (4), 14-18.
- Young, W. B. & Bilby, G. E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7 (3), 172-178.