

Positionspapier für eine beanspruchungsorientierte Trainingsgestaltung im Krafttraining

Franz Marschall¹, Dirk Büsch^{2, 3}

¹ Universität des Saarlandes, Saarbrücken

² Institut für Angewandte Trainingswissenschaft, Leipzig

³ H:G Hochschule für Gesundheit & Sport, Technik & Kunst, Berlin

Zusammenfassung

Handlungsempfehlungen zur Gestaltung des Krafttrainings sind fast durchgängig in Form der Belastungsgrößen relative Last, Wiederholungen, Serien, Pausen, Muskelaktionsgeschwindigkeit und Trainingshäufigkeit formuliert. Theoretische Überlegungen auf der Basis des trainingswissenschaftlichen Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts sowie empirische Befunde und Erfahrungen aus der Trainingspraxis lassen den Schluss zu, dass für ein zielgerichtetes Krafttraining die gängigen Belastungsgrößen durch die Angabe weiterer, auf die jeweils anpassungsrelevante Beanspruchung ausgerichteter Parameter ergänzt werden müssen. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass entgegen der dominierenden Auffassung die am Einer-Wiederholungs-Maximum relativierte Last nicht als Beanspruchungsintensität, sondern ausschliesslich als (absolute) Lastangabe und damit Belastungsgrösse betrachtet werden muss. Die Intensität ist vielmehr eine Beanspruchungsgrösse, die über den Anstrengungsgrad erfasst werden sollte. Dieser kann bspw. über die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung abgebildet werden. Die anpassungsauslösende Wirkung der Last wird erst in Zusammenhang mit i.d.R. nicht angegebenen Parametern wie der Art der Muskelaktionsform, der Dauer der Einzelwiederholung, der Gesamtanspannungsdauer innerhalb einer Serie und der Pause zwischen den Wiederholungen präzisiert. Diese von Toigo und Boutellier (2006) in die Diskussion eingeführte Sichtweise wird durch aktuelle Befunde ergänzt und gestützt. Eine Evaluation des beschriebenen Ansatzes steht noch aus, erfordert er doch weitere umfangreiche und systematische Trainingsstudien. Daher sind bei der Veröffentlichung von weiteren Trainingsstudien die erläuterten beanspruchungsorientierten Parameter als Dokumentationsstandard einzufordern und bestehende Ausbildungsmaterialien für das Krafttraining zu verändern bzw. zu ergänzen.

Schlüsselwörter: Belastungsgrößen, Krafttrainingseffekte, beanspruchungsbedingte Anpassungen.

Abstract

Strength training guidelines tend to be based on stress factors such as relative weight, repetitions, sets, rest in-between sets, muscle action velocity and number of sessions per week. Based on the stress-strain-concept, empirical results and training experience require additional parameters related to the molecular and cellular adaptations for an effective strength training concept. In contrast to what has generally been assumed, it is notable that the individual percentage of 1-Repetition-Maximum (1 RM) is not the intensity but only a relative training load and therefore a stress factor. Intensity is referred to here as a strain factor, operationalized as the level of effort applied to a given load. For example, it can be measured by the level of perceived exertion. To identify the adaptation effect of a training load, commonly disregarded parameters like muscle action modes per repetition, duration of one repetition, rest in-between repetitions, and time under tension must first be specified. Toigo and Boutellier (2006) indicated the importance of these determinants, and current findings support and complement their viewpoint. Further extensive and systematic follow-up studies are required to provide an evaluation of this approach. For papers on strength training, a proposed set of new determinants is put forward as a documentation standard for future research in the field of strength training. Existing textbooks should be modified accordingly.

Key words: stress factors, strength training effects, strain related adaptations.

Einleitung

In den Neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts sind eine Vielzahl von Überlegungen formuliert worden, wie das ergonomische Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (im Folgenden als BBK abgekürzt, Rohmert, 1984) gewinnbringend auf die Sport- und im Konkreten auf die Bewegungs- und Trainingswissenschaft übertragen werden kann (Büsch, 1993; Olivier, 1991a, 1991b, 2000, 2001; Willimczik et al., 1991). Mittlerweile hat sich die sprachliche Differenzierung von Belastungen und Beanspruchungen in der Trainingslehre und in der trainingswissenschaftlichen Grundlagenliteratur etabliert (Hohmann et al., 2010; Hottenrott und Neumann, 2010; Olivier et al., 2008; Schnabel et al., 2008 u.v.m.), auch wenn der inhaltlich differenzierte Gebrauch nicht konsistent erfolgt.

In der Trainingswissenschaft wird die «sportliche Leistung» übereinstimmend als wesentliche Führungsgrösse für Training und Wettkampf postuliert (Baechle und Earle, 2008; Bompa und Haff, 2009; Carl, 1984; Hohmann et al., 2010; Schnabel et al., 2008; Zatsiorsky und Kraemer, 2006 u.v.m.). Dabei besteht die Zielstellung entweder in einer «Maximierung» (Leistungssport) oder in einer «Optimierung» (Schul-, Freizeit- und Gesundheitssport) der sportlichen Leistung. Unter diesem trainingswissenschaftlich und sportpraktisch relevanten Aspekt sind die Wechselbeziehungen zwischen Belastung, Beanspruchung, der sportlichen Leistung und den individuellen Voraussetzungen respektive der Leistungsfähigkeit zu beachten.

Ausgehend von Problemen der Trainingsgestaltung im Leistungssport, jedoch auch im Gesundheits-, Schul- und Freizeitsport, in denen identische Belastungen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen können, «erzwingt» die Berücksichtigung des BBK eine dezidierte Analyse von personenunabhängigen Grössen (Belastungen), personenabhängigen Wirkungen (Beanspruchungen) und den damit verbundenen Anpassungen. Für eine effektive Trainingsgestaltung folgt daraus eine Individualisierung der Belastungsvorgaben und eine Kontrolle der Beanspruchungsgrössen bzw. -variablen. Im so genannten phänomenorientierten BBK (siehe Abb. 1) lässt sich die Belastung und die Beanspruchung auch für die Trainingswissenschaft als «einfacher» funktionaler Zusammenhang beschreiben (Rohmert, 1983, 1984):

«Belastung = f (Teilbelastungsarten, Belastungshöhen, Belastungsdauern)»

«Beanspruchung = h (Belastung, individuelle Eigenschaften, Fähigkeiten, Fertigkeiten)»

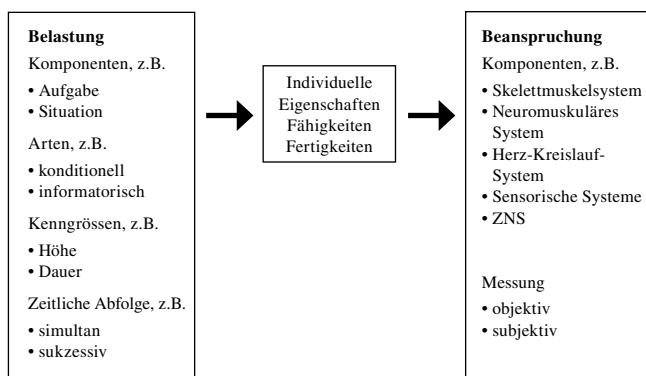


Abbildung 1: Das phänomenorientierte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (modifiziert nach Rohmert, 1984, S. 196).

Die Ermittlung der Beanspruchung kann in diesem funktionalen Zusammenhang entweder *induktiv* oder *deduktiv* erfolgen. Bei der induktiven Beanspruchungsermittlung werden physiologische und biochemische Messgrössen registriert, die sich sowohl in Abhängigkeit der Belastungshöhe als auch der Belastungsdauer individuell unterschiedlich verändern können. Dieses phänomenorientierte Vorgehen erfolgt *engpassorientiert*, so dass zur Beanspruchungsbeurteilung bestenfalls eine einzelne Beanspruchungsgrösse ausreichend sein kann. Bei der deduktiven Beanspruchungsermittlung wird demgegenüber vorausgesetzt, dass ein *theoretisches Konstrukt* existiert, so dass die Beanspruchung dem Nutzungsgrad spezifizierter Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten durch bestimmte Belastungen entspricht. Hierfür ist eine konkrete Analyse der (Teil-)Belastungen sowie der individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten notwendig. Im Ausdauertraining kann der «klassische» Parameter Herzfrequenz sowohl als induktive als auch als deduktive Beanspruchungsgrösse verwendet werden: Als induktive Beanspruchungsgrösse, wenn eine maximale Trainingsherzfrequenz bspw. 130 S/min über 30 min. vorgegeben wird, und als deduktive Beanspruchungsgrösse, wenn die Herzfrequenz als Indikator für die Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems bei einer Ausdauerbelastung in energetisch individuell definierten Stufen, z.B. orientiert an der individuellen maximalen Herzfrequenz, der Herzfrequenzreserve oder der Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle (siehe exemplarisch Janssen, 2003) eingesetzt wird. Jedoch ist im Kontext von Training zu beachten, dass die Bestimmung einer Gesamt-Beanspruchung, ebenso wie eine Gesamt-Belastung, aus theoretischen und praktischen Gründen eher unrealistisch erscheint (Perl und Mester, 2001). Vielmehr kann auf die Berücksichtigung weiterer Teilbeanspruchungen verzichtet werden, wenn kumulierende Wirkungen ausgeschlossen werden können (Rohmert, 1983). Aus diesem Grund existieren auch in der Arbeitswissenschaft nur für Sonderfälle praktisch anwendbare Modelle der deduktiven Beanspruchungsermittlung, z.B. zur statischen Muskelarbeit (Rohmert, 1959) sowie zur dynamischen Fahrradergometerarbeit (Rohmert, 1960). In der Sportwissenschaft kann entsprechend die Trainingsgestaltung über das Laktat oder die Herzfrequenz als Prototyp einer deduktiven Beanspruchungsgrösse für den Muskelstoffwechsel im Ausdauertraining bezeichnet werden (Kindermann und Coen, 1998).

Im Krafttraining wird analog davon ausgegangen, dass zum einen durch die Bestimmung des Einer-Wiederholungs-Maximums (EWM, in Anlehnung an die englische Literatur auch als IRM oder One-Repetition-Maximum bezeichnet) bei dynamischer Muskelarbeit sowohl ein theoretisches Konstrukt als auch eine vollständige Analyse der (Teil-)Belastungen gegeben ist, so dass eine deduktive Beanspruchungsermittlung möglich ist (z. B. Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Ehlenz, Grosser & Zimmermann, 2003; Schlumberger & Schmidtbleicher, 2004; Seidenspinner, 2005; Weineck, 2007; Steinhöfer, 2008; Hottenrott & Neumann, 2010). Zum anderen wird davon ausgegangen, dass durch die Festlegung einer Trainingslast in Relation zum EWM kumulierende bzw. interagierende Wirkungen unterschiedlich beanspruchter (Teil-)Systeme entweder ausgeschlossen oder im theoretischen Konstrukt abgebildet sind.

Zu den bisherigen Ausführungen ist einschränkend festzuhalten, dass der Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung streng genommen nur für die Analyse von Handlungen ohne Handlungsspielraum gilt (Rohmert, 1983). Für selbstbestimmte sportliche Hand-

lungen bzw. Leistungen sind einfache Kausalketten jedoch nicht gegeben. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Beanspruchung der Leistungs- und Handlungsvariation unter Berücksichtigung individueller Freiheitsgrade in zumeist definierter Weise folgt (Bokranz und Landau, 1991). Dieser Sachverhalt wird im *erweiterten BBK*¹ (siehe Abb. 2) dahingehend berücksichtigt, dass Beanspruchungen nicht nur induktiv (engpassorientiert) oder deduktiv (modellorientiert), sondern ebenso aus Handlungs- und Leistungsdaten ermittelt werden können, so dass sich die folgenden «erweiterten» funktionalen Zusammenhänge ergeben (Rohmert, 1984):

«Handlung = g (Belastungen, Handlungskompetenz)»

«Beanspruchung = h (Belastungen, Handlungsvollzug, psychophysiologische Resistenz)»

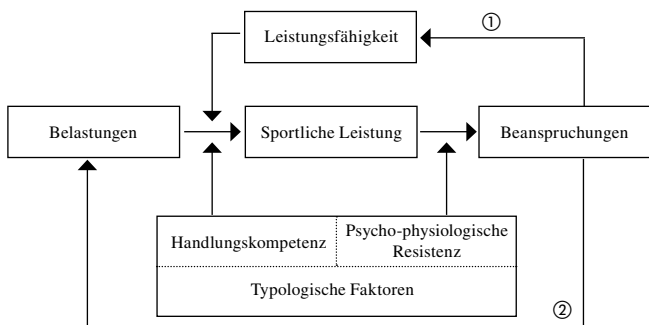


Abbildung 2: Das erweiterte trainingswissenschaftliche Belastungs-Beanspruchungskonzept unter Berücksichtigung der sportlichen Leistung (in Anlehnung an Rohmert, 1983, S. 14 und Büsch, 1993, S. 27).

Anmerkung: 1 = Rückwirkung von Beanspruchungseffekten innerhalb eines Trainings oder Wettkampfs, 2 = Rückwirkung von Beanspruchungseffekten innerhalb eines Meso-/Makrozyklus.

Entsprechend bewirkt ein Ausnutzen von Handlungsmöglichkeiten für realisierte Leistungen individuell unterschiedliche Beanspruchungen, die sich wiederum mit objektiv engpassorientierten physiologischen und biochemischen Indikatoren messen oder subjektiv skalieren lassen sollten (Rohmert, 1984). Einen entsprechenden Ansatz findet man bspw. in der ressourcenorientierten Beanspruchungstheorie von Olivier (2001), in der sich der Handlungsspielraum aus dem ziel- und aufgabenabhängigen Anspruchsniveau ergibt (Schönpflug, 1987).

Die Zielstellung der weiteren Ausführungen besteht in der Diskussion des funktionalen Zusammenhangs zwischen (Teil-)Belastungen und (Teil-)Beanspruchungen unter Berücksichtigung sportlicher Leistungen im Leistungssport ebenso wie im Schul-, Freizeit- und Gesundheitssport bei der Gestaltung eines Krafttrainings. Die damit gegebene substantielle Erweiterung des trainingswissenschaftlichen BBK ist auch mit trainingspraktischen Konsequenzen und Ausführungshinweisen für weitere Krafttrainingsstudien verbunden, die im Folgenden cursorisch dargestellt werden.

Einordnung des Einer-Wiederholungs-Maximums in das BBK

Für das «klassische» Krafttraining, das sich weitgehend an der Bestimmung des EWM orientiert, ist für die Trainingsgestaltung zu klären, ob das EWM eine deduktive Beanspruchungsgröße oder einen Leistungsparameter darstellt. Auf-

grund einer Vielzahl von empirischen Untersuchungen ist bei der Realisierung einer Kraftübung, z.B. beim Bankdrücken oder der Kniebeuge, davon auszugehen, dass differenzierte Teilsysteme, d.h. das neuro-muskuläre System, das hormonelle System, das metabolische System, das Skelettsystem usw. unterschiedlich beansprucht werden (zusammenfassend Baechle und Earle, 2008; Komi, 2003 u.a.). In Bezug auf das neuro-muskuläre System, das im Krafttraining eine exponierte Stellung einnimmt, ist hervorzuheben, dass dieses System bereits eine Zusammensetzung des Zentralnervensystems und des Muskelsystems darstellt, so dass entsprechende (Teil-)Beanspruchungen nicht ad hoc zu differenzieren sind. In Kenntnis unterschiedlicher (Teil-)Beanspruchungen erscheint es daher unrealistisch, dass es ein wissenschaftstheoretisch akzeptables Modell und eine hieraus deduktiv abgeleitete Beanspruchungsgröße für das Training der Einflussgröße Kraft gibt. Daraus folgt des Weiteren, dass kumulierende bzw. interagierende Wirkungen der unterschiedlichen (Teil-)Beanspruchungen und damit unterschiedlicher Systeme, auch der beiden genannten, nicht auszuschließen sind. Konsequenterweise können folglich Trainingsempfehlungen, die sich am EWM orientieren, keine deduktive Beanspruchungsgröße darstellen, sondern dokumentieren eine an der einmalig erbrachten individuellen sportlichen Leistung relativierte Belastungsgröße. Mit anderen Worten: Das EWM stellt nicht mehr, aber auch nicht weniger als die einmalig über die gesamte Bewegungsamplitude «gestemte» Last bei einer Krafttrainingsübung dar. Entsprechendes gilt dann konsequenterweise auch für das Mehr-Wiederholungs-Maximum (MWM) und daraus abgeleitete Lastangaben. Der Bezug zur Beanspruchung wird erst durch die Festlegung von Randbedingungen hergestellt: Ein Krafttraining mit 12 Wiederholungen und einer Last, die bspw. 80% des EWM entspricht, bewirkt nur in Verbindung mit einer Ausbelastung nach definierter Zeit eine hohe mechanische und metabolische Beanspruchung der anaeroben Energiebereitstellung und des Proteinstoffwechsels sowie der Aktivierung der Satellitenzellen (Cermak et al., 2013; Goto et al., 2005b; Ishii et al., 2012; Liu et al., 2007), so dass sich damit Hypertrophieeffekte respektive morphologische Anpassungen erzielen lassen. Führt die gleiche Belastung aufgrund personenspezifischer Voraussetzungen nicht zu einer Ausbelastung (Hackett et al., 2012), sind abweichende Anpassungsprozesse, z.B. spätere oder geringere Trainingseffekte zu erwarten. Demgegenüber bewirkt ein Krafttraining mit 3 Wiederholungen und bspw. 95% des EWM eine hohe neuro-muskuläre Beanspruchung mit funktionalen Anpassungen im Bereich der neuro-muskulären Koordination (NK), wenn als Rand- bzw. Ausführungsbedingung eine willentlich explosive Kraftentfaltung gegeben ist (Güllich und Schmidtbleicher, 1997; 1999; Heim und Schmidtbleicher, 2003; Schmidtbleicher, 1984; 2009; Zatsiorsky und Kraemer, 2006). Im Krafttraining spiegeln sich die Beanspruchungen in den unterschiedlichen Trainingszielen wider, wobei jedoch auch in einem Hypertrophietraining initiale Kraftverbesserungen durch funktionale Anpassungen (MacDougall, 2003; Moritani, 1994; Sale, 1988, 1994, 2003; Sampson et al., 2012) und beim NK-Training von Beginn an morphologische Anpassungen im Muskel auftreten können (DeFreitas et al., 2011). Dementsprechend sind sukzessive Beanspruchungseffekte unterschiedlicher (Teil-)Systeme beim Hypertrophietraining und simultane Beanspruchungseffekte unterschiedlicher (Teil-)Systeme beim NK-Training anzunehmen. Daraus folgt, dass als Trainingsparameter die für die jeweilige Zielsetzung

¹ Das erweiterte BBK wird in der arbeitswissenschaftlichen Literatur auch als differenziertes oder integriertes BBK bezeichnet.

erforderlichen Beanspruchungen verwendet werden müssen, die personenspezifisch und nicht pauschal an relativen Lasten zu bestimmen sind (Wernbom et al., 2007). Es ist mittlerweile empirisch sehr gut belegt, dass das EWM als Orientierungsgrösse für das Krafttraining nicht geeignet ist (Berschlin et al., 2010; Buskies und Boekh-Behrens, 1999; Carpinelli, 2011; Hackett et al., 2012; Hoeger et al., 1987; Hoeger et al., 1990; Kraemer und Fleck, 2007; LeSuer et al., 1997; Marschall und Fröhlich, 1999), da gleichen relativen Belastungen schon aufgrund unterschiedlich realisierter Wiederholungszahlen unterschiedliche Beanspruchungen zugeordnet werden können. Auch Wiederholungszahlen stellen eine Belastungsgrösse dar, die ohne die Angabe der Bewegungsfrequenz bzw. der Bewegungsdauer (meistens inkorrekt als Bewegungsgeschwindigkeit bezeichnet, siehe Fisher und Smith, 2012; Fisher et al., 2011) keine Rückschlüsse auf damit verbundene Beanspruchungen zulässt (Adami et al., 2011; Buitrago et al., 2012) und deshalb als Einzelparameter nicht geeignet ist, eine beanspruchungsorientierte Gestaltung des Krafttrainings zu unterstützen. Gleiches gilt auch für den Belastungsumfang (Last x Wiederholungszahl x Serien).

Spezifizierung von Belastungshöhe, Belastungsintensität und Beanspruchungsintensität

Ein Aspekt, der zu Schwierigkeiten beim Transfer des arbeitswissenschaftlichen BBK in die Trainingswissenschaft geführt hat, ergibt sich aus einer unterschiedlichen Terminologie für die Ausprägung der Belastung in beiden Wissenschaftsdisziplinen. Während in der Arbeitswissenschaft die Belastungshöhe als objektive Belastungsgrösse ausschliesslich über die absolute Last (engl. *load*) definiert ist, wird in der Trainingswissenschaft die an der individuellen Leistung relativierte Last als Belastungsintensität und gleichzeitig als einer der wichtigsten und zugleich kritischsten Aspekte im Krafttraining bezeichnet (Baechle und Earle, 2008; Fleck und Kraemer, 2004; Zatsiorsky und Kraemer, 2006 u.v.a.). Eine an der maximalen Leistung relativierte Last kann allenfalls als Beanspruchungsgrösse verstanden werden, wenn die Wirkung einer Belastung in Relation zu einem theoretischen Konstrukt, d.h. einer maximalen Ressourcenausschöpfung oder einem Schwellenkonzept beschrieben wird (Olivier, 2001). Intensität wird bspw. in der Psychologie als «Anstrengungsgrad» definiert (engl. *effort*, Fisher und Smith, 2012). Die gleiche Belastungshöhe kann demnach in Abhängigkeit von individuellen Voraussetzungen und unterschiedlichem Ressourceneinsatz zu unterschiedlichen (Beanspruchungs-) Intensitäten führen (Hackett et al., 2012). Bei Ausdauerbelastungen wird bspw. die Belastungshöhe über die Geschwindigkeit angegeben. In Abhängigkeit von der individuellen Maximalleistung repräsentieren 70% bei einer niedrigen Leistungsfähigkeit eine Leistung im Bereich der individuellen anaeroben Schwelle, jedoch bei einer hohen Leistungsfähigkeit eine Leistung im ausschliesslich regenerativen aeroben Bereich (Eisenhut und Zintl, 2013; Janssen, 2003; Shepherd und Astrand, 2000). Übertragen auf das Krafttraining stellt eine Belastungshöhe von 80% des individuellen Maximums für die Muskulatur der oberen Extremitäten eine Beanspruchung dar, die Hypertrophieeffekte auslöst, während sie für die unteren Extremitäten als Beanspruchung zur Verbesserung der Kraftausdauer zu werten ist (Buskies und Boekh-Behrens, 1999; Hoeger et al., 1990; Marschall und Fröhlich, 1999; Shimano et al., 2006). Die unterschiedlichen

Effekte resultieren aus den unterschiedlichen Belastungsdauern (Wiederholungszahlen), die mit einer Belastungshöhe von 80% des individuellen Maximums realisiert werden können. Die anpassungsauslösende Gesamtbeanspruchung ergibt sich somit nicht aus dem Produkt «Last x Wiederholungen», das in der Trainingswissenschaft als Belastungsumfang bezeichnet wird (Schnabel et al., 2008; Weineck, 2010 u.a.), sondern in Abhängig vom Leistungsniveau aus dem Grad der Beanspruchung unterschiedlicher Ressourcen, die für eine spezifische Kraftleistung erforderlich sind (Rhea, 2004). Fisher et al. (2011) definieren dies für das Krafttraining als die Anzahl der ausgeführten Wiederholungen in Relation zur Anzahl der möglichen (erschöpfenden) Wiederholungen (ebd., S. 148). In der Terminologie der Arbeitswissenschaft entspricht der Belastungsumfang dem Produkt «Belastungshöhe x Belastungsdauer», der folglich weder als Belastungsintensität noch als Beanspruchungsintensität bezeichnet werden kann (z.B. Pollmann, 1993; Pollmann und Willimczik, 1991).

Auch wenn in der Sportpraxis die einseitige Orientierung am EWM fälschlicherweise mit der Intensität gleichgesetzt wird, spiegelt das EWM und damit auch MWM ausschliesslich eine objektive Lastangabe wider, die allenfalls eine einfache Richtlinie für das Krafttraining darstellt, die zunehmend sowohl in der Sportwissenschaft als auch in der Sportpraxis kritisch gesehen wird (Carpinelli, 2012; z.B. Diemer und Sutor, 2007; Fisher et al., 2011; Kraemer und Fleck, 2007). Für ein effektives Krafttraining ist es daher unabdingbar, dass die Gesamtbelastung und nicht nur ausgewählte Teilbelastungen, wie sie in den traditionellen Belastungsgrössen Intensität, Dauer, Häufigkeit und Dichte repräsentiert sind (Toigo, 2006a, 2006b; Toigo und Boutellier, 2006) berücksichtigt werden, um Zielsetzungen und individuelle Beanspruchungen sinnvoll miteinander in Beziehung setzen zu können. Inwieweit die aktuell identifizierten Teilbelastungen eine Gesamtbelastung und damit auch alle krafttrainingsrelevanten (Teil-)Beanspruchungen erschöpfend abbilden können (Toigo und Boutellier, 2006), wird dennoch in weiterführenden theoretischen Überlegungen und empirischen Studien zu prüfen sein.

Teilbelastungen und Beanspruchung von Teilsystemen im Krafttraining

Die Beziehung von Belastung und Beanspruchung im Krafttraining wird in dem Beitrag von Toigo und Boutellier (2006) sowie Toigo (2006a, 2006b) anhand zweier Fragestellungen skizziert: (1) Welche mechanischen und biologischen Belastungen führen zu welchen zellulären und molekularen Reaktionen und (2) in welcher Beziehung stehen diese Reaktionen zu den strukturellen, kontraktilen und metabolischen Anpassungen. Die Autoren argumentieren, dass die herkömmlichen Beschreibungs- bzw. Belastungsgrössen nicht hinreichend sind, um unterschiedliche Effekte bzw. Anpassungen durch ein Krafttraining zu erklären. Beispielhaft wird am Vergleich zweier fiktiver Studien gezeigt, dass widersprüchliche Effekte eines Krafttrainings nicht erklärt werden können, wenn ausschliesslich die klassischen Belastungsgrössen Intensität (nach den obigen Ausführungen besser als Last oder Belastungshöhe zu bezeichnen), Wiederholungen und Häufigkeit (Serien) dokumentiert sind. Erst wenn weitere Parameter, z.B. die Einzelbewegungsdauer oder die Anspannungszeit zugleich betrachtet werden, können Unterschiede der Trainingsgestaltung offensichtlich und damit auch unterschiedliche

Effekte erklärt werden. Sie fordern deshalb die zusätzliche Berücksichtigung von Parametern, die ebenfalls anpassungsrelevante Beanspruchungen bewirken können (vgl. Abb. 1). Am Beispiel des Hypertrophietrainings wird erläutert, dass die Art der Muskelaktion, die Belastungsdauer als «time under tension» und die Pausen zwischen den Wiederholungen (intraserielle Pausen) sowie zwischen den Serien (interserielle Pausen) für unterschiedliche Beanspruchungen und damit unterschiedliche Anpassungseffekte verantwortlich sein können. Erst wenn wie in diesem Beispiel eindeutige Beziehungen zwischen Belastungsgrößen und Beanspruchungen von (Teil-)Systemen nachgewiesen werden können, ist die Grundlage für eine effektorientierte Trainingsgestaltung gegeben (zur Diskussion der Dosis-Wirkungs-Beziehung im Krafttraining siehe Peterson, Rhea und Alvar, 2004; 2005).

Zur Art und Bedeutung der Muskelaktionsform liegt eine Metaanalyse von Roig et al. (2009) vor, in der auf der Grundlage von 20 randomisiert kontrollierten Studien (*randomised controlled trials*, RCT) gezeigt wird, dass exzentrische im Vergleich zu konzentrischen Muskelaktionen zu deutlich höheren Effekten beim Kraftzuwachs, beim Muskelquerschnitt und der Bewegungsgeschwindigkeit führen. Die Detailanalyse verdeutlicht, dass im Einzelfall weitere spezifische Effekte auftreten, wie bspw. ein ausbleibender Transfer zwischen exzentrischen und konzentrischen Muskelaktionen in Bezug auf den Kraftzuwachs (Higbie et al., 1996; Raue et al., 2005). Bei der Übertragung dieser Befunde auf Bewegungsabläufe im traditionellen Krafttraining ist allerdings zu berücksichtigen, dass dort nicht von der Alternative exzentrischer versus konzentrischer Muskelaktion ausgegangen werden kann. Vielmehr enthält ein dynamisches Krafttraining innerhalb eines Bewegungszyklus immer exzentrische und konzentrische Anteile, so dass hier die Frage der zeitlichen Relation relevant ist. Verlängerte exzentrische Phasen werden bspw. in der medizinischen Trainingstherapie zur Effizienzsteigerung beim Hypertrophietraining empfohlen (Diemer und Sutor, 2007). Die exzentrische Belastung bewirkt Beanspruchungen des muskulären Systems, die als Auslöser der Proteinsynthese, der Aktivierung von Satellitenzellen und damit der Hypertrophie bewertet werden (Cermak et al., 2013; Goto et al., 2005b; Ishii et al., 2012; Kraemer und Häkkinen, 2002; Liu et al., 2007). Für die Gestaltung eines effekt- oder beanspruchungsorientierten Krafttrainings sind Angaben zur Muskelaktionsform bzw. zur Relation zwischen den Muskelaktionsformen beim dynamischen Krafttraining folglich ebenso unverzichtbar wie Interaktionen mit faserspezifisch unterschiedlichen Anpassungen (Cermak et al., 2013; Fisher et al., 2011).

Neben der Muskelaktionsform wird von Toigo und Boutellier (2006) als weiterer bedeutsamer Parameter die Belastungsdauer zur Erklärung von Krafttrainingseffekten herausgestellt. Ebenso wie im Kraftausdauertraining zielen Belastungen im Hypertrophietraining neben dem Proteinstoffwechsel auch auf einen hohen anaeroben Energieumsatz ab (Hollmann und Strüder, 2009; Nicolaus, 1995; Wirth et al., 2012). Die Belastungsdauer bei gegebener Bewegungsfrequenz entspricht dabei einem Zeitrahmen, in dem ein ausreichender anaerober Energieumsatz angenommen werden kann. Die in der Beschreibung herkömmlicher Trainingsmethoden zum Kraftausdauertraining (z.B. Güllich und Schmidtbleicher, 1999) angegebenen Belastungsgrößen können jedoch nur realisiert werden, wenn die Last über die Serien reduziert wird oder in Kauf genommen wird, dass bei konstanter Last die Anzahl der Wiederholungen und damit

die Belastungsdauer zurückgeht (Marschall, 2001). Bleibt bei reduzierter Last die Wiederholungszahl von Serie zu Serie und damit die Belastungsdauer konstant, kommt es zu einer deutlichen Verbesserung der Kraftausdauerleistung gegenüber einem Training mit konstanten Lasten und reduzierten Wiederholungszahlen (Marschall und Sieberger, 2003). In die gleiche Richtung weisen Befunde zur Hypertrophie, die in einer Übersichtsarbeit von Bird, Tarpeneing und Marino (2005) berichtet werden. Das Ausmass der Hypertrophie und die Verbesserung der Kraftausdauer beruhen demnach nicht unmittelbar auf der Last (Belastungshöhe) und der Belastungsdauer («time under tension» oder «TuT», Keeler et al., 2001; Tran et al., 2006; Westcott et al., 2001), sondern vielmehr auf der resultierenden Beanspruchung, die wiederum nur indirekt über die Belastungshöhe und Belastungsdauer abgeschätzt werden kann.

Ergänzend zur Beziehung zwischen Belastungshöhe und Belastungsdauer stellen Buitrago, Wirtz, Yue, Kleinöder und Mester (2012) in einer aktuellen Studie zu Beanspruchungseffekten unterschiedlicher Trainingslasten und des Ausführungsmodus fest, dass bei gegebener Last die Anzahl der Wiederholungen bis zur Erschöpfung von der gewählten «Bewegungsgeschwindigkeit» innerhalb einer Serie abhängt. Hierzu ist kritisch anzumerken, dass die Kontrolle der «Bewegungsgeschwindigkeit» nur bei isokinetischen Kraftgeräten gegeben ist. Da die Geschwindigkeit definiert ist als Weg durch Zeit und der Weg, d.h. die Bewegungsamplitude im Krafttraining selten bis gar nicht bestimmt wird, kann bestenfalls die Einzelwiederholungsdauer kontrolliert werden (Fisher und Smith, 2012; Fisher et al., 2011). Für Hypertrophie- als auch für neuronale und metabolische Trainingseffekte ist die Zeit bis zur Ausbelastung in Verbindung mit der mechanischen Beanspruchung relevant. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die belastungsorientierte Angabe von Lasten und Wiederholungszahlen durch die Kontrolle der Einzelwiederholungsdauer ergänzt werden muss, um spezifische Beanspruchungseffekte nachvollziehen zu können (Adami et al., 2011; Hunter et al., 2003; Mohamad et al., 2012; Pereira und Gomes, 2003; Tran et al., 2006; Westcott et al., 2001).

Im Kontext der Ausführungsdauer über eine Bewegungsamplitude ist zusätzlich zu den Überlegungen von Toigo und Boutellier (2006) die Bewegungsfrequenz, d.h. die unterschiedliche Anzahl von Wiederholungen bei gleicher Gesamtbelastungsdauer zu berücksichtigen. Allerdings sind die Befunde hierzu bis dato nicht eindeutig. Während Westcott et al. (2001) eine deutliche Überlegenheit des «Super Slow»-Trainings (4–6 Wiederholungen in 55–85 Sekunden gegenüber 8–12 Wiederholungen in gleicher Zeit) konstatieren, zeigen sich in einer Pilotstudie von Marschall und Büsch (2011) keine unterschiedlichen Trainingseffekte in Abhängigkeit von der Frequenz. Aufgrund der marginalen und widersprüchlichen empirischen Befundlage wird in weiteren Untersuchungen zu klären sein, inwiefern sich für die TUT durch die mit unterschiedlicher Frequenz verbundenen Beschleunigungs-Zeitverläufe bei unterschiedlichen Muskelaktionsformen und Einzelbewegungsdauern ergeben. Möglicherweise sind damit auch unterschiedliche neuronale und metabolische Beanspruchungen verbunden, die zu unterschiedlichen Effekten führen. Beispielsweise könnte bei niedrigen Bewegungsfrequenzen eine gleichmässige muskuläre Anspannung über die gesamte Bewegungsamplitude auftreten, wohingegen hohe Frequenzen, bedingt durch die Beschleunigungen mit unterschiedlichen Muskelanspannungen

in den Umkehrpunkten, aber nicht über die gesamte Bewegungsamplitude wirken könnten (für eine ausführliche Diskussion Johnston, 2005). Darauf deuten auch erste Ergebnisse einer Pilotstudie hin, die zeigen, dass bei einer Bewegungsdauer von 2 Sekunden (1 Sekunde exzentrisch, 1 Sekunde konzentrisch) die muskuläre Anspannungszeit (TuT) bei der Übung Standardkniebeuge im Vergleich zu einer Bewegungsdauer von 6 Sekunden (3 Sekunden exzentrisch, 3 Sekunden konzentrisch) um ca. 30% reduziert ist.

Der ebenfalls von Toigo und Boutellier (2006) thematisierte Einflussfaktor der intra- und interseriellen Pausendauer, d.h. der Belastungsdichte steht in enger Beziehung zu metabolischen und hormonellen Beanspruchungen und ist deshalb in Abhängigkeit vom Trainingsziel ebenfalls zu konkretisieren. Für eine intraserielle Pausendauer von 30 Sekunden nach 5 von 10 Wiederholungen eines Satzes finden Goto, Ishii, Kizuka und Takamatsu (2005a; siehe auch Ratamess et al., 2012) am Ende einer Trainingseinheit reduzierte Laktat-, Wachstumshormon-, Epinephrin- und Norepinephrin-Werte und stellen als Folge nach einem 12-wöchigen Training ein deutlich höheres EWM, isometrische Maximalleistung und Kraftausdauerleistung sowie einen gesteigerten Muskelquerschnitt bei einem Training ohne intraserielle Pause fest. Inwiefern sich eine Verteilung der intraseriellen Pause nach jeder Wiederholung innerhalb eines Satzes auswirkt, wird in weiteren Studien ebenfalls zu prüfen sein. Gegenüber den intraseriellen Pausendauern liegen zu den interseriellen Pausendauern sowohl Befunde zur unmittelbaren Beanspruchung als auch zu den sich daraus ergebenden Trainingseffekten vor. Aufgrund der jeweils unterschiedlichen metabolischen und hormonellen Beanspruchungen sind interserielle Pausendauern von 3–5 Minuten zur Maximalkraftsteigerung, solche von 1–2 Minuten zur Hypertrophie und solche von 30–60 Sekunden zur Verbesserung der Kraftausdauer geeignet (Bird et al., 2005). Des Weiteren werden in weiterführenden Studien auch Cluster-Trainingsmethoden zu berücksichtigen sein, die durch unterschiedliche Pausendauer und Lasten innerhalb einer Serie gekennzeichnet sind (Haff et al., 2003).

Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegenden Befunde zur Bedeutung der Parameter Muskelaktion, Einzelwiederholungsdauer, Bewegungsfrequenz sowie inter- und intraserielle Pausen lassen den Schluss zu, dass die Belastungshöhe, die in herkömmlichen Trainingsempfehlungen als relative Last des EWM oder als Wiederholungshäufigkeit angegeben ist (Güllich und Schmidtbleicher, 1999; Hohmann et al., 2010; Schnabel et al., 2008), einer «beanspruchungsorientierten» Revision bzw. Ergänzung unterzogen werden muss. Ein erster Hinweis zu dieser Sichtweise findet sich u.a. bei Heim und Schmidtbleicher (2003), die für Kraftausdauer- und Hypertrophietraining Wiederholungszahlen bei gegebenen Lasten in Zusammenhang mit Zeiträumen der Ausbelastung angeben (vgl. auch Diemer und Sutor, 2007). Adami, Eichmann und Giessing (2011) weisen in ihrer Zusammenfassung ebenfalls darauf hin, dass Wiederholungszahlen ohne Angabe von weiteren Parametern mit unterschiedlichen Belastungsdauern und damit auch unterschiedlichen Beanspruchungssituationen verbunden sein können und deshalb zusammen mit der Belastungshöhe als hinreichende Gestaltungsgrößen für das Krafttraining wenig geeignet sind. Die Angabe eines Mehr-

wiederholungsmaximums kann bereits als erster Schritt zu einer beanspruchungsorientierten Trainingsgestaltung betrachtet werden, beinhaltet diese Angabe doch zumindest das Ausbelastungskriterium und berücksichtigt damit, dass die Beanspruchung, im Fall der Hypertrophie die hohe mechanische und metabolische Beanspruchung und nicht eine am EWM orientierte und festgelegte Last die «eigentliche» Regelgröße im Krafttraining darstellt. Für das beanspruchungsorientierte Training bedeutet dies, dass Belastungshöhe und Belastungsdauer bzw. Last und Wiederholungsanzahl danach auszurichten sind, dass in gegebener Zeit eine Ausbelastung der Muskulatur erreicht wird. Im Konkreten bedeutet dies: Hypertrophieeffekte werden erzielt, wenn in einem Zeitraum von 40 bis maximal 60 Sekunden eine erschöpfende Beanspruchung ausgelöst wird, unabhängig davon, ob dies mit 40, 60 oder 80% des EWM oder mit 5, 10 oder 15 Wiederholungen geschieht. Die Wirkung der Belastungshöhe variiert mit personenspezifischen Eigenschaften und Fähigkeiten, die Wiederholungshäufigkeit resultiert aus der Dauer der Einzelwiederholung bzw. der Bewegungsfrequenz. Entsprechend lässt sich dies auf das neuro-muskuläre Koordinationstraining und das Kraftausdauertraining übertragen. Es wäre allerdings verfrüht, konkrete Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung der 13 bei Toigo und Boutellier (2006) aufgestellten Parameter zu formulieren. Dazu liegen zu einigen dieser Größen noch keine empirischen Evidenzen vor. Dies gilt bspw. für die Anspannungszeit (*time under tension*, TuT oder *time to muscular failure*, TmT), die erst in wenigen Trainingsdesigns Berücksichtigung gefunden hat. Auch die Bedeutung der intraseriellen Pause (*rest-in-between-repetitions*) insbesondere in Verbindung mit der Anspannungszeit für die unterschiedlichen Ziele des Krafttrainings ist bisher nicht hinreichend geklärt. So gibt es Hinweise dafür, dass sich die physiologischen Beanspruchungen in Abhängigkeit von der Muskelarbeitsweise (dynamisch vs. statisch) bei gleicher Anspannungsdauer unterscheiden (Vedsted et al., 2006). Neben der grundsätzlichen Orientierung an beanspruchungsrelevanten Gestaltungsgrößen besteht die Aufgabe zukünftiger Untersuchungen darin, die Bedeutung der als relevant bezeichneten Belastungsgrößen weiter zu differenzieren respektive zu konkretisieren.

Es liegt bis dato kein Ansatz vor, der die im Beitrag aufgeführten Parameter im Hinblick auf Empfehlungen zur Gestaltung des Krafttrainings systematisch zusammenführt. Dieser Mangel ist offensichtlich der Tatsache geschuldet, dass entsprechende Standards zur Dokumentation der verwendeten Belastungsparameter sowie zur systematischen Krafttrainingsgestaltung in Trainingsstudien fehlen und damit die eindeutige Interpretation von Trainingseffekten erschwert wird. Deshalb wäre zunächst zu fordern, dass solche Dokumentationsstandards formuliert werden, die die von Toigo und Boutellier (2006) aufgeführten und im Beitrag erläuterten Belastungsgrößen vollständig enthalten. Studien, die diese Standards nicht erfüllen, könnten konsequenterweise mit entsprechenden Überarbeitungshinweisen zurückgewiesen werden. Die an zahlreichen Stellen insbesondere in der Ausbildung von Übungsleitern, Trainern sowie in Ausbildungsgängen an Hochschulen (Physiotherapie, Sportwissenschaft) transportierten traditionellen Handlungsempfehlungen zum Krafttraining sollten verändert oder zumindest ergänzt werden. Primär betrifft dies die bislang über die Wiederholungszahl operationalisierte Belastungsdauer. Für das zielgerichtete beanspruchungsorientierte Training sind die Angaben Dauer der Einzelwiederholung und Dauer der intra- und in-

terseriellen Pause zwingend erforderlich. In der medizinischen Trainingstherapie wird dies durch die Angaben der Dauer der Bewegungsphasen teilweise schon standardmäßig realisiert (3–0–3: 3 Sekunden für die exzentrische, 3 Sekunden für die konzentrische Phase, ohne Pause im Umkehrpunkt; vgl. Diemer & Sutor, 2007). Als einfache und auch schon praktizierte Möglichkeit bietet sich hierfür die Verwendung eines digitalen Metronoms an, jedoch ist perspektivisch eine technische Unterstützung (Soft- und Hardware) anzustreben, die bspw. eine akustische und visuelle Kontrolle der Einzelwiederholungsdauer, der Pausenlänge, der subjektiven Beanspruchung sowie die vollständige Erfassung der diskutierten Parameter im Krafttraining sicher stellt². Konkrete Handlungsempfehlungen für die Trainingspraxis lassen sich aufgrund der bestehenden Befundlage noch nicht formulieren. Für die Trainingsdurchführung wird es allerdings als sinnvoll erachtet, die beschriebenen Parameter nicht nur vorgeben, sondern auch möglichst vollständig zu dokumentieren. Die Bewertung von Trainingseffekten sollte dadurch unterstützt und letztlich auch erheblich erleichtert werden.

Korrespondenzadresse:

Dr. Franz Marschall, Sportwissenschaftliches Institut,
Universität des Saarlandes, 66041 Saarbrücken
Fon +49 681 302 4173,
E-Mail: f.marschall@mx.uni-saarland.de

Literatur

Adami R., Eichmann B., Gießing J. (2011): Bewegungsgeschwindigkeiten und Time under Tension beim Einsatz- und Mehrsätzentraining. *Leistungssport*. 41: 26–29.

Baechle T.R., Earle R.W. (Eds.). (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics, Champaign, 3rd edition.

Berschlin G., Günther J., Sommer H.-M. (2010): Zum Zusammenhang zwischen der Belastungsintensität und der Zahl der Wiederholungen beim Krafttraining. *Leistungssport*. 40: 21–23.

Bird S.P., Tarpenning K.M., Marino F.E. (2005): Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med*. 35: 841–851.

Bokranz R., Landau K. (1991): Einführung in die Arbeitswissenschaft – Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen. UTB, Stuttgart.

Bompa T.O., Haff G.G. (2009): *Periodization. Theory and methodology of training*. Human Kinetics, Champaign, IL, 5th edition.

Buitrago S., Wirtz N., Yue Z., Kleinöder H., Mester J. (2012): Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol*. 112: 2739–2748.

Büsch D. (1993): Zum Einfluss von Ausdauerbelastungen auf das «allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau» und das sportmotorische Lernen. Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main.

Buskies W., Boekh-Behrens W.-U. (1999): Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport*. 29: 4–8.

Carl K. (1984). *Trainingswissenschaft*. In: Handbuch Sport. Bd. 1, K. Carl, D. Kayser und H. Mechling (Hrs.), Schwann, Düsseldorf, 1984, S. 135–164.

Carpinelli R.N. (2011): Assessment of one repetition maximum (1RM) and 1RM prediction equations: Are they really necessary? *Medicina Sportiva*. 15: 91–102.

Carpinelli R.N. (2012): Critical review of a meta-analysis for the effect of single and multiple sets of resistance training on strength gains. *Medicina Sportiva*. 16: 122–130.

Cermak N.M., Snijders T., McKay B.R., Parise G., Verdijk L.B., Tarnopolsky M.A., Gibala M.J., van Loon L.J. (2013): Eccentric exercise increases

satellite cell content in type II muscle fibers. *Med. Sci. Sports Exerc*. 45: 230–237.

DeFreitas J.M., Beck T.W., Stock M.S., Dillon M.A., Kasishke II P.R. (2011): An examination of the time course of training-induced skeletal muscle hypertrophy. *Eur. J. Appl. Physiol*. 111: 2785–2790.

Diemer F., Sutor V. (2007): *Praxis der medizinischen Trainingstherapie*. Thieme Verlag, Stuttgart.

Eisenhut A., Zintl F. (2013): *Ausdauertraining*. BLV, München, 8. Aufl.

Fisher J., Smith D. (2012): Attempting to better define «intensity» for muscular performance: is it all wasted effort? *Eur J Appl Physiol*. 112: 4183–4185.

Fisher J., Steele J., Bruce-Low S., Smith D. (2011): Evidence based resistance training recommendations. *Medicina Sportiva*. 15: 147–162.

Fleck S.J., Kraemer W.J. (2004): *Designing resistance training programs*. Human Kinetics, Champaign, 3rd edition.

Goto K., Ishii N., Kizuka T., Takamatsu K. (2005a): The Impact of Metabolic Stress on Hormonal Responses and Muscular Adaptations. *Med. Sci. Sports Exerc*. 37: 955–963.

Goto K., Ishii N., Kizuka T., Takamatsu K. (2005b): The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med. Sci. Sports Exerc*. 37: 955–963.

Güllich A., Schmidtbleicher D. (1997): Kurzfristige Explosivkraftsteigerung durch maximale willkürliche Kontraktionen. *Leistungssport*. 27: 46–49.

Güllich A., Schmidtbleicher D. (1999): Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeit. Sportmed*. 50: 223–234.

Hackett D.A., Johnson N.A., Halaki M., Chow C.-M. (2012): A novel scale to assess resistance-exercise effort. *J. Sports Sci*. 30: 1405–1413.

Haff G.G., Hobbs R.T., Haff E.E., Sands W.A., Pierce K.C., Stone M.H. (2008): Cluster training: A novel method for introducing training program variation. *Strength Cond. J*. 30: 67–76.

Heim C., Schmidtbleicher D. (2003). *Krafttrainingssteuerung*. Verfügbar unter <http://www.bewegung-und-training.de>.

Higbie E.J., Cureton K.J., Warren G.L. (1996): Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J. Appl. Physiol*. 81: 2173–2181.

Hoeger W.K., Barette S.L., Hale D.F., Hopkins D.R. (1987): Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *J. Appl. Sports Sci. Res*. 1: 11–13.

Hoeger W.K., Hopkins D.R., Barette S.L., Hale D.F. (1990): Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *J. Appl. Sports Sci. Res*. 4: 47–54.

Hohmann A., Lames M., Letzelter M. (2010): Einführung in die Trainingswissenschaft. Limpert Verlag, Wiebelsheim, 5. Auflage.

Hollmann W., Strüder H.K. (2009): *Sportmedizin*. Schattauer, Stuttgart, 5. Auflage.

Hottenrott K., Neumann G. (2010): *Trainingswissenschaft*. Meyer & Meyer, Aachen.

Hunter G.R., Seelhorst D., Snyder S. (2003): Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *J. Strength Cond. Res*. 17: 76–81.

Ishii N., Ogasawara R., Kobayashi K., Nakazato K. (2012): Roles played by protein metabolism and myogenic progenitor cells in exercise-induced muscle hypertrophy and their relation to resistance training regimens. *J. Phys. Fit. Sports Med*. 1: 83–94.

Janssen P.G.J.M. (2003): *Ausdauertraining*. Spitta Verlag, Balingen.

Johnston B.D. (2005): Moving too rapidly in strength training will unload the muscles and limit full range strength development adaptation. *J. Exerc. Physiol*. 8: 34–45.

Keeler L.K., Finkelstein L.H., Miller W., Fernhall B. (2001): Early-phase adaptations of traditional-speed vs. superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J. Strength Cond. Res*. 15: 309–314.

Kindermann W., Coen B. (1998). *Aerob-anaerobe Schwellenkonzeption zur Trainingssteuerung*. In: Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Energetische Aspekte, D. Jeschke und R. Lorenz (Hrs.), Sport und Buch Strauss, Köln, 1998, S. 37–47.

Komi P.V. (2003): *Strength and power in sport*. Blackwell, Oxford, 2. edition.

Kraemer W.J., Fleck S.J. (2007): *Optimizing strength training*. Human Kinetics, Champaign, IL.

Kraemer W.J., Häkkinen K. (2002): *Strength Training for Sport*. Blackwell Publishing, Garsington.

LeSuer D., McCormick J., Mayhew J., Wasserstein R., Arnold M. (1997): The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *J. Strength Cond. Res*. 11: 211–213.

Liu Y., Gampert L., Prokopchuk O., Steinacker J.M. (2007): Satellitenzellaktivierung beim Krafttraining. *Deutsche Zeit. Sportmed*. 58: 6–11.

² Ein entsprechendes Software-Tool, mit dem alle Variablen inkl. des subjektiven Beanspruchungsempfindens erfasst und für weitere Auswertungen exportiert werden können, kann bei den Autoren via E-Mail angefordert werden.

- MacDougall J.D. (2003). Hypertrophy or hyperplasia. In: *Strength and Power in Sport* (2 ed.), P.V. Komi (Ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 2003, S. 252–264.
- Marschall F., Büsch D. (2011). Standardisierte Erfassung von Parametern zur Steuerung des Krafttrainings. In: *Kreativität-Innovation-Leistung. Wissenschaft bewegt Sport bewegt Wissenschaft*. 20.dvs-Hochschultag.Halle. 21.–23. September 2011. Abstracts. K. Hottenrott, O. Stoll und R. Wollny (Hrs.), Czwalina, Hamburg, 2011, S. 304.
- Marschall F., Fröhlich M. (1999). Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. *Deutsche Zeit. Sportmed.* 50: 311–315.
- Marschall F., Sieberger J. (2003). Trainingseffekte im Kraftausdauertraining – zur Überprüfung der Wirkung unterschiedlicher Belastungsumfänge. *Leistungssport*. 33: 19–22.
- Mohamad N.I., Cronin J.B., Nosaka K.K. (2012). Difference in kinematics and kinetics between high- and low-velocity resistance loading equated by volume: Implications for hypertrophy training. *J. Strength Cond. Res.* 26: 269–275.
- Moritani T. (1994). Die zeitliche Abfolge von Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In: *Kraft und Schnellkraft im Sport*, P.V. Komi (Hr.), Deutscher Ärzte Verlag, Köln, 1994, S. 266–276.
- Nicolaus J. (1995). Kraftausdauer als Erscheinungsform des Kraftverhaltens. *Sport und Buch Strauß, Köln*.
- Olivier N. (1991a). Techniktraining und konditionelle Belastungen, 1. Teil. *Sportpsychologie*. 5: 21–26.
- Olivier N. (1991b). Techniktraining und konditionelle Belastungen, 2. Teil. *Sportpsychologie*. 5: 26–30.
- Olivier N. (2000). Techniktraining unter konditioneller Belastung. *Hofmann, Schorndorf*.
- Olivier N. (2001). Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft*. 31: 437–453.
- Olivier N., Marschall F., Büsch D. (2008). Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. *Hofmann-Verlag, Schorndorf*.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R. & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J. Strength Cond. Res.* 18: 377–382.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R. & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: A review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J. Strength Cond. Res.* 19: 950–958.
- Pereira M.I.R., Gomes P.S.C. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Med.* 33: 427–438.
- Perl J., Mester J. (2001). Modellgestützte und statistische Analyse der Wechselwirkung zwischen Belastung und Leistung. *Leistungssport*. 31: 5463.
- Pollmann D. (1993). Muskuläre Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings. *Sport und Buch Strauß, Köln*.
- Pollmann D., Willimczik K. (1991). Zur Möglichkeit der Beanspruchungsanalyse im Krafttraining anhand elektromyographischer Kennwerte. In: *Leistungssport: Herausforderung für die Sportwissenschaft*, M. Bührle und M.H. Schurr (Hrs.), Hofmann, Schorndorf, 1991, S. 384–396.
- Ratamess N.A., Chiarello C.M., Sacco A.J., Hoffman J.R., Faigenbaum A.D., Ross R.E., Kang J. (2012). The effects of rest interval length on acute bench press performance: the influence of gender and muscle strength. *J. Strength Cond. Res.* 26: 1817–1826.
- Raue U., Terpstra B., Williamson D.L. (2005). Effects of short-term concentric vs. eccentric resistance training on single muscle fiber MHC distribution in humans. *Int. J. Sports Med.* 26: 339–343.
- Rohmert W. (1959). Ermittlung von Erholungsphasen für statische Arbeit des Menschen. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschliesslich Arbeitsphysiologie*. 18: 123–164.
- Rohmert W. (1960). Zur Theorie der Erholungsphasen bei dynamischer Arbeit. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschliesslich Arbeitsphysiologie*. 18: 191–212.
- Rohmert W. (1983). Formen menschlicher Arbeit. In: *Praktische Arbeitsphysiologie* W. Rohmert und J. Rutenfranz (Hrs.), Thieme, Stuttgart, 1983, S. 5–29.
- Rohmert W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeit. Arbeitswiss.* 38: 193–200.
- Roig M., O'Brien K., Kirk G., Murray R., McKinnon P., Shadgan B., Reid W.D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 43: 556–568.
- Sale D.G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20: 135–145.
- Sale D.G. (1994). Neurale Adaptation im Verlaufe eines Krafttrainings. In: *Kraft und Schnellkraft im Sport*, P.V. Komi (Hr.), Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1994, S. 248–265.
- Sale D.G. (2003). Neural adaptation to strength training. In: *Strength and Power in Sport*, P.V. Komi (Ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 2003, S. 281–314, 2nd edition.
- Sampson J.A., McAndrew D., Donohoe A., Jenkins A., Groeller H. (2012). The effect of a familiarisation period on subsequent strength gain. *J. Sports Sci.* 31: 204–211.
- Schmidtbleicher D. (1984). Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Lehre der Leichtathletik*. 35: 1785–1792.
- Schmidtbleicher D. (2009). Entwicklung der Kraft und der Schnelligkeit. In: *Handbuch Motorische Entwicklung*, J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann und R. Singer (Hrs.), Verlag Karl Hofmann, Schorndorf, 2009, S. 149–166.
- Schnabel G., Harre H.-D., Krug J. (Hrs.). (2008). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft*. Meyer & Meyer, Aachen, 2. Auflage.
- Schönpluff W. (1987). Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit – Konzepte und Theorien. In: *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie* Vol. Bd. 1, U. Kleinbeck und J. Rutenfranz (Hrs.), Hogrefe, Göttingen, 1987, S. 130–184.
- Shepherd R.J., Astrand P.-O. (Eds.). (2000). *Endurance in sport*. Blackwell Sciences, Oxford, 2nd edition.
- Shimano T., Kraemer W.J., Spiering B.A., Volek J.S., Hatfield D.L., Silvestre R., Vingren J.L., Fragala M.S., Maresh C.M., Fleck S.J., Newton R.U., Spreuwenberg L.P.B., Häkkinen K. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *J. Strength Cond. Res.* 20: 819–823.
- Toigo M. (2006a). Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation Teil 1: Einleitung und Längenadaptation. *Schweiz. Zeit. Sportmed. Sporttraumatol.* 54: 101–107.
- Toigo M. (2006b). Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation – Teil 2: Adaptation von Querschnitt und Fasertypusmodulen. *Schweiz. Zeit. Sportmed. Sporttraumatol.* 54: 121–132.
- Toigo M., Boutellier U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*. 97: 643–663.
- Tran Q., Docherty D., Behm D. (2006). The effects of varying time under tension and volume load on acute neuromuscular responses. *Eur. J. Appl. Physiol.* 98: 402–410.
- Vedsted P., Blangsted A.-K., Sjøgaard K., Orizio C., Sjøgaard G. (2006). Muscle tissue oxygenation, pressure, electrical, and mechanical responses during dynamic and static voluntary contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96: 165–177.
- Weineck J. (2010). *Optimales Training*. Spitta Verlag, Balingen, 16. Auflage.
- Wernbom M., Augustsson J., Thomeé R. (2007). The Influence of Frequency, Intensity, Volume and Mode of Strength Training on Whole Muscle Cross-Sectional Area in Humans. *Sports Med.* 37: 225–264.
- Westcott W.L., Winett R.A., Anderson E.S., Wojcik J.R., Loud R.E.R., Clegg E., Glover S. (2001). Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 41: 154–158.
- Willimczik K., Daus R., Olivier N. (1991). Belastung und Beanspruchung als Einflussgrößen der Sportmotorik. In: *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung*, N. Olivier und R. Daus (Hrs.), Clausthal-Zellerfeld, 1991, S. 2–28.
- Wirth K., Hartmann H., Keiner M., Sander A. (2012). Training der speziellen Kraft, funktionelles und spezifisches Krafttraining – Eine kritische Betrachtung. *Leip. Sportwissen. Beitr.* LIII: 45–72.
- Zatsiorsky V.M., Kraemer W.J. (2006). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics, Champaign, IL, 2. edition.