

Fröhlich M<sup>1,4</sup>, Gießing J<sup>2</sup>, Schmidtbleicher D<sup>3</sup>, Emrich E<sup>1</sup>

## Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining – ein explorativer Methodenvergleich

*High intensity training methods pre- and postexhaustion in hypertrophy training – an explorative approach*

<sup>1</sup> Universität des Saarlandes

<sup>2</sup> Philipps-Universität Marburg

<sup>3</sup> Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main

<sup>4</sup> Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland

### Zusammenfassung

Das Muskelaufbautraining zielt vorrangig auf die Steigerung der Muskelmasse ab. Eine Prämisse hierzu lautet, dass die Ausbelastung der Muskulatur als adaptiver Reiz anzusehen ist. Augustsson et al. sowie Maynard und Ebben konnten u.a. zeigen, dass die Vorerermüdung als Intensitätstechnik zur muskulären Ausbelastung in ihrer Wirkungsweise überschätzt wurde (1, 24). Als alternative Maßnahme zur Optimierung der Ausbelastungsintensität im Muskelaufbautraining bietet sich die intensive Nachermüdung an. Die nachfolgende Studie vergleicht die Wirkungsweise der Vor- und Nachermüdung als Intensitätstechnik bei 12 krafttrainingsspezifisch trainierten Freizeitsportlern anhand der Parameter time under tension, Herzfrequenz und subjektive Belastungseinschätzung. Innerhalb von drei Verbundsets mit den Übungen Bankdrücken und Butterfly, Latissimusziehen und Überzüge sowie Beinpressen und Beinstrecken konnte gezeigt werden, dass die Nachermüdung sich nicht signifikant von der Vorerermüdung unterscheidet (TUT Brustmuskulatur ( $F=0,15$ ;  $df=1$ ;  $p=0,70$ ), TUT Rückenmuskulatur ( $F=0,27$ ;  $df=1$ ;  $p=0,61$ ) und TUT Beinmuskulatur ( $F=1,05$ ;  $df=1$ ;  $p=0,32$ )) und somit aufgrund zusätzlicher Intensitätstechniken eine sinnvolle alternative Ausbelastungsstrategie im Muskelaufbautraining darstellt.

**Schlüsselwörter:** Trainingsintensität, muskuläre Ermüdung, Hypertrophie, Erschöpfung, Intensitätstechniken

### Einleitung und Problemstellung

#### Theoretische Verortung und wissenschaftliches Desiderat

Derzeit besteht noch immer ein wissenschaftliches Desiderat bezüglich der Konzeption einer optimalen Reizkonfiguration sowie der genauen Mechanismen und Wirkfaktoren zur Erzielung entsprechender Adaptationen im Muskelaufbautraining. Genuin wird eine Ausbelastung der Muskulatur sowie eine hinreichend lange Reizspannungsdauer (time under tension) gefordert (5, 12, 20, 27, 28). Dies impliziert einerseits die Ausschöpfung der muskelzellulären Energiespeicher (vermehrter ATP- und KP-Abbau) als Stimulus für die Proteinsynthese. Andererseits wird der Muskel- bzw. Reizspannung (Mikrotraumen, Satelittenzellenaktivie-

### Summary

Increasing lean body mass is the primary aim of muscle hypertrophy training. It has been suggested that a high degree of training intensity is a key factor for inducing muscular hypertrophy. Augustsson et al. as well as Maynard and Ebben have shown that pre-exhaustion fails to produce the expected results in terms of increasing the degree of training intensity (1, 24). An alternative method for increasing the degree of training intensity is post-exhaustion, which uses the same exercises but reverses the order in which they are applied. The following study compares the effectiveness of the two high-intensity training methods (HITM) pre-exhaustion and post-exhaustion. The parameters time under tension, heart rate and rating of perceived exertion of twelve recreationally strength-trained subjects applying either method were tested. It could be shown within three compound sets of each of the exercises bench presses and butterfly, latissimus-pulldowns and pullovers, leg presses and leg extensions that the application of post-exhaustion as an HITM does not differ significantly from pre-exhaustion (TUT chest ( $F=0.15$ ;  $df=1$ ;  $p=0.70$ ), TUT latissimus ( $F=0.27$ ;  $df=1$ ;  $p=0.61$ ) and TUT legs ( $F=1.05$ ;  $df=1$ ;  $p=0.32$ )). These findings suggest that post-exhaustion is a useful alternative as an HITM in muscle hypertrophy training.

**Key words:** training intensity, muscular failure, hypertrophy, exhaustion, intensity technique

rung etc.) proteinsynthetische Wirkung zugeschrieben (12, 23, 28). Letztendlich steht der empirische qualitative und quantitative Beweis auf zellulärer Ebene jedoch noch aus (21). Bezüglich der Ausbelastung der Muskulatur besteht derzeit noch das Problem der Operationalisierung sowie der genauen definitorischen Abgrenzung der verschiedenen Techniken (14).

Zur Ausbelastung der Muskulatur über den Punkt des momentanen Muskelversagens (PmM) (point of momentary muscular failure PMF) hinaus werden speziell im Bodybuilding so genannte Intensitätstechniken verwendet (3, 4, 8, 14, 15, 27). Die Zielstellung dieser Intensitätstechniken beruht auf der zusätzlichen Intensivierung des progressiven adaptiven Reizes, dies sowohl im Hinblick auf die zugrunde liegende Energetik als auch im Sinne der Reizspannungshöhe und somit letztendlich in der Steigerung der muskulären Ermüdung. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass die Hand-

lungsempfehlungen bezüglich der Intensitätstechniken i.d.R. auf theoretischen Überlegungen (z.B. maximale Rekrutierung und Frequenzierung von motorischen Einheiten durch Überlastung der Muskulatur und optimale Synchronisation [27]) sowie auf Trainingserfahrungen von Praktikern beruhen. Weit weniger liegen explizit empirische Studien zur Wirkungsweise von Intensitätstechniken und deren zusätzlicher Ermüdung vor. Augustsson et al. schreiben hierzu: „The effects of fatigue on muscle function and the implications of this on strength and muscle hypertrophy acquisition is not well documented, and existing data on whether fatigue may stimulate strength and muscle volume development is contradictory“. Als Intensitätstechniken sind u.a. zu nennen: abgefälschte Wiederholungen, Intensivwiederholungen, Teilwiederholungen, Reduktionssätze, Stotterwiederholungen, Negativwiederholungen etc. (3, 8, 13, 27). Der nachfolgende Beitrag rekurriert auf die Intensitätstechnik Supersatz bzw. Verbundsatz mit Voreremüdung als hochintensive Ausbelastungsstrategie im Sinne eines Konstrukts zur Beschreibung möglicher Anpassungseffekte auf Krafttrainingsreize.

## Definitivische Präzisierung und erste empirische Verwertungshinweise

### Super- und Verbundsätze

Baeche, Earle und Wathan verstehen unter einem Supersatz die Ausführung von zwei antagonistischen Übungen direkt hintereinander, ohne dass eine nennenswerte „Pause“ zwischen den Übungen eingelegt wird (2, 8, 15). Die intraserielle Pause zwischen den beiden Übungen wird nur zum Wechsel der Übungen selbst genutzt. Die eigentliche Supersatzpause erfolgt erst, wenn beide Sätze abgeschlossen sind. Beziehen sich die beiden Übungen des Supersatzes auf ein und denselben Zielmuskel, so spricht man von Verbundsätzen (2).

### Intensitätstechnik Voreremüdung

Die Intensitätstechnik Voreremüdung (pre-exhaustion) basiert auf der Erkenntnis, dass große Muskeln wie bspw. M. pectoralis, M. latissimus oder M. quadriceps femoris durch so genannte Grundübungen allein nicht maximal (optimal) ausbelastet werden können, weil die kleineren, an den Grundübungen beteiligten Muskeln bereits ermüdet sind, bevor die großen Muskeln erschöpfend trainiert werden konnten (15). Um eine solche Beeinträchtigung der Trainingseffizienz der großen Muskelgruppen zu minimieren, werden den Grundübungen so genannte Isolationsübungen (Isolationsübungen implizieren eine Konzentration auf einen bestimmten Zielmuskel) vorangestellt.

### Verbundsatz mit Voreremüdung als Intensitätstechnik

Durch die Kombination von Verbundsatz und zusätzlicher Voreremüdung der Zielmuskulatur durch Grundübungen sollte eine maximale Ausschöpfung und somit maximale

Ausbelastung der Muskulatur mit entsprechender Hypertrophiestimulation erzielt werden (8). Derzeit wird jedoch die Effizienz und hohe Wirksamkeit von Verbundsatz und Voreremüdung als Intensitätstechnik sowohl theoretisch (13) als auch empirisch (1, 24) diskutiert. So konnten erste empirische Studien von Augustsson et al. (1) sowie von Maynard und Ebben (24) zeigen, dass die Kombination von Voreremüdung und Super- bzw. Verbundsatz in seiner Wirksamkeit überschätzt wurde und somit überdacht werden sollte. Eine ausführliche Aufarbeitung und kritische Würdigung der beiden Studien ist in Gießing (15) sowie in Fröhlich und Gießing (11) beschrieben.

## Thematische Verdichtung und deduzierte Forschungsfrage

Resümierend kann aus den empirischen Befunden von Augustsson et al. (1) und Maynard und Ebben (24) geschlossen werden, dass: „Since pre-exhaustion does not provide a solution for this problem, the logical consequence of these findings can only be reversing the order of the exercises performed“ (13).

Als Fazit kann zum derzeitigen Stand der Forschung bzgl. Vor- und Nachermüdung als Intensitätstechnik konstatiert werden, dass die Kombination aus Isolationsübungen und Grundübungen zu einem Verbundsatz eine sinnvolle Vorgehensweise darstellt, wobei innerhalb der Voreremüdung lediglich die Reihenfolge falsch gewählt wurde (14, 15). Unter Bezugnahme auf die theoretischen Überlegungen und vorliegenden empirischen Befunde gilt es zu prüfen, inwieweit sich die Vor- und Nachermüdung als Intensitätstechnik im Muskelaufbautraining unterscheiden.

## Material und Methode

### Probanden

An der explorativen Querschnittsstudie nahmen 12 leistungsorientierte Kraftsportler mit einer durchschnittlichen Trainingserfahrung von  $11,8 \pm 7,0$  Jahren teil. Das durchschnittliche Alter der Probanden betrug  $35,2 \pm 7,6$  Jahre (Größe:  $182,6 \pm 7,0$  cm, Gewicht;  $83,9 \pm 6,6$  kg, BMI:  $25,2 \pm 2,5$ , Körperfett:  $14,7 \pm 3,8$  %). Neben den zwei bis drei Krafttrainingseinheiten pro Woche wurden noch zusätzlich ein bis zwei Ausdauerseinheiten pro Woche von den Studienteilnehmern durchgeführt. Aufgrund der hohen Krafttrainingserfahrung können so genannte Lern- und Gewöhnungseffekte an die Testsituation sowie an die Geräte und somit koordinative Anpassungen auf neuronaler Ebene nahezu ausgeschlossen werden (19).

### Untersuchungstreatment

Die Probanden wurden zum ersten Untersuchungstermin je zur Hälfte der Vor- bzw. Nachermüdungsgruppe zugeordnet. Exakt eine Woche später wurde der zweite Messtermin in umgekehrter Reihenfolge der Verbundsätze durch-

geführt. Somit führten alle 12 Probanden das Treatment Vor- als auch Nachermüdung durch. Die Testübungen bestanden aus Bankdrücken und Butterfly, Latissimusziehen in den Nacken bzw. Überzügen am Kabel mit fast gestreckten Armen sowie aus Beinpressen und Beinstrecken. Die Übungen wurden an den jeweils entsprechenden Maschinen durchgeführt. Zwischen den Übungen lag eine Pause von ca. 10 Sekunden (max. 15 sec). Die Pause zwischen den Verbundsätzen betrug bei den Übungen für die Brust- und Nackenmuskulatur (Rücken) jeweils zwei Minuten, für die Beinübungen 2,5 Minuten (16). Insgesamt wurden drei Verbundsätze realisiert. Zum zweiten Testtermin wurde die Reihenfolge innerhalb des Verbundsatzes getauscht, die Reihenfolge der zu trainierenden Muskeln blieb jedoch konstant. Die Gewichtslast sollte jeweils bei 12-RM liegen. Die Bewegungsreichweite (ROM) wurde konstant gehalten. Diese wurde protokolliert und zum zweiten Testtermin als Grundlage verwendet.

### Abhängige Untersuchungsvariablen

#### Reizspannungsdauer - Time under Tension (TUT) und Total TUT

Die Reizspannungsdauer als Parameter für die physiologisch verrichtete Arbeit wurde sowohl innerhalb einer Übung, innerhalb des Verbundsatzes sowie über die gesamte Treatmentbedingung (Total TUT) erhoben. Die Reizspannungsdauer wurde über die Zeit (sec) für das Realisieren des 12-RM operationalisiert. Somit erlaubt die Reizspannungsdauer einen Vergleich zwischen den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung.

#### Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde über eine Sender-Empfänger-Einheit der Firma Polar<sup>®</sup> erhoben. Der erste Herzfrequenzwert wurde unmittelbar vor Beginn der ersten Serie protokolliert, d.h. wenn der Proband bereits die Ausgangsposition eingenommen hatte (beim Bankdrücken z.B. saß der Proband an der Maschine und hatte die Hände an der Drückvorrichtung). Der zweite Wert wurde unmittelbar nach der letzten Wiederholung der ersten Serie registriert. Sodann erfolgte der Gerätewechsel (ca. 10sekündige Pause). Wenn der Proband die Ausgangsposition an dem zweiten Gerät eingenommen hatte, also unmittelbar vor Beginn der zweiten Serie wurde der dritte Pulswert protokolliert. Sofort nach Beendigung der letztmöglichen Wiederholung der zweiten Serie, d.h. nach Beendigung des Verbundsatzes wurde dann der vierte Pulswert registriert (11). Somit ergaben sich insgesamt 12 Messzeitpunkte.

#### Subjektives Belastungsempfinden

Die subjektive Belastungseinschätzung wurde über die 10stufige Borgskala operationalisiert (22). Vor der eigentlichen Untersuchung wurden die Probanden mit der Borgskala vertraut gemacht. Unmittelbar nach Beendi-

gung einer jeden Serie wurde die subjektive Belastungseinschätzung durch die Probanden anhand der Skala eingeschätzt. Die subjektive Belastungseinschätzung konnte somit sechsmal erfragt werden. Durch die angenommene Äquidistanz der Borgskala kann eine parametrische Berechnung vorgenommen werden.

#### Methodenauswahl

Aufgrund des explorativen Charakters der Querschnittsstudie sowie aufgrund untersuchungsökonomischer Rahmenbedingungen wurde auf die leicht zu erhebenden Parameter Anspannungszeit, Herzfrequenz und subjektive Belastungseinschätzung rekurriert, wohl wissend, dass z.B. blutchemische Parameter zusätzliche Informationen geliefert hätten.

### Statistik

Zur deskriptiven Beschreibung wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und Konfidenzintervalle berechnet. Die inferenzstatistische Berechnung auf Unterschiede erfolgte über ANOVA mit Messwiederholung. Die Überprüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde mit den entsprechenden Verfahren durchgeführt und bestätigt. Die Berechnung erfolgte mit STATISTICA 6.1. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

### Untersuchungsergebnisse

#### Reizspannungsdauer - Time under Tension (TUT) und Total TUT

Die Ergebnisse der inferenzstatistischen Berechnung der Variable TUT pro Verbundsatz bei den Übungen für die Brust-, Rücken- und Beinmuskulatur zeigten folgendes Bild:

- Brustmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=0,15$ ;  $df=1$ ;  $p=0,70$ ), Haupteffekt Serie ( $F=80,46$ ;  $df=2$ ;  $p < 0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=0,17$ ;  $df=2$ ;  $p=0,84$ ).
- Rückenmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=0,27$ ;  $df=1$ ;  $p=0,61$ ), Haupteffekt Serie ( $F=84,05$ ;  $df=2$ ;  $p < 0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=0,08$ ;  $df=2$ ;  $p=0,93$ ).
- Beinmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=1,05$ ;  $df=1$ ;  $p=0,32$ ), Haupteffekt Serie ( $F=39,87$ ;  $df=2$ ;  $p < 0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=1,03$ ;  $df=2$ ;  $p=0,37$ ).

Die TUT unterscheidet sich weder zwischen den Trainingsmethoden Vor- bzw. Nachermüdung noch zwischen den drei einzelnen Übungen. Zwischen den Serien im Verbundsatz unterscheidet sich die Reizspannungsdauer signifikant. Das heißt, es kommt zu einer signifikanten Reduktion der Reizspannungsdauer über die 3 Verbundsätze. Die Total TUT als Parameter für die gesamte physiologisch geleistete Arbeit innerhalb des Treatments betrug:

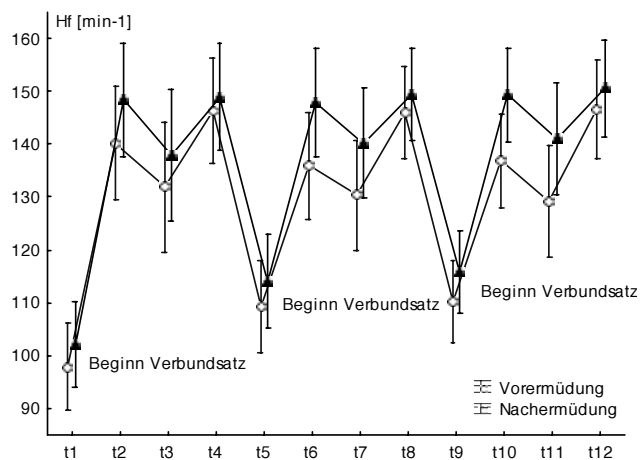


Abbildung 1: Herzfrequenzverhalten innerhalb der 3 Verbundsätze bei den Übungen Bankdrücken und Butterfly in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung (t1 - t4 = 1. Verbundsatz, t5 - t8 = 2. Verbundsatz, t9 - t12 = 3. Verbundsatz) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

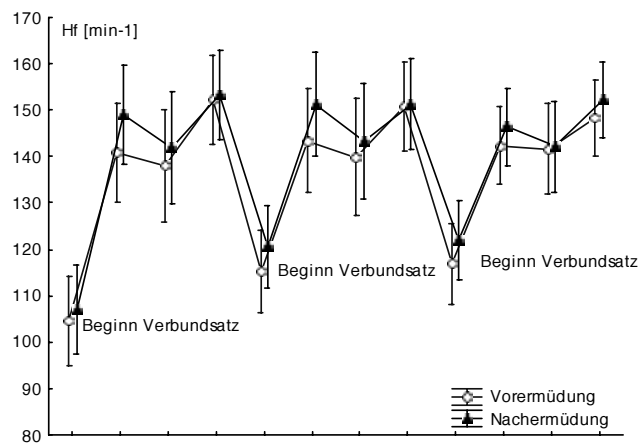


Abbildung 2: Herzfrequenzverhalten innerhalb der 3 Verbundsätze bei den Übungen Latissimusziehen und Überzüge in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung (t1 - t4 = 1. Verbundsatz, t5 - t8 = 2. Verbundsatz, t9 - t12 = 3. Verbundsatz) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

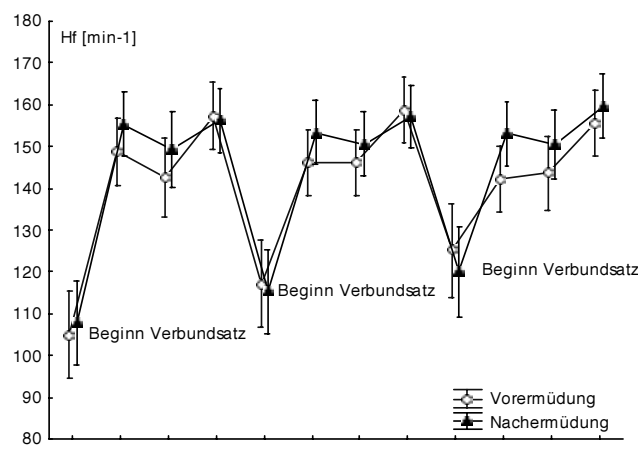


Abbildung 3: Herzfrequenzverhalten innerhalb der 3 Verbundsätze bei den Übungen Beinpressen und Beinstrecken in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung (t1 - t4 = 1. Verbundsatz, t5 - t8 = 2. Verbundsatz, t9 - t12 = 3. Verbundsatz) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

- Brustmuskulatur: Vorermüdung ( $172,9 \pm 44,2$  sec) vs. Nachermüdung ( $165,7 \pm 47,9$  sec).
- Rückenmuskulatur: Vorermüdung ( $165,5 \pm 33,8$  sec) vs. Nachermüdung ( $158,4 \pm 33,4$  sec).
- Beinmuskulatur: Vorermüdung ( $190,4 \pm 43,0$  sec) vs. Nachermüdung ( $171,5 \pm 47,1$  sec).

## Herzfrequenz

Die Herzfrequenz als physiologischer Beanspruchungsparameter des Herz-Kreislauf-Systems unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den beiden Trainingsmethoden bei den Brustmuskelübungen ( $F=1,49$ ;  $df=1$ ;  $p=0,24$ ). Zwischen den einzelnen Messzeitpunkten besteht ein signifikanter Unterschied ( $F=93,37$ ;  $df=11$ ;  $p<0,05$ ). Die Interaktion Trainingsmethode mal Messzeitpunkt ist nicht signifikant ( $F=1,16$ ;  $df=11$ ;  $p=0,32$ ). Die Abb. 1 zeigt den Herzfrequenzverlauf innerhalb der Experimentalbedingungen Vor- und Nachermüdung.

Die Berechnungen der Herzfrequenzverläufe bei den Übungen für die Rücken- und Beinmuskulatur zeigten folgende Resultate:

- Rückenmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=0,37$ ;  $df=1$ ;  $p=0,55$ ), Haupteffekt Messzeitpunkt ( $F=110,98$ ;  $df=11$ ;  $p<0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=0,78$ ;  $df=11$ ;  $p=0,66$ ) (vgl. Abb. 2).
- Beinmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=0,45$ ;  $df=1$ ;  $p=0,51$ ), Haupteffekt Messzeitpunkt ( $F=105,67$ ;  $df=11$ ;  $p<0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=2,02$ ;  $df=11$ ;  $p<0,05$ ) (vgl. Abb. 3).

Der Vergleich der aufsummierten durchschnittlichen Herzfrequenzwerte ( $\bar{Hf}$  der 12 Messzeitpunkte) von Vor- und Nachermüdung stellte sich wie folgt dar:

- Brustmuskulatur: Vorermüdung ( $130,1 \pm 14,9$   $\text{min}^{-1}$ ) vs. Nachermüdung ( $137,2 \pm 13,6$   $\text{min}^{-1}$ ).
- Rückenmuskulatur: Vorermüdung ( $136,2 \pm 16,6$   $\text{min}^{-1}$ ) vs. Nachermüdung ( $140,1 \pm 13,9$   $\text{min}^{-1}$ ).
- Beinmuskulatur: Vorermüdung ( $140,7 \pm 12,1$   $\text{min}^{-1}$ ) vs. Nachermüdung ( $144,0 \pm 11,8$   $\text{min}^{-1}$ ).

## Subjektive Belastungseinschätzung

Die subjektive Belastungseinschätzung (Borgskala) unterscheidet sich nicht zwischen den Treatments Vor- und Nachermüdung bei den Übungen Bankdrücken bzw. Butterfly ( $F=0,09$ ;  $df=1$ ;  $p=0,77$ ). Über die einzelnen Messzeitpunkte kommt es zu einem signifikanten Anstieg der subjektiven Belastungseinschätzung ( $F=26,8$ ;  $df=5$ ;  $p<0,05$ ). Die Interaktion Treatment mal Serie ist nicht signifikant ( $F=0,88$ ;  $df=5$ ;  $p=0,50$ ). In Tab. 1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der beiden Trainingsmethoden im Überblick dargestellt.

Bei den Übungen für die Rücken- (Verbundsatz aus Latissimusziehen und Überzüge) und Beinmuskulatur (Verbundsatz aus Beinpressen und Beinstrecken) konnten inferenzstatistisch folgende Ergebnisse festgestellt werden:

- Rückenmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=0,66$ ;  $df=1$ ;  $p=0,42$ ), Haupteffekt Messzeitpunkt ( $F=110,98$ ;  $df=11$ ;  $p<0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=0,78$ ;  $df=11$ ;  $p=0,66$ ) (vgl. Abb. 2).

teffekt Messzeitpunkt ( $F=19,51$ ;  $df=5$ ;  $p<0,05$ ) und Interaktions-effekt ( $F=1,63$ ;  $df=5$ ;  $p=0,16$ ) (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Subjektive Belastungseinschätzung der beiden Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung bei den drei Übungen innerhalb der Verbundsätze für die Brust-, Rücken- und Beinmuskulatur über die 6 Serien ( $M \pm S$ ) (VS = Verbundsatz)

		Brustmuskulatur		Rückenmuskulatur		Beinmuskulatur	
		Vor-ermüdung	Nach-ermüdung	Vor-ermüdung	Nach-ermüdung	Vor-ermüdung	Nach-ermüdung
1. VS	1. Serie	6,2 ± 1,2	6,2 ± 1,3	6,4 ± 1,4	6,3 ± 1,3	6,8 ± 1,4	6,8 ± 1,3
	2. Serie	7,7 ± 1,2	7,2 ± 1,1	7,9 ± 0,9	6,9 ± 0,9	7,8 ± 1,3	8,1 ± 0,9
2. VS	3. Serie	7,3 ± 1,1	7,5 ± 1,0	7,1 ± 1,4	7,1 ± 1,2	7,7 ± 0,7	7,8 ± 0,9
	4. Serie	8,2 ± 0,8	8,2 ± 0,9	8,3 ± 0,6	8,0 ± 0,7	8,8 ± 0,8	8,4 ± 0,9
3. VS	5. Serie	7,8 ± 1,1	7,9 ± 1,0	7,3 ± 1,6	7,3 ± 1,3	8,0 ± 0,9	8,3 ± 1,0
	6. Serie	8,7 ± 0,7	8,3 ± 1,3	8,4 ± 0,9	7,9 ± 1,2	9,3 ± 0,5	9,2 ± 0,6

die Serien (Verbundsätze) kommt (25). Aufgrund der größeren beteiligten Muskelmasse liegt die Herzfrequenz bei den Übungen für den Rücken und für die Beine höher als bei der Übung für die Brustmuskulatur (6). Die Herzfrequenzwerte liegen bei beiden Treatments in einem auf das Herz-Kreislauf-System bezogenen günstigen Trainingsbereich (25). Die Höchstwerte von im Einzelnen  $180 \text{ min}^{-1}$  sollten für das vorliegende Probandenklientel keinen gesundheitlichen Risikofaktor darstellen (6, 7). Dass bei Ausbelastung im submaximalen Intensitätsbereich (12-RM) die höchsten Herzfrequenzwerte erzielt werden, deckt sich mit den Studien von Fleck und Dean sowie Fleck und Kraemer (7, 8).

- Beinmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F=0,01$ ;  $df=1$ ;  $p=0,93$ ), Haupteffekt Messzeitpunkt ( $F=36,07$ ;  $df=5$ ;  $p<0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F=0,99$ ;  $df=5$ ;  $p=0,42$ ) (vgl. Tab. 1).

Die Probanden schätzten die beiden Trainingsmethoden subjektiv vergleichbar ein. Dieses Bild verifiziert sich bei allen drei Übungen. Über die drei Verbundsätze stieg die subjektive Belastungseinschätzung an. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Pierce, Rozenek und Stone (25). Im dritten Verbundsatz bildete sich die subjektive Belastungseinschätzung anhand der objektiven Ausbelastung ab. Im Einzelfall gestaltet sich die Trainingsbelastungsfestlegung aufgrund der subjektiven Belastungseinschätzung schwierig (10). Die aufsummierte durchschnittliche subjektive Belastungseinschätzung unterschied sich nicht zwischen den beiden Trainingsmethoden.

## Diskussion

Die Reizspannungsdauer als Parameter für die physiologische Muskelarbeit unterscheidet sich weder zwischen den beiden Trainingsmethoden noch zwischen den drei verwendeten Übungen. Somit üben beide Trainingsmethoden unter diesem Aspekt einen vergleichbaren Einfluss auf die Proteinsynthese aus. Innerhalb der beiden Trainingsmethoden kommt es zu einer signifikanten Reduktion der Reizspannungsdauer über die drei Verbundsätze hinweg. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Untersuchungen von Fröhlich, Schmidtbleicher und Emrich sowie Fröhlich (9, 10). Die mittlere Spannweite der TUT liegt zwischen 75 Sekunden (1. Verbundsatz Beine) und 41 Sekunden (3. Verbundsatz Rücken). Das bedeutet, dass sowohl bei der Vor- als auch bei der Nachermüdung eine ausreichend lange Zeitdauer zur energetischen Verstoffwechslung der ATP- und KP-Speicher sowie in Teilen der anaeroben Glykolyse vorliegt (18, 27, 28). So reicht bspw. nach Fleck und Kraemer der ATP-KP-Pool für 3 Sätze mit 10-RM und 1 Minute Serienpause aus (8). Die Reizspannungsdauer dürfte somit für beide Trainingsmethoden einen vergleichbaren Einfluss auf die adaptiven Prozesse des Muskelwachstums haben (im Überblick 17).

Die Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems, operationalisiert über die gemessene Herzfrequenz, unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den beiden Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung. Dies betrifft sowohl die Übungen für die oberen Extremitäten (Brust- und Rückenübung) als auch für die Beine. Die mittlere Herzfrequenz liegt bei beiden Trainingsmethoden zwischen  $130 - 160 \text{ min}^{-1}$  und sinkt innerhalb der Serienpausen auf ca.  $110 - 120 \text{ min}^{-1}$  ab. Angelehnt an die Trainingsmethodik des Ausdauertrainings könnte man von einer so genannten „lohnenden Pause“ sprechen, wobei die Zielstellung der lohnenden Pause darin begründet liegt, dass es zu einer Ermüdungskumulation über

## Praktische Implikationen

### Nachermüdung und zusätzliche Intensitätstechniken

Durch die Vorermdung ist die Leistung bei der Ausführung der Grundübungen beeinträchtigt. Daher verbietet sich der Einsatz zusätzlicher Intensitätstechniken wie Teilwiederholungen oder Intensivwiederholungen etc., weil dies die anschließende Schwächung bei den Grundübungen noch verstärken würde (11). Bei der Nachermüdung hingegen ist die zusätzliche Anwendung bei beiden Übungen des Verbundsatzes ohne weiteres möglich. So könnten problemlos Reduktionssätze und/oder Intensivwiederholungen als Intensitätstechniken an die Verbundsätze angeschlossen werden. Hierbei sollte jedoch die Wiederholungszahl (z.B. 12-RM) auf 6-8-RM reduziert werden, da durch die Reduktionssätze bzw. Intensivwiederholungen zusätzlich ein muskelstimulierender Hypertrophieiz ausgelöst wird (13). Blicke man bei den ursprünglichen 12-RM und würde noch zusätzlich Intensitätstechniken anschließen, würde die TUT in den zum Teil laktaziden Bereich verschoben und somit eher im Kraftausdauerbereich (15-20-RM) trainiert werden (10). Letztendlich wäre die optimale Wirksamkeit der Nachermüdung plus weiterer Intensitätstechniken in Frage gestellt.

### Praktischer Verwertungszusammenhang

Die vorliegende Studie liefert erste empirische Ergebnisse zu Beanspruchungsparametern innerhalb der Ausbelastungsstrategie Vor- bzw. Nachermüdung bei hochspezifisch Trainierten und verschiedenen Muskelgruppen im Krafttraining. Da sich die Beanspruchungsparameter TUT, Total TUT, Herzfrequenz und subjektive Belastungseinschätzung nicht zwischen den beiden Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung unterscheiden, innerhalb der Nachermüdung jedoch noch zusätzlich weitere Intensitätstechniken in die Trainingsgestaltung aufgenommen werden können, könnte die Nachermüdung als Ausbelastungsstrategie im Muskelaufbautraining eine lohnende Alternative sein. Längsschnittliche Trainingsexperimente müssten letztendlich jedoch noch den empirischen Beweis liefern.

### Literatur

1. Augustsson J, Thomeé R, Hörnstedt P, Lindblom J, Karlsson J, Grimby G: Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 411-416.
2. Baechle T, Earle R, Wathan D: Resistance training, in: Baechle TR, Earle RW (Hrsg.): *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics, Champaign, 2000, 395-425.
3. Boeckh-Behrens W-U, Buskies W: *Fitness-Krafttraining*. Rowohlt, Reinbek, 2000.
4. Bührle M, Werner E: Das Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. *Leistungssport* 14 (1984) 5-9.
5. Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS: Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 88 (2002) 50-60.
6. Fleck SJ: Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med Sci Sports and Exerc* 20 (1988) 146-151.
7. Fleck SJ, Dean LS: Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. *J Appl Physiol* 63 (1987) 116-120.
8. Fleck SJ, Kraemer WJ: *Designing resistance training programs*. Human Kinetics, Champaign, 1997.
9. Fröhlich M, Schmidtbleicher D, Emrich E: Belastungssteuerung im Muskelaufbautraining - Belastungsnormativ Intensität versus Wiederholungszahl. *Dtsch Z Sportmed* 53 (2002) 79-83.
10. Fröhlich M: *Kraftausdauertraining. Eine empirische Studie zur Methodik*. Cuvillier, Göttingen, 2003.
11. Fröhlich M, Gießing J: Nachermüdung als trainingsmethodische Alternative im Krafttraining. *Leistungssport* 36 (2006) 39-44.
12. Fry AC: The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* 34 (2004) 663-679.
13. Gießing J, Preuss P, Fröhlich M: High-intensity post-exhaustion for maximizing training intensity in muscle hypertrophy training, in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Hrsg.): *Current results of strength training research*. Cuvillier, Göttingen, 2005, 80-88.
14. Gießing J, Preuss P, Greiwing A, Goebel S, Müller A, Schischek A, Stephan A: Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training for muscle hypertrophy, in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Hrsg.): *Current results of strength training research*. Cuvillier, Göttingen, 2005, 9-23.
15. Gießing J: Intensive Nachermüdung als Maßnahme zur Optimierung der Ausbelastungsintensität beim Muskelaufbautraining. *Leistungssport* 35 (2005) 11-14.
16. Güllich A, Schmidtbleicher D: Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 50 (1999) 223-234.
17. Hemmling G: *Anpassungen des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode*. Sport und Buch Strauß, Köln, 1994.
18. Hultman E, Sjöholm H: Biochemical causes of fatigue, in: Jones NL, McCarty N, McComas AJ (Hrsg.): *Human Muscle Power*. Human Kinetics, Champaign, 1986, 215-238.
19. Kraemer WJ, Fry AC: Strength Testing: Development and Evaluation of Methodology, in: Maud PJ, Foster C (Hrsg.): *Physiological assessment of human fitness*. Human Kinetics, Champaign, 1995, 115-138.
20. Lichtenegger N: The relationship between myostatin function, strength gain and muscular hypertrophy, in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Hrsg.): *Current results of strength training research*. Cuvillier, Göttingen, 2005, 195-205.
21. Liu Y, Steinacker JM: Die Rolle von HSP im Skelettmuskel. *Dtsch Z Sportmed* 53 (2002) 361-367.
22. Löllgen H: Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Dtsch Z Sportmed* 55 (2004) 299-300.
23. MacDougall DJ: Hypertrophy or hyperplasia, in: Komi PV (Hrsg.): *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 230-238.
24. Maynard J, Ebben W: The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 469-474.
25. Pierce K, Rozenek R, Stone HM: Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *J Strength Cond Res* 7 (1993) 211-215.
26. Steinacker J, Wang L, Lormes W, Reißnecker S, Liu Y: Strukturanpassung des Skelettmuskels auf Training. *Dtsch Z Sportmed* 53 (2002) 354-360.
27. Stone M, O'Bryant H: *Weight Training: A scientific approach*. Bellwether Press, Minneapolis, 1987.
28. Viru A: Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism. *Scand J Med Sci Sports* 6 (1996) 2-14.

Korrespondenzadresse:

Dr. Michael Fröhlich

Universität des Saarlandes

Sportwissenschaftliches Institut

Universität Campus Gebäude B8.1

66123 Saarbrücken

e-Mail: [m.froehlich@mx.uni-saarland.de](mailto:m.froehlich@mx.uni-saarland.de)