

M. Fröhlich^{1,2}, D. Schmidtbleicher¹, E. Emrich¹, B. Coen²

Metabolische und kardiovaskuläre Beanspruchung bei spezifisch trainierten und untrainierten Männern im Kraftausdauertraining

Metabolic and cardiovascular response in specifically trained and untrained males in strength endurance training

1 Institut für Sportwissenschaften, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main

2 Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland

Zusammenfassung

Die vorliegende empirische Studie beschäftigte sich mit zwei Fragen: Einerseits, inwieweit eine gleiche Belastung bei drei spezifisch trainierten Probandengruppen (13 Freizeitsportler, 13 Leistungssportler der Sportart Leichtathletik und 13 Eliteringer) zu einer unterschiedlichen Beanspruchung im Krafttraining führt und andererseits die Frage, inwieweit sich die Beanspruchung über mehrere Serien im Verlauf eines Krafttrainings verändert. Zur Überprüfung dieser Fragestellungen wurde die Reizkonfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer (6 Serien bei 60 % 1-RM mit einer Serienpause von 60 sec) gewählt. Während die physikalische Arbeit, als objektiver Parameter, sich signifikant zwischen den einzelnen Gruppen und den einzelnen Serien unterscheidet, zeigen die Beanspruchungsparameter Laktat, Herzfrequenz, systolischer Blutdruck, myokardialer Sauerstoffbedarf und subjektive Belastungseinschätzung ein indifferentes Bild. Lediglich der Parameter Laktat spiegelt auf metabolischer Ebene die äußere Belastung wider. Somit erscheint eine kausale Begründung für die Verwendung des Parameters Laktat im Kraftausdauertraining gegeben.

Schlüsselwörter: Belastung, Beanspruchung, Krafttraining, Kraftausdauer, Trainingssteuerung

Einleitung und Problemstellung

Die Belastungsgestaltung mittels Belastungsintensität und Belastungsdauer stellt die Grundlage für eine zielgerichtete, planmäßige und langfristige Trainings- und Leistungssteuerung im Krafttraining dar (7). Neuere Untersuchungsergebnisse verweisen darauf, dass eine Belastungsfestlegung anhand von prozentualen Vorgaben sowohl unter theoretischen als auch unter pragmatischen Gesichtspunkten nicht gerechtfertigt scheint (3, 9, 10, 11, 13, 14). So konnte bisher der Einfluss des Geschlechts, der beanspruchten Muskelgruppe, der gewählten Kraftübung, der Anzahl an Serien sowie des Maximalkraftniveaus empirisch verifiziert werden (11). Des Weiteren scheinen Faktoren wie Übungsauswahl, Trainingszustand und eingesetzte Muskelmasse das Verhältnis von Belastungsintensität und Wiederholungszahl erhe-

Summary

The purpose of this empirical study was: 1st: To evaluate the strain in three specifically trained training groups (13 untrained – no specific strength training, 13 elite athletics – specific power and explosive strength training and 13 elite wrestlers – strength endurance training) by a constant stress (6 sets of 60 percent 1-RM with a one-minute rest interval between the sets) in a typical strength endurance training. 2nd: To predict the strain in strength endurance training over six sets. The results are: The workload as an objective parameter increased over the six sets and there was a significant difference between the three different groups. The same was true of lactic acid concentration. The findings of heart rate, systolic blood pressure, double product and rating of perceived exertion were not so clear.

Key words: strain, stress, strength training, strength endurance, training control

lich zu beeinflussen (2). Derzeit liegt das wissenschaftliche Desiderat darin, dass nur mangelnde Angaben zu den zugrunde liegenden Beanspruchungen im Krafttraining und zu deren Belastungsgestaltung vorzufinden sind.

Aufbauend auf dieser defizitären Befundlage, war es Zielstellung der vorliegenden empirischen Studie, zwei Fragen zu beantworten: Einerseits die Frage, inwieweit bei gleicher Belastung drei spezifisch trainierte Probandengruppen unterschiedliche Beanspruchung zeigen und andererseits die Frage, inwieweit sich die Beanspruchung über mehrere Serien verändert. Zur Überprüfung der Fragestellungen wurde die Reizkonfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer gewählt (12).

Material und Methode

Probandengut und Treatment

An der empirischen Querschnittstudie nahmen insgesamt 39 Probanden teil. Eine unspezifisch trainierte Gruppe von Freizeitsportlern (N=13) sowie zwei Gruppen von Leistungssportlern (Kriterien für die Leistungssportler: Relativkraft > 1 kg pro kg Körpergewicht beim Bankdrücken, regelmäßiges Krafttraining pro Woche (mindestens 1-3 mal), regelmäßiges Krafttraining für die Brustmuskulatur (mindestens 1-3 mal), Zugehörigkeit zu einem Landes- oder Bundeskader bzw. Mitglied in der Bundesliga, mehrmaliges leistungsorientiertes Training pro Woche). Die Gruppe der Leistungssportler bestand aus schnell- bzw. explosivkraftspezifisch trainierten Leichtathleten (N=13, Werfer, Sprinter, Weit- und Hochspringer sowie aus Zehnkämpfern) und aus kraftausdauerspezifisch trainierten Ringer (N=13). Die Leistungssportler hatten nationales und internationales Leistungsniveau. Die anthropometrischen Daten der Probanden sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Trainingsanamnese sowie die statistische Bewertung der anthropometrischen Daten ist in Fröhlich (10) beschrieben. Die eigentliche Testübung war Bankdrücken an einer handelsüblichen Multipresse mit hauptsächlichiger Beteiligung der Pectoralis-, Deltoideus- und Tricepsmuskulatur. Die Testbedingungen wurden durch die Proto-

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probandengruppen (MW ± SD)

	Alter (J)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Hubweg (cm)
Freizeitsportler (N=13)	35,4 ± 7,6	179,5 ± 5,7	76,3 ± 5,7	41,3 ± 3,6
Leichtathleten (N=13)	26,1 ± 7,6	183,5 ± 10,0	84,6 ± 14,7	38,9 ± 4,9
Ringer (N=13)	25,3 ± 10,6	175,0 ± 8,8	77,9 ± 16,1	37,2 ± 2,6

kollierung der Bankposition, der Griffbereite und der Hubhöhe konstant gehalten (28). Da mögliche Lern- und Gewöhnungseffekte minimiert werden sollten, wurde vor dem eigentlichen Testtermin eine Gewöhnungsphase (2 Termine) durchgeführt (17, 24). Bei Beginn wurde von den Probanden ein standardisiertes allgemeines Erwärmen auf einem Cross-Trainer absolviert. Die vierminütige Belastung wurde körperrgewichtszugewogen mit 100 rpm vorgegeben. Nach drei Minuten Pause folgte eine spezielle Erwärmung an der Multipresse mit 25 Wiederholungen Bankdrücken und einer Gewichtsbelastung von 20 % des Körpergewichts.

Nach einer weiteren dreiminütigen Pause erfolgte die Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft in Form des 1-RM, in Anlehnung an Anderson und Kearney (1). Abgeleitet vom 1-RM (Last, welche maximal einmal über den kompletten Bewegungsradius bewältigt werden kann) war es Zielstellung bei 60 % 1-RM so viele Wiederholungen als möglich bis zur Ausbelastung in der Serie zu realisieren (11, 19). Insgesamt sollten 6 Serien mit einer Serienpause von 60 Sekunden bewältigt werden (12). Die Ergebnisdarstellung zu den Wiederholungszahlen ist in (11) beschrieben.

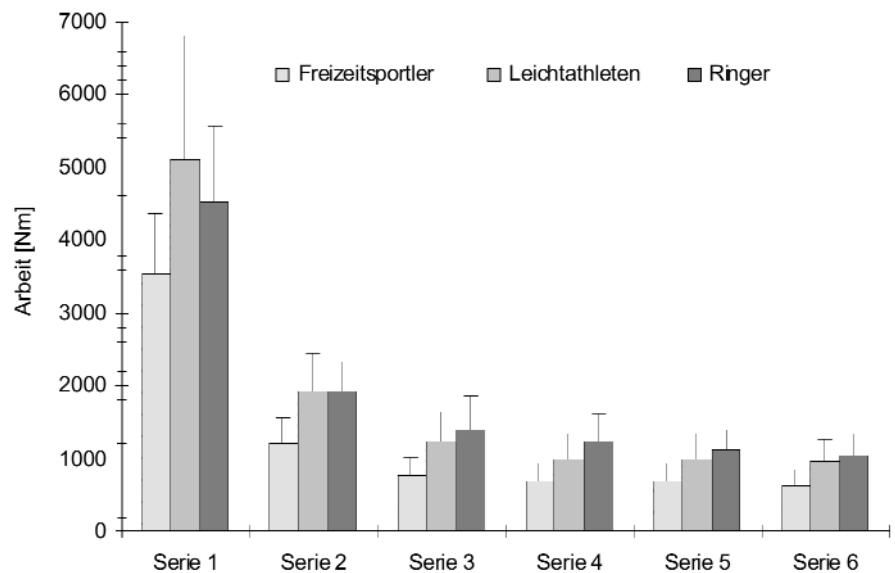


Abbildung 1: Verrichtete physikalische Arbeit bei 60 % 1-RM über 6 Serien bei den 3 Gruppen

Abhängige Untersuchungsvariablen

Physikalische Arbeit: Aus der Anzahl der realisierten Wiederholungen bei 60 % 1-RM, der bewältigten Last und der Hubhöhe wurde die verrichtete physikalische Arbeit berechnet (10) (Abb. 1).

Laktat: Zur Laktatbestimmung wurde aus dem mit Finalgon® forte hyperämisierten und mit Desinfektionsmittel gesäuberten Ohrläppchen Kapillarblut entnommen. Die Zeitpunkte der Blutentnahme waren vor der Belastung (Ruhelaktat), sofort nach dem speziellen Erwärmen, nach den einzelnen Serien sowie in der 1. und 3. Nachbelastungsminute. In die Datenanalyse gingen die Δ Laktatwerte ein (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2: Konzentrische Maximalkraft, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck sowie Laktatkonzentration in Ruhe (MW ± SD)

	1-RM (kg)	HF (min^{-1})	RRsys (mmHg)	RRdias (mmHg)	Laktat ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)
Freizeitsportler (N=13)	70,0 ± 10,1	75,1 ± 11,8	129,2 ± 16,9	82,2 ± 13,7	1,1 ± 0,3
Leichtathleten (N=13)	105,4 ± 22,1	74,1 ± 11,5	138,7 ± 11,8	87,2 ± 10,7	0,9 ± 0,2
Ringer (N=13)	94,0 ± 16,4	73,4 ± 9,2	131,9 ± 9,3	79,8 ± 5,7	1,1 ± 0,4

Herzfrequenz: Die Herzfrequenzmessung erfolgte kontinuierlich mit Hilfe der Sender-Empfänger-Einheit S710™ der Firma Polar Electro und einem Speicherintervall von fünf Sekunden. Das komplette Treatment wurde aufgezeichnet und zusätzlich zu den Laktatentnahmezeitpunkten sowie bei der 1-RM Bestimmung punktuell notiert. Durch die Datenübertragung konnte von jedem Probanden ein charakteristisches Herzfrequenzverlaufprofil erstellt werden.

Blutdruck: Die Bestimmung der Blutdruckwerte erfolgte oszillometrisch mit dem nicht-invasiven Blutdruckmessgerät Blood Pressure Watch® der Firma NAIS. Auf das korrekte Anlegen der Druckmanschette sowie die korrekte Messung wurde explizit hingewiesen und geachtet. Die Messzeitpunkte waren identisch mit denen der Laktat- bzw. Herzfrequenzmessung. In der 3. Nachbelastungsminute wurde kein Blutdruck gemessen. Zu den Messzeitpunkten ist anzumerken: Der Start der Messung erfolgte sofort nach der Belastung, da nicht genau abzuschätzen war, wann die letzte Wiederholung realisiert werden konnte. Das Aufpumpen der Blutdruckmanschette dauerte in der Regel 20 bis 30 Sekunden. Somit wurde nicht der Belastungsblutdruck, sondern der Nachbelastungsblutdruck gemessen (20). Generell ist die Blutdruckbestimmung unter Belastungsbedingungen nicht unproblematisch, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist (7).

Myokardialer Sauerstoffbedarf (Doppelprodukt): Der myokardiale Sauerstoffbedarf wurde aus dem Produkt von systolischem Blutdruck und Herzfrequenz berechnet.

Subjektives Belastungsempfinden: Die Erfassung des subjektiven Belastungsempfinden wurde über die „rating of perceived exertion“ Skala (RPE) von Borg (Skalierung 6 – 20) vorgenommen.

Statistik und Methodenkritik

Die deskriptive Darstellung erfolgte mit Hilfe der Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen sowie über die Angabe des Variabilitätskoeffizienten. Die inferenzstatistische Berechnung wurde mit den angezeigten statistischen Verfahren wie Varianzanalyse(n) mit Messwiederholung(en) (ANOVA), Kovarianzanalyse(n) mit Messwiederholung(en) sowie t-Tests für gepaarte Stichproben durchgeführt (10). A posteriori Einzelvergleiche wurden mit dem Scheffé-Test berechnet. Die Prüfung der Voraussetzung wurde mit den entsprechenden Verfahren durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Da die Versuchsgruppen bei dieser trainingswissenschaftlichen Felduntersuchung aus regionalen (Leistungssportler aus dem Umfeld

des Olympiastützpunktes Rheinland-Pfalz/Saarl.), ökonomischen (13 Probanden/Gruppe) und trainingsbedingten Gründen eine Auswahl darstellen, wird die Repräsentativität in Bezug auf die Grundgesamtheit (andere Gruppen z.B ambulante Herzsportgruppen) oft beeinträchtigt. Des Weiteren sind die Ergebnisse durch das verwendete Studienmaterial limitiert.

Untersuchungsergebnisse

Ergebnisse der Ausgangsniveaumessung

Um qualitative Aussagen bzgl. der Beanspruchung durch das Belastungstreatment machen zu können, müssen zunächst die Ausgangswerte zwischen den drei Gruppen verglichen werden. Einerseits unterscheidet sich die konzentrische Maximalkraft (1-RM) hoch signifikant zwischen den Gruppen ($F(2; 36) = 14,77; p < 0,001$). Auf Gruppenebene betrachtet unterscheiden sich die Freizeitsportler signifikant von den Leichtathleten ($p < 0,01$) und von den Ringern ($p < 0,01$). Die Leistungssportler differieren nicht signifikant ($p = 0,99$).

Laktat

Über die einzelnen Serien kommt es zu einem signifikanten Anstieg der Δ Laktatwerte ($F(5; 175) = 355,21; p < 0,001$). Einzelvergleiche zeigen zwischen den Serien einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$), außer zwischen der Serie 4 und Serie 5 ($p = 0,73$) und der Serie 5 und Serie 6 ($p = 0,71$). Zwischen den einzelnen Gruppen besteht kein signifikanter Unterschied, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit knapp verfehlt wird ($F(2; 35) = 2,90; p = 0,07$). Die mittleren Laktatkonzentrationen der

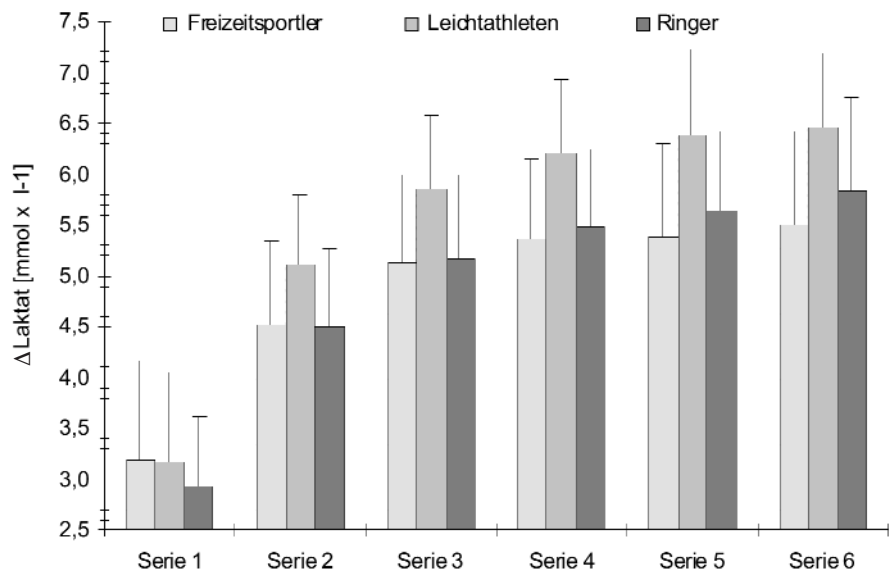


Abbildung 2: Δ Laktatkonzentration bei 60 % 1-RM über 6 Serien bei den 3 Gruppen

Leichtathleten liegen über alle Serien ca. $0,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ höher als in den beiden anderen Gruppen (vgl. Abb. 2).

Herzfrequenz

Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwi-

schen den einzelnen Serien ($F(5; 180) = 2,90; p < 0,05$). Der Variabilitätskoeffizient über die 6 Serien beträgt 14,3 %. Aus Tabelle 3 können die Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzwerte über die 6 Serien entnommen werden. Zwischen den einzelnen Gruppen besteht kein signifikanter Unterschied ($F(2; 35) = 1,92; p = 0,16$). Die p-Werte der Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten ($p = 0,99$), Freizeitsportler vs. Ringer ($p = 0,63$) und Leichtathleten vs. Ringer ($p = 0,69$). Während die Herzfrequenzwerte der Freizeitsportler und der Leichtathleten identisch sind und im Mittel über die Serien bei $143,7 \cdot \text{min}^{-1}$ bzw. $143,5 \cdot \text{min}^{-1}$ liegen, ist die Herzfrequenz der Ringer niedriger. Der durchschnittliche Wert liegt bei $136,9 \cdot \text{min}^{-1}$.

Blutdruck

Der systolische Blutdruck als weiterer Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien ($F(5; 135) = 3,20; p < 0,01$). Die p-Werte der Einzelvergleiche verdeutlichen, dass sich trotz des signifikanten Haupteffektes (Serie) die einzelnen Serien nur teilweise unterscheiden. So besteht außer bei der 1. Serie und der 4. Serie ($p < 0,05$) kein signifikanter Unterschied zwischen den Serien ($p \geq 0,16$). Die Mittelwerte und Standardabweichungen des systolischen Blutdrucks sind aus Tabelle 3 ersichtlich. Der Variabilitätskoeffizient des systolischen Blutdrucks über die 6 Serien liegt bei 11,4 %. Der systolische Blutdruck unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen ($F(2; 27) = 1,31;$

Tabelle 3: Herzfrequenz ($\cdot \text{min}^{-1}$), systolischer Blutdruck (mmHg) sowie subjektive Belastungseinschätzung (RPE) beim 60 % 1-RM bei allen Probanden über die 6 Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Herzfrequenz	145,2 ± 23,6	139,5 ± 19,3	140,4 ± 19,2	141,1 ± 20,0	140,7 ± 19,4	140,6 ± 20,0
Blutdruck	123,6 ± 14,0	128,8 ± 16,4	128,2 ± 14,7	131,2 ± 14,1	124,9 ± 14,1	128,9 ± 14,0
RPE	16,4 ± 2,1	17,7 ± 1,9	18,0 ± 1,8	18,2 ± 1,6	18,3 ± 1,5	18,5 ± 1,6

$p = 0,29$). Die p-Werte der Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten ($p = 0,29$), Freizeitsportler vs. Ringer ($p = 0,85$) und Leichtathleten vs. Ringer ($p = 0,63$).

Myokardialer Sauerstoffbedarf

Der myokardiale Sauerstoffbedarf unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den einzelnen Serien ($F(5; 135) = 0,99; p = 0,43$). Der Variabilitätskoeffizient als Streuungsmaß beträgt über die 6 Serien 19,1 %. Die p-Werte der post hoc Einzelvergleiche liegen zwischen ($p = 0,47$) und ($p = 0,99$). Zwischen den einzelnen Gruppen besteht kein statistisch nachweisbarer Unterschied ($F(2; 26) = 0,62; p = 0,55$). Die Ergebnisse der Einzelvergleichsprüfungen sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten ($p = 0,76$), Freizeitsportler vs. Ringer ($p = 0,89$) sowie Leichtathleten vs. Ringer ($p = 0,49$).

Subjektives Belastungsempfinden

Das subjektive Belastungsempfinden steigt signifikant über die einzelnen Serien an ($F(5; 180) = 25,99; p < 0,001$). Während in der 1. Serie die subjektive Belastungsempfin-

dung mit „schwer“ und „sehr schwer“ angegeben wird, liegt die subjektive Belastungseinschätzung in der 6. Serie zwischen „sehr schwer“ und „extrem schwer“. Der Variabilitätskoeffizient über die 6 Serien liegt bei 9,8 %. Zwischen den einzelnen Gruppen konnte keine Differenz festgestellt werden ($F(2; 36) = 1,37; p = 0,27$). Die post hoc Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten ($p = 0,74$), Freizeitsportler vs. Ringer ($p = 0,68$) sowie Leichtathleten vs. Ringer ($p = 0,27$). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Belastungseinschätzung über die 6 Serien bei den 3 Gruppen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Diskussion

Ausgehend von der defizitären Befundlage zur Beanspruchungssituation im Krafttraining war es Zielstellung, die metabolische, kardiovaskuläre und subjektive Belastungseinschätzung bei drei verschiedenen Probandengruppen innerhalb eines Kraftausdauertraining über mehrere Serien zu untersuchen.

Die verrichtete physikalische Arbeit, als objektiver Belastungsparameter, unterscheidet sich zwischen den Freizeitsportlern und den Leistungssportlern (Leichtathleten und Ringern) und zeigt über alle Probanden hinweg eine signifikante Reduktion über die 6 Serien (9, 11). Des Weiteren kommt es ab der 3. Serie zu einer gruppenspezifischen „asymptotischen Schwellenbildung“ (vgl. Abb. 1). D. h. die physikalische Arbeit reduziert sich im weiteren Serienverlauf nicht mehr signifikant ($p \geq 0,39$), wobei die kraftausdauerspezifisch trainierte Gruppe der Ringer die höchste „Schwelle“ aufweist. Fröhlich et al. (9) konnten für das Muskelaufbautraining mit einer Belastungsintensität von 85 % 1-RM ebenfalls einen Abfall der physikalischen Arbeit und entsprechender „Schwellenbildung“ über 6 Serien feststellen.

In gleichem Maße wie sich die objektive Belastung über die einzelnen Serien verringert, steigt die metabolische Beanspruchung über die Serien an (vgl. Abb. 2). Auffallend hierbei erscheint das „Laktat steady-state“ ab der 4. Serie. So beträgt die Δ Laktatkonzentration bei allen 39 Probanden in der 4. Serie $5,7 \pm 0,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, in der 5. Serie $5,8 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und in der abschließenden 6. Serie $5,9 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. D. h. ab der 3. Serie befinden sich Laktatbildung und Laktatelimination im Gleichgewicht in Abhängigkeit von der verrichteten physikalischen Arbeit sowie der Serienpausendauer von 1 Minute. Dies könnte vergleichbar einer individuellen anaeroben Schwelle im Sinne einer Dauerleistungsgrenze interpretiert werden. Pollmann (23) konnte bei einer Belastungsintensität von ca. 70 % MVC und ca. 10 Wiederholungen pro Serie bei den Übungen Biceps Curl und Bankdrücken ebenfalls einen Laktatanstieg über die Serien feststellen. Bei der Übung Bankdrücken lag aufgrund der größeren Muskelmasse die mittlere Laktatkonzentration am

Ende der 5. Serie bei $6 - 7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Im Gegensatz dazu bewegte sich die mittlere Laktatkonzentration am Ende der 5. Serie bei der Übung Biceps Curl bei $3 - 4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Somit verdeutlicht der Anstieg der Laktatwerte im Verlauf einer Trainingseinheit die Zunahme der anaerob laktaziden Beanspruchung während des Trainings. Aus seinen Ergebnissen schließt *Pollmann*, dass eine dreiminütige Serienpause nicht ausreichend ist, um das angefallene Laktat zu eliminieren. Nimmt man weiterhin an, dass die zusätzliche Laktatausschüttung von Serie zu Serie als ein Parameter der Beanspruchung zu betrachten ist, so nimmt die Beanspruchung im ersten Teil der Trainingseinheit stark zu, während in den letzten Serien keine weitere ausgeprägte zusätzliche Beanspruchungssteigerung zu erkennen ist (23), da die Laktatproduktion und Laktatelimination im Gleichgewicht stehen. Diese Aussage steht im Einklang mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung.

Obwohl kein signifikanter Gruppenunterschied besteht, liegt die mittlere Δ Laktatkonzentration der Leichtathleten ca. $0,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ höher als bei den Freizeitsportlern und Ringer und dies, obwohl die Gruppe der Ringer mehr Arbeit bei gleicher deduzierter Belastungsintensität verrichten kann. Eine Begründung hierfür könnte in der Muskelfasertypisierung liegen. Leichtathleten besitzen aufgrund der Anforderungsstruktur des spezifischen Trainings eine besondere Ausprägung für schnelle Muskelfasern. Einerseits kommt es durch ein shift der Muskelfasern hin zu eher schnellen Fasern (21), andererseits werden von Natur aus Schnell- und Explosivkrafttypen eher in der Leichtathletik gefördert sein. Wie *Essen und Hügemark* (4) sowie *Essen und Henriksson* (5) zeigen konnten, liegt in schnellen Muskelfasern (Typ-II) die Laktatkonzentration generell höher als in langsamen Muskelfasern (27). Somit decken sich die gefundenen Ergebnisse mit der Aussage von *Karlsson et al.* (16), die bei Personen mit einem hohen Anteil an schnellen Muskelfasern mehr Laktat bei der gleichen absoluten oder relativen Belastung fanden, als bei Personen mit einem geringeren Anteil. Ringer bzw. Freizeitsportler trainieren vorwiegend im Kraftausdauerbereich bzw. decken ein wesentlich breiteres Methodenspektrum im Krafttraining ab. Dabei werden hauptsächlich die sog. Intermediär-Fasern beansprucht, was sich in der geringeren Laktatkonzentration bei gleicher Belastung niederschlägt.

Die in der vorliegenden Studie registrierten Herzfrequenzwerte von im Mittel $141\cdot\text{min}^{-1}$ liegen über den Befunden von *Buskies* (2) und *Fleck und Dean* (6). So konnte *Buskies* bei 17 männlichen Sportstudenten bei der Übung Bankdrücken unter der Vorgabe Ausbelastung in der Serie Herzfrequenzwerte von im Mittel $121 \pm 20\cdot\text{min}^{-1}$ registrieren. Die Ausbelastung in der Serie sollte im Rahmen von 15 ± 3 Wiederholungen stattfinden. *Fleck und Dean* (6) ermittelten bei 4 Bodybuildern, 6 Anfängern und 6 Probanden ohne Krafttrainingserfahrung bei der Übung knee extension bei 50 % 1-RM folgende Herzfrequenzwerte: Bodybuilder ca. $100\cdot\text{min}^{-1}$, Anfänger ca. $127\cdot\text{min}^{-1}$ und Krafttrainingsunerfahrene ca. $128\cdot\text{min}^{-1}$. Im Gegensatz dazu stehen die Ergeb-

nisse von *Hurley et al.* (15). Bei einem Training bis zur völligen Erschöpfung mit 8 - 12 Wiederholungen wurden mittlere Herzfrequenzen von $155\cdot\text{min}^{-1}$ registriert. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von *Fleck* (8), welcher bei der Durchführung einer Kraftübung entsprechend dem 8-RM, Herzfrequenzwerte bei der letzten Wiederholung von $170\cdot\text{min}^{-1}$ feststellt. Innerhalb der einzelnen Serie kam es zu einem stetigen Herzfrequenzanstieg (22). Obwohl zwischen den drei Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied besteht, fällt doch auf, dass die Gruppe der Ringer über die einzelnen Serien tendenziell geringere Herzfrequenzwerte erreicht. In der Studie von *Fleck und Dean* (6) lagen die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte der Novizen und der Krafttrainingsunerfahrenen signifikant höher als die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte der Bodybuilder. Eine Begründung könnte in der besseren Anpassung des Herz-Kreislauf-Systems der Bodybuilder sowie hier der Ringer liegen.

Urhausen et al. (26) fanden bei Patienten einer ambulanten Herzgruppe innerhalb eines Kraftausdauertrainings in Zirkelform (die Belastungsdauer pro Station sowie die Pause zwischen den Stationen und den Durchgängen betrug eine Minute. Insgesamt wurden zwei Durchgänge à sechs Stationen mit 20 - 30 Wiederholungen für die Muskelgruppen Schulter, Arme, Rücken, Bauch und Beine durchgeführt) maximale Herzfrequenzwerte von $129 \pm 13\cdot\text{min}^{-1}$. Die maximalen Blutdruckwerte betragen systolisch $155 \pm 14 \text{ mmHg}$ und $91 \pm 6 \text{ mmHg}$ diastolisch.

Der myokardiale Sauerstoffbedarf unterscheidet sich weder zwischen den einzelnen Gruppen noch zwischen den einzelnen Serien. Unter Ruhebedingungen sind die Werte der Freizeitsportler $9789 \text{ mmHg}\cdot\text{min}^{-1}$, Leichtathleten $10246 \text{ mmHg}\cdot\text{min}^{-1}$ und Ringer $9665 \text{ mmHg}\cdot\text{min}^{-1}$ nahezu identisch mit den Werten von *Buskies* (2). Die Maximalwerte des Blutdruck-Herzfrequenz-Produktes werden in der 4. Serie erreicht und liegen bei $18412 \text{ mmHg}\cdot\text{min}^{-1}$. Dies entspricht einer Steigerung vom Ruhewert zur maximalen myokardialen Beanspruchung von etwa dem 2-fachen.

Nach *Fleck* (8) kann es zu einer Abnahme des myokardialen Sauerstoffverbrauchs in Ruhe durch Krafttraining kommen. Dies deckt sich mit den Aussagen von *Fleck und Kraemer* (7), welche während Krafttraining, infolge chronischer Adaptationen, von geringeren Doppelproduktwerten berichten. Innerhalb dieser Untersuchung konnte kein entsprechender Gruppenunterschied zwischen Freizeitsportlern und Leistungssportler festgestellt werden. Dies verwundert insofern, da die Leistungssportler in 77 % der Fälle 1 - 3 mal und in 23 % der Fälle 3-5 mal pro Woche ein Krafttraining durchgeführt haben. Eventuell könnte hierfür die mangelnde Messgenauigkeit des Blutdruckverhaltens verantwortlich sein.

Bezüglich der subjektiven Belastungseinschätzung wurde von den Probanden eine Zunahme des subjektiven Anstrengungsgrades über die Serien angegeben. Ein statistischer Gruppenunterschied konnte nicht verifiziert werden. Während Studien von *Suminski et al.* (25) und *Kraemer et al.* (18) einen Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration und der subjektiven Belastungseinschätzung fanden,

konnte dieser Zusammenhang weder für die Parameter Laktat, Herzfrequenz, systolischer Blutdruck und myokardialer Sauerstoffbedarf noch für die verrichtete Arbeit nachgewiesen werden. *Urhausen et al.* (26) weisen in der bereits erwähnten Studie zur kardiovaskulären und metabolischen Beanspruchung in der ambulanten Herztherapie darauf hin, dass die subjektive Einschätzung des Anstrengungsgrades keinen Hinweis auf die tatsächliche kardiale Beanspruchung liefert.

Schlussfolgerung

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand kommt es bei den Trainingsmethoden, die sich an der prozentualen Belastungsfestlegung (Prozent der Maximalkraft) und fester Pausendauer orientieren, zu einer Reduktion der bewältigten Wiederholungen (2, 11) bzw. der verrichteten physikalischen Arbeit über die Serien (9, 10). Diese Reduktion ist abhängig von einer Vielzahl von Einflussfaktoren (3, 13, 14) und zeigt einen charakteristischen Kurvenverlauf. In gleichem Maße wie sich die Wiederholungszahl bzw. die physikalische Arbeit über die Serien verringert, steigt die Laktatkonzentration als Ausdruck der metabolischen Beanspruchung über die Serien an (23). Die Kurvenverläufe liefern dabei Hinweise, dass unter ökonomischen Gesichtspunkten 3 Serien im Kraftausdauertraining ausreichend sind. Durch die Diagnostik von Herzfrequenz, Blutdruck, myokardialen Sauerstoffbedarf und subjektiver Belastungseinschätzung konnten keine weiteren Hinweise auf eventuelle Kurvenverläufe mit entsprechender Schwellenbildung abgeleitet werden.

Literatur

1. *Anderson T, Kearney JT*: Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res Quarterly Ex Sport* 53 (1982) 1-7.
2. *Buskies W, Boeckh-Behrens W-U*: Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport* 29 (1999) 3, 4-8.
3. *Buskies W*: Sanftes Krafttraining. Sport und Buch Strauß, Köln 1999.
4. *Essen B, Häggmark T*: Lactate concentration in type I and II muscle fibres during muscle contraction in man. *Acta Physiol Scand* 90 (1975) 344-346.
5. *Essen B, Henriksson J*: Glycogen content of individual muscle fibres in man. *Acta Physiol Scand* 90 (1974) 645-647.
6. *Fleck SJ, Dean LS*: Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. *J Appl Physiol* 63 (1987) 116-120.
7. *Fleck SJ, Kraemer WJ*: Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1997.
8. *Fleck SJ*: Cardiovascular response to strength training. In: *Komi, P. V.: Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 305-315.
9. *Fröhlich M, Schmidtbleicher D, Emrich E*: Belastungssteuerung im Muskelbaustraining – Belastungsnormativ Intensität versus Wiederholungszahl. *Dtsch Z Sportmed* 53 (2002) 79-83.
10. *Fröhlich M*: Eine empirische Studie zur Methodik des Kraftausdauertrainings. Cuvillier, Göttingen 2003, S. 83ff.
11. *Fröhlich M, Schmidtbleicher D*: Belastungsintensität und Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der Trainingsspezifität im Krafttraining. In: *Brüggemann, G.-P., Morey-Klapsing, G. (Red.): Biologische Systeme Mechanische Eigenschaften und ihre Adaptation bei körperlicher Belastung*. Czwalina Verlag, Hamburg 2003, 54-58.
12. *Güllich A, Schmidtbleicher D*: Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 50 (1999) 223-234.
13. *Hoeger WWK, Barette SL, Hale DF, Hopkins DR*: Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *J Appl Sport Sci Research* 1 (1987) 11-13.
14. *Hoeger WWK, Hopkins DR, Barette SL, Hale DF*: Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *J Appl Sport Sci Research* 4 (1990) 47-54.
15. *Hurley B, Seals DR, Ehsani AA, Carter LJ, Dalsky GP, Hagberg, JM, Holloszy JO*: Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc* 16 (1984) 483-488.
16. *Karlsson J, Sjödin B, Jacobs I, Kaiser P*: Relevance of muscle fibre type to fatigue in short intense and prolonged exercise in man. In: *Porter, R., Whelan, J.: Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. Pitman Medical, London 1981, 59-74.
17. *Kraemer WJ, Fry AC*: Strength Testing: Development and Evaluation of Methodology. In: *Maud, P. J., Foster, C.: Physiological assessment of human fitness*. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1995, 115-138.
18. *Kraemer WJ, Noble BJ, Clark MJ, Culver BW*: Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med* 8 (1987) 247-252.
19. *Kravitz L, Akalan C, Nowicki K, Kinzey SJ*: Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. *J Strength Cond Research* 17 (2003) 167-172.
20. *Meyer K, Greinacher W, Weidemann H*: Koronarpatienten im Fitness-Studio – eine riskante Bewegungstherapie. *Dtsch Z Sportmed* 42 (1991) 54-58.
21. *Pette D*: Das adaptative Potential des Skelettmuskels. *Dtsch Z Sportmed* 50 (1999) 262-271.
22. *Pierce K, Rozenek R, Stone HM*: Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *J Strength Cond Research* 7 (1993) 211-215.
23. *Pollmann D*: Muskuläre Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings. Sport und Buch Strauß, Köln 1993, S. 99 ff.
24. *Rutherford OM, Jones DA*: The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol* 55 (1986) 100-105.
25. *Suminski RR, Robertson RJ, Arslanian S, Kang J, Utter AC, DaSilvio SG, Goss FL, Metz KF*: Perception of effort during resistance exercise. *J Strength Cond Research* 11 (1997) 261-265.
26. *Urhausen A, Schwarz M, Stefan S, Gabriel H, Kindermann W*: Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraftausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. *Dtsch Z Sportmed* 51 (2000) 130-136.
27. *Viru A*: Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism. *Scan J Med Sci Sports* (1996) 2-14.
28. *Wagner LL, Evans SA, Weir JP, Housh TJ, Johnson GO*: The effect of grip width on bench press performance. *Int J Sport Biomech* 8 (1992) 1-10.

Korrespondenzadresse:

Dr. phil. Michael Fröhlich

Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland

Hermann Neuberger Sportschule, Geb. 56

66123 Saarbrücken

Fax: 0681/3879151

e-mail: m.froehlich@olympiastuetzpunkt.org