

Ökonomische Überlegungen zum sportlichen Training  
unter besonderer Berücksichtigung der Krafttrainingsforschung

Kumulative Habilitationsschrift

von

Dr. phil. Michael Fröhlich



Universität des Saarlandes

Fakultät 5 – Philosophische Fakultät III

Empirische Humanwissenschaften

**Zuwachs an Erkenntnis  
ist Zuwachs an Unruhe.**

Johann Wolfgang von Goethe

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                                                                                                                |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>Einleitung und Aufbau der Arbeit.....</i></b>                                                                                                                            | <b>6</b>  |
| 1.1      | <i>Theoretische Einbindung und Verortung.....</i>                                                                                                                              | 6         |
| 1.2      | <i>Thematischer Aufbau und Struktur der Arbeit.....</i>                                                                                                                        | 13        |
| <b>2</b> | <b><i>Gegenstand der Trainingswissenschaft – das sportliche Training .....</i></b>                                                                                             | <b>18</b> |
| <b>3</b> | <b><i>Trainingswissenschaft ökonomisch betrachtet – theoretische Verortung und Modellentwicklung .....</i></b>                                                                 | <b>23</b> |
| <b>4</b> | <b><i>Befundintegration in der Trainingswissenschaft – exemplarisch dargestellt anhand von Metaanalysen im Bereich der Krafttrainingsforschung.....</i></b>                    | <b>29</b> |
| 4.1      | <i>Metaanalyse als quantitatives Verfahren der Befundintegration.....</i>                                                                                                      | 29        |
| 4.1.1    | <i>Garbage in und garbage out Argument .....</i>                                                                                                                               | 32        |
| 4.1.2    | <i>Apples and oranges Argument.....</i>                                                                                                                                        | 33        |
| 4.1.3    | <i>Publication bias bzw. file drawer bias Argument.....</i>                                                                                                                    | 34        |
| 4.1.4    | <i>Statistische Unabhängigkeit.....</i>                                                                                                                                        | 35        |
| 4.2      | <i>Metaanalyse zur Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik im Krafttraining .....</i>                                                                                        | 37        |
| 4.3      | <i>Metaanalyse zur optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining.....</i>                                                                                                     | 42        |
| 4.4      | <i>Metaanalyse zur Trainingsperiodisierung im Krafttraining.....</i>                                                                                                           | 46        |
| <b>5</b> | <b><i>Übergreifende Anwendungsbeispiele für ökonomische Überlegungen in der Trainingswissenschaft.....</i></b>                                                                 | <b>50</b> |
| 5.1      | <i>Zur optimalen Serienanzahl im Bereich des Kraftausdauertrainings .....</i>                                                                                                  | 50        |
| 5.2      | <i>Zur Effektivität der Intensitätstechniken Vorer müdung bzw. Nachermüdung und Verbundsatz im Krafttraining.....</i>                                                          | 53        |
| 5.3      | <i>Zum Einfluss der drei Disziplinen im olympischen Triathlon.....</i>                                                                                                         | 57        |
| <b>6</b> | <b><i>Zur statistischen Signifikanz und praktischen Relevanz von Outcome-Effekten und deren Beurteilung – exemplarisch dargestellt in der Krafttrainingsforschung.....</i></b> | <b>62</b> |
| <b>7</b> | <b><i>Fazit und Ausblick.....</i></b>                                                                                                                                          | <b>65</b> |
|          | <i>Literatur der Synopsis .....</i>                                                                                                                                            | 67        |

---

|                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Anhang.....</b>                                                                                                                                          | <b>87</b> |
| <i>Anhang 1: Exemplarische Kodierliste .....</i>                                                                                                            | <i>87</i> |
| <i>Anhang 2: PEDro Kriterien zur Bewertung methodischer Qualität<br/>(modif. n. den Richtlinien des Centre for Evidence Based Physiotherapy, 1999).....</i> | <i>89</i> |
| <b>Beiträge I bis XIII in thematischer Reihenfolge.....</b>                                                                                                 | <b>90</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Abb. 1: Entscheidungshilfe für die Auswahl einer geeigneten Intervention (modifiziert n. Patry &amp; Perre , 1982, S. 407) .....</i>                                                                                                                                                                     | <i>10</i> |
| <i>Abb. 2: Übersicht der zu Grunde liegenden Publikationen.....</i>                                                                                                                                                                                                                                         | <i>15</i> |
| <i>Abb. 3: Schematische Darstellung des Zusammenhangs von aktueller Funktionskapazität A, B und C der Funktionsreserve als Differenz von Funktionskapazität und aktueller Beanspruchung und der maximalen Funktionskapazität mit der Anpassungsreserve (modifiziert n. Martin et al., 1993, S. 96).....</i> | <i>25</i> |
| <i>Abb. 4: Funktionsmodell von Anpassungskapazität und Grenzertrag (modifiziert n. Fröhlich et al., 2008a, S. 43).....</i>                                                                                                                                                                                  | <i>26</i> |
| <i>Abb. 5: Überblick zu Literaturbefundintegrationsverfahren (n. Biddle, 2006, S. 98).....</i>                                                                                                                                                                                                              | <i>31</i> |
| <i>Abb. 6: Rangplätze der 20 besten Athleten (herausgestellt der 1. und 20. im Gesamtklassement bei den Weltmeisterschaften 2006 in Lausanne; siehe Fröhlich et al., 2008a, S. 45).....</i>                                                                                                                 | <i>59</i> |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tab. 1: Trainingshäufigkeit in Abhängigkeit vom Trainingszustand der Probanden (n. Baeckle et al., 2008, S. 389).....</i>                  | <i>42</i> |
| <i>Tab. 2: Classic strength/power periodization model (n. Fleck &amp; Kraemer, 2004, S. 214).....</i>                                         | <i>47</i> |
| <i>Tab. 3: Alternating accumulation and intensification phases for strength development (n. Poliquin, 1988, S. 35).....</i>                   | <i>47</i> |
| <i>Tab. 4: Reizkonfiguration der Trainingsmethode zur Entwicklung der Kraftausdauer (n. Güllich &amp; Schmidtbleicher, 1999, S. 232).....</i> | <i>51</i> |
| <i>Tab. 5: Scale for determining the magnitude of effect sizes in strength training research (n. Rhea, 2004a, S. 919).....</i>                | <i>64</i> |

# 1 Einleitung und Aufbau der Arbeit

## 1.1 Theoretische Einbindung und Verortung

Im Rahmen der nachfolgenden Ausführungen wird versucht, die Aspekte des Trainings, des Trainingsprozesses sowie allgemein von Trainingsinterventionen und deren Implikationen wie sie für das Verständnis dieser Arbeit grundlegend sind, in einem sozialwissenschaftlichen, ökonomischen Kontext zu verorten, und dies unter der Prämisse, dass Training und Trainingsprozesse in weiten Teilen im sozialen Raum stattfinden und nicht isoliert betrachtet werden können. Darüber hinaus soll das Verständnis von Trainingsprozessen durch eine ökonomische Perspektive, exemplarisch dargestellt an den verschiedenen Beiträgen, erweitert werden. Partiiell wird hierzu das Selbstverständnis der Trainingswissenschaft, d. h. der handelnden Interakteure sowie deren wissenschaftstheoretische Position diskutiert. In diesem Kontext ist zwischen den idealtypischen Kategorien Wissenschaft (Trainingswissenschaft) als Idee und Wissenschaft als Betrieb zu differenzieren, wohlwissend, dass die Wissenschaft als Idee das Fundament für die Wissenschaft als Betrieb darstellt (Paris, 2001).

Im Gesundheits-, Bildungs-, Wirtschafts- und Sozialversicherungswesen sowie in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen wie Pädagogik, Soziologie, Rechtswissenschaften, Ingenieurwissenschaften sowie in verschiedenen Anwendungsfeldern, z. B. Ehe, Familie, Recht, Umwelt, Kunst und Politik wurden Entscheidungen und ihre Auswirkungen mittels der Ökonomik analysiert und interpretiert (Becker, 1993; Bernholz & Breyer, 1994; Frey, 1990; Kirchgässner, 2000; Pommerehne & Frey, 1993; Stehr, 2001). Inwieweit wir uns aktuell in einer Phase der Vorrangigkeit ökonomischer Ansätze und Sichtweisen, gemeinhin extrem verkürzend als Ökonomisierung gekennzeichnet, in nahezu allen Gesellschaftsbereichen befinden, kann an dieser Stelle nicht abschließend diskutiert werden (Frey, 1990; Mankiw, 2004). Festzustellen bleibt, dass die Ökonomik als Methode Einzug in viele Wissenschaftsdisziplinen gehalten hat, so auch in die Sozialwissenschaften<sup>1</sup> (Frey, 1990; Homann & Suchanek, 2005; Stehr, 2001).

Die Sozialwissenschaften versuchen im Sinne des methodologischen Individualismus menschliches<sup>2</sup> Verhalten und Handeln auf individueller Ebene und dadurch bedingte Effekte auf kollektiver Ebene sowie die möglichen Interdependenzen zu beschreiben und zu erklären. Im Weberschen Sinn ist die Ökonomik eine wertfreie Wissenschaft, in der das Sein vom Sollen getrennt wird (Kirchgässner, 2006; Weber, 2002 [1919]). Das Verhalten des Individuums wird im Sinne des *homo oeconomicus* bei gegebener Ressourcenknappheit und unter Beachtung von Opportunitätskosten im Wesentlichen durch Präferenzen

---

<sup>1</sup> Nach Homann und Suchanek (2005, S. 29) ist Ökonomik eine Sozialwissenschaft.

<sup>2</sup> Verbum hoc 'si quis' tam masculos quam feminas complectitur (Corpus Iuris Civilis Dig. I., 16, 1).

(Anreize<sup>3</sup>) und Restriktionen bestimmt (Kirchgässner, 2000). Zu alternativen Ansätzen und divergenten Aspekten sei u. a. auf Akerlof und Shiller (2009) sowie Rothschild (2001) verwiesen.

Die Trainingswissenschaft als Teildisziplin der Sportwissenschaft<sup>4</sup>, diese wiederum als Schnittmenge der Sozialwissenschaften, beschäftigt sich ebenfalls mit spezifisch zielgerichtetem menschlichen Verhalten und Handeln auf individueller und kollektiver Ebene in spezifischen Settings, und dies in großen Teilen unter dem Kalkül von Effektivität, Effizienz sowie Outcome (Büch, 2005; Fröhlich et al., 2008a). Auch hier sind Handlungsoptionen weitgehend durch individuelle Präferenzen – welches Ziel wird mit dem Training verfolgt – und vorliegende Restriktionen, u. a. die zur Verfügung stehende Zeit – bestimmt (Emrich et al., 2005). Inwieweit die Trainingswissenschaft in diesem Sinne als positive Wissenschaft zu verstehen ist, kann an dieser Stelle nur in Teilen erörtert werden (Emrich, 2006), wohl in Betracht ziehend, dass durch ihre historische Genese die Trainingswissenschaft für normative Prämissen und ideologische Beeinflussungen, kurzum für außerwissenschaftliche Einflüsse, anfällig scheint. Insbesondere im Spitzensport kommen oft unreflektiert ungeprüfte normative Prämissen zur Anwendung (Emrich et al., 2008).

Betrachtet man die Trainingswissenschaft als angewandte empirische Wissenschaft vom *Training* und somit als über den Objektgegenstand per se determiniert (Hohmann, 1999a, S. 37), so kann die angewandte interdisziplinäre Trainingswissenschaft methodologisch der Interventions- bzw. Evaluationsforschung (Wottawa & Thierau, 2003) zugeordnet werden (Lames, 1999; Lames et al., 2003). Die entsprechenden Theorien der Trainingswissenschaft<sup>5</sup> sind hierbei oftmals technologisch orientiert und zielen in der Regel auf einen quantifizierbaren Output ab (Party & Perrez, 1982). Während nomologisches<sup>6</sup> Wissen die deterministische bzw. probabilistische Erklärung von Ereignissen anstrebt, untersucht die technologische Forschung – hier die Trainingswissenschaft – im Allgemeinen nomopragmatisches<sup>7</sup> Wissen über die Herstellbarkeit von Phänomenen und

---

<sup>3</sup> Homann und Suchanek (2005, S. 8) verstehen unter Anreizen verhaltensbestimmende Vorteilserwartungen.

<sup>4</sup> Stachowiak (1995, S. 258) kategorisiert die Sportwissenschaft anhand des „Wissenschaftsgraphen“ mit den verschiedenen Wissenschaftshauptgruppen wie Philosophie und allgemeinwissenschaftliche Disziplinen, Formalwissenschaften, Naturwissenschaften, anthropologische Wissenschaften, Gesellschaftswissenschaften, Kulturwissenschaften und Technikwissenschaften im Bereich der Naturwissenschaften.

<sup>5</sup> Beispielsweise Lames (1999, S. 49) knappe Formulierung zum Selbstverständnis der Trainingswissenschaft lautet: „Wissenschaft der Intervention in/durch Sport“. Dieses Selbstverständnis macht die Trainingswissenschaft zu einer „technologischen Wissenschaft“, worunter die Generierung und Kumulierung von Veränderungswissen für die Praxis verstanden wird (Hohmann et al., 2002, S. 18).

<sup>6</sup> Nach Perrez (2005, S. 71) umfasst nomologisches Wissen Erkenntnisse über gesetzesartige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen. Deterministische Gesetze weisen dabei folgende Struktur auf: «G.:(x) (Ax → Bx)»; d. h. «Für alle x gilt: Wenn auf x A zutrifft, dann trifft auf x B zu». Probabilistische Gesetze operieren mit Wahrscheinlichkeitsaussagen, nach der Art: «Für alle x gilt: Wenn auf x A zutrifft, dann trifft mit der Wahrscheinlichkeit p auf x B zu». Siehe allgemein hierzu das Deduktiv-Nomologische Erklärungsmodell von Hempel und Oppenheim (1948).

<sup>7</sup> Nomopragmatische (technologische) Aussagen beschreiben Handlungen (T) und ihre Handlungsfolgen (F) unter bestimmten Ausgangsbedingungen (A) nach der folgenden Form (Perrez, 2005, S. 72): «Wenn man T unter den Ausgangsbedingungen A tut, kann man mit der Wahrscheinlichkeit p die Folge F feststellen».

Ereignissen (Perrez, 2005; Perrez & Patry, 1982). Das primäre Erkenntnisinteresse in diesem Kontext mündet in Trainingshandeln, mit dem Output bzw. Outcome erzielt (Produktcharakter) und verändert (Prozesscharakter<sup>8</sup>) werden kann. Oder allgemein: Technologisches Wissen definiert sich durch seinen Handlungsbezug (Perrez & Patry, 1982, S. 51). Hierbei orientiert sich dieses technologische Wissen<sup>9</sup> (technologische Regeln) weniger am Wahrheitskriterium, sondern eher am Effektivitätskriterium<sup>10</sup>, der praktischen Nutzbarmachung, der Verlässlichkeit und der Routinisierbarkeit. Die entsprechenden Antezedensbedingungen und normativen Prämissen<sup>11</sup> sind dabei jedoch ausdrücklich wertfrei zu berücksichtigen (Albert, 1970, 1972b). Die Frage nach dem Outcome – somit nach der Effektivität – ist dabei jedoch eng mit den jeweiligen Zielen bzw. den subjektiven Zielvorstellungen (Nutzen bzw. Nutzenerwartungen) verbunden. Bereits an dieser Stelle wird deutlich, dass der Outcome, die Effektivität und schließlich die Effizienz einer trainingspraktischen Intervention im Sinne einer prozesshaften Veränderung nur durch die Angabe der Randbedingungen, unter denen sie erhoben wurde, und den jeweils interagierenden Arrangements und Interdependenzen interpretierbar sind (Schlicht & Lames, 1993). Die methodische Überprüfung der Wirksamkeit der applizierten Intervention (Treatment) erfolgt somit normalerweise auf Primärstudienebene über entsprechende produktorientierte Forschungspläne (z. B. randomisierte Prä-Post-Kontroll-Gruppenpläne) (Bortz & Döring, 2006; Hohmann, 1999b; Sarris, 1992) und auf Aggregatebene über Literaturübersichten, narrative Reviews oder Metaanalysen. Da die interdisziplinäre Trainingswissenschaft, wie bereits erörtert, der Interventions- und Evaluationsforschung zugerechnet werden kann (Lames, 1999), oftmals auf Veränderungsmessungen beruht (Petermann, 1978) und den Praxisbezug zu berücksichtigen hat, tangiert sie an dieser Stelle das Wertfreiheitspostulat<sup>12</sup> der Forschung in einem besonderen Maß. Kirchgässner (2006) folgend, kann zwar nicht ausgeschlossen werden, dass der einzelne Wissenschaftler in diesem Kontext der Forderung nach der Wertfreiheit – „Persönlichkeit auf wissenschaftlichem Gebiet hat nur der,

---

<sup>8</sup> Der Prozesscharakter des sportlichen Trainings verdeutlicht, dass Training und Trainingsmaßnahmen kein punktuellere Ereignis darstellen, sondern Veränderungen in der Zeit bewirken sollen (Steinmann, 2005). Demnach ist die Abschätzung der erzielten Effekte (Outcome) durch Veränderungsmessungen vorzunehmen (Petermann, 1978). Probleme welche im Zusammenhang von Veränderungsmessungen zu berücksichtigen sind, speziell im Rahmen der klassischen Testtheorie, werden von Steinmann (2005) ausführlich erläutert.

<sup>9</sup> Grundlagenwissen (nomologische Aussagen) welches sich auf idealisierte Anwendungen bezieht, lässt sich nicht logisch-systematisch, sondern nur heuristisch zur Formulierung technologischer Regeln nutzen. Die technologische Sichtweise u. a. geht somit davon aus, dass es „grundlagenwissenschaftliche“ und „technologische“ Theorien, also zwei „Sorten“ von Theorien gibt (Höner, 2008, S. 4).

<sup>10</sup> Eine technologische Regel wird dann als effektiv anerkannt, wenn das Ziel tatsächlich mit großer Wahrscheinlichkeit mittels Treatment erreicht wurde. Durch technologische Regeln lassen sich somit Effektivitätswerte ermitteln (Perrez & Patry, 1982, S. 52). Weiterhin ist technologisches Wissen von Nöten, wenn es darum geht, Ist-Soll-Diskrepanzen zu analysieren. Technologische Theorien sollen letztendlich für die Praxis fruchtbar sein, und das Wissen über die gezielte Herstellbarkeit und Veränderbarkeit von Sachverhalten steigern (Party & Perrez, 1982, S. 389).

<sup>11</sup> Normative Prämissen spielen immer dann eine Rolle, wenn im Rahmen von technologischem Wissen Begründungszusammenhänge im Sinne von „Warum sollte jemand X tun“ tangiert sind (Höner, 2008).

<sup>12</sup> Nach Albert (1972b, S. 22) gehen Kritiker des Wertfreiheitspostulats davon aus, dass die praktische Relevanz der Wissenschaft dadurch erhöht würde, indem man die Theoriebildung unmittelbar dem Einfluss praktisch-technischer oder sogar moralisch-politischer Gesichtspunkte unterwerfe.



der rein der Sache dient“ – (Weber, 2002 [1919], S. 485) aufgrund von institutionellen Bedingungen nur in Teilen gerecht wird, z. B. Auftragsforschung, Drittmittelprojekte, Praxisdienlichkeit etc.. Dies impliziert jedoch nicht, dass der Wissenschaftsprozess bzw. die Erhebung wissenschaftlicher Daten stets wertfrei und nach wissenschaftlich legitimierten Kriterien zu erfolgen hat (Albert, 1970, 1972a). Die Tatsache, dass der Wissenschaftsprozess<sup>13</sup> auch und gerade in den angewandten Wissenschaften wertfrei und nach den in der Wissenschaftsdomäne gültigen Richtlinien und Kriterien zu leisten ist, macht bestimmte Forschungsstrategien und wissenschaftsethische Einstellungen notwendig (vgl. allgemein hierzu Albert (1970), Merton (1985), Popper (2000) und Weingart<sup>14</sup> (1998; 2001) sowie für die Sportwissenschaft Emrich (2006)). Weiteres zentrales Merkmal der interdisziplinären, angewandten, empirischen Trainingswissenschaft ist ihr Bezug zur Praxis<sup>15</sup>. Dies impliziert, dass praktisches Handeln<sup>16</sup> und Intervenieren wissenschaftlich fundiert<sup>17</sup> sein müssen. Patry und Perrez (1982, S. 402) sowie Perrez (2005, S. 81) listen hierzu u. a. folgende Beurteilungs- und Bewertungskriterien auf:

- Sämtliche Maßnahmen sind ethisch legitimierbar. Es sind keine oder nur unbedeutende negative Nebenwirkungen mit dem Handeln (Treatment) verbunden.
- Die Handlung (Intervention) lässt sich auf technologische Regeln zurückführen, die wiederum wissenschaftlich bewährte Aussagen über die Wirklichkeit unter den jeweiligen Rahmenbedingungen bzw. Settings machen.
- Die Intervention darf nicht auf Voraussetzungen beruhen, die mit dem vorhandenen Grundlagenwissen inkompatibel sind.
- Die Kosten-Nutzen-Relation bzw. Aufwand-Nutzen-Relationen sind vertretbar, insbesondere was unerwünschte bzw. nicht intendierte Nebenwirkungen betrifft.
- Es ist keine Maßnahme bekannt, welche die Bedingungen besser erfüllt.

---

<sup>13</sup> Das Wort „Wissenschaft“ vereint nach Merton (1985, S. 87) die folgenden zusammenhängenden Momente: 1) einen Komplex spezifischer Methoden, mit deren Hilfe Wissen gesichert wird; 2) einen Vorrat an akkumuliertem Wissen; 3) einen Komplex kultureller Werte und Verhaltensmaßregeln sowie 4) jede beliebige Kombination der genannten Momente.

<sup>14</sup> Gedanken zum Verhältnis von Wissenschaft und Politik, Wirtschaft und Medien wie sie Weingart (2001) anstellt, sind bereits von Albert (1972b) und Kurucz (1980; 1986) formuliert.

<sup>15</sup> Nach Stachowiak (1995) erforscht Wissenschaft gestaltete Praxis und schafft gleichzeitig die Voraussetzungen für die weitere Praxisgestaltung. Dabei ist der theoretische Anspruch der Wissenschaft jedoch nicht von geformten Bedürfnissen, Werten und Normen zu trennen. Die gesellschaftspolitischen Machtstrukturen sind dabei aufs engste mit innerwissenschaftlichen Machtdynamiken verknüpft (Stachowiak, 1995, S. 259).

<sup>16</sup> Zur Überbrückung der Kluft zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung sei exemplarisch auf Stark et al. (2007) verwiesen.

<sup>17</sup> Nach Höner (2008) ist die Sportwissenschaft in Forschung und Lehre als etablierte Wissenschaftsdisziplin zu verstehen und somit sind die Entscheidungen von Sportwissenschaftlern für die Praxis wissenschaftlich fundiert (bzw. rational zu begründen) auszusprechen.

- Die Qualität und Wahrscheinlichkeit der zu erwartenden negativen Nebeneffekte steht in einem positiven Verhältnis zu den erwartenden positiven Haupteffekten.
- Die Methode selbst ist ethisch vertretbar.

Orientiert man sich an den von Patry und Perrez (1982) sowie von Perrez (2005) vorgeschlagenen Bewertungskriterien und bezieht diese auf die einzelne Intervention (in der Abbildung mit Treatment bezeichnet) im trainingswissenschaftlichen Handeln, so resultiert daraus die in Abb. 1 dargestellte Entscheidungshilfe für die Auswahl einer entsprechenden Intervention.

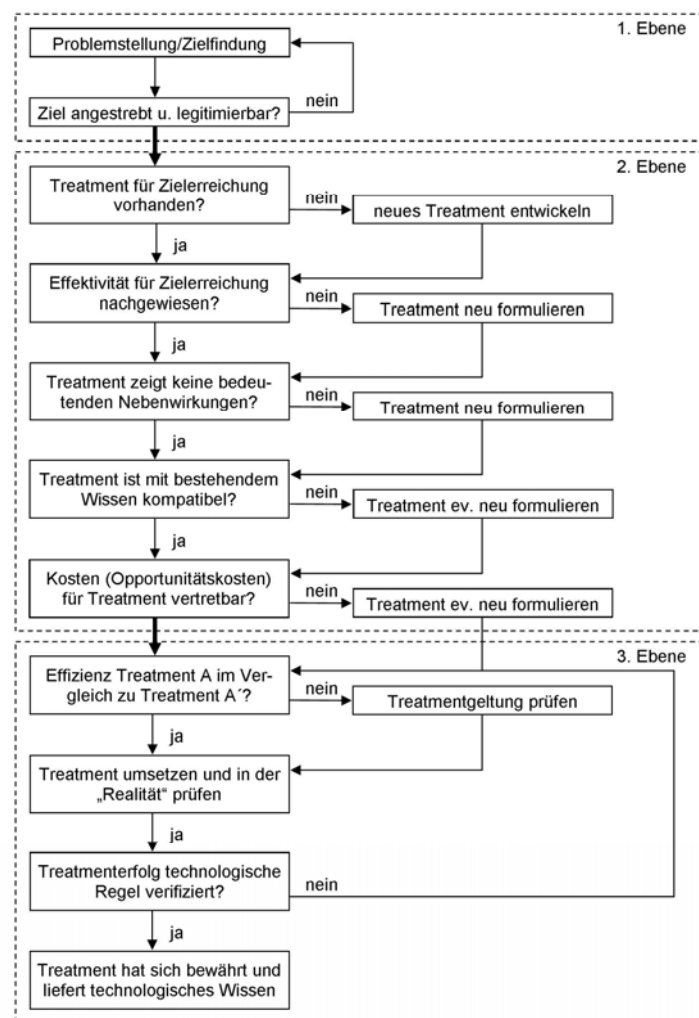


Abb. 1: Entscheidungshilfe für die Auswahl einer geeigneten Intervention (modifiziert n. Patry & Perrez, 1982, S. 407)

Berücksichtigt man jedoch den Hinweis, dass wissenschaftlich bewährte Aussagen über die vermutete Wirklichkeit unter jeweils spezifischen Rahmen- bzw. Antezedensbedingungen ausgesprochen werden, so wird deutlich, dass praktisches Handeln niemals vollständig wissenschaftlich begründet werden kann, da eine konkrete Trainings- bzw. Inter-

ventionshandlung immer singulär<sup>18</sup> zu verstehen ist. Dies bedeutet, exakt gleiche Rahmenbedingungen und Settings sind – auch unter Laborbedingungen – nicht herzustellen. Nach Hohmann et al. (2002, S. 18) kann aus diesem Grunde empirisches, praktisches Handeln höchstens annäherungsweise wissenschaftlich begründet werden, was die Autoren in Anlehnung an Popper (2002) zu der Aussage kommen lässt, dass die Aufgabe der Trainingswissenschaft darin besteht, ein möglichst dichtes Netz von technologischen Regeln zu entwickeln und diese in möglichst vielfältigen Anwendungssituationen zu erproben (Fröhlich et al., 2007a, S. 296). Oder wie Schnabel et al. (1997, S. 203) plakativ für die Trainingswissenschaft im Standardlehrwerk *Trainingswissenschaft* einleitend fordern:

Eine Hauptaufgabe jeder angewandten Wissenschaft besteht darin, für den untersuchten Bereich der menschlichen Tätigkeit theoretisch und/oder empirisch begründete Handlungsorientierungen zu geben. Solche Handlungsorientierungen erscheinen in Form von *Prinzipien, Regeln, Methoden, Verfahren, Vorschriften* und *Normen* [Hervorhebung im Original] und sagen mit unterschiedlichem Verbindlichkeits- oder Verallgemeinerungsgrad, was unter bestimmten Bedingungen zu tun ist, um ein Ziel mit hoher Effektivität und möglichst hoher Sicherheit (Wahrscheinlichkeit) zu erreichen.

Zur Realisierung und adäquaten Umsetzung entsprechender Handlungsanweisungen werden in Feld- und Laborstudien entsprechende Forschungs- und Versuchspläne durchgeführt (Hohmann et al., 1999; Sarris, 1992). Die gefundenen Ergebnisse unterliegen jedoch in Teilen der Problematik, dass auch bei kontrollierten, randomisierten Gruppenexperimenten streng genommen ein singulärer Wissenszuwachs resultiert. Hinzu kommt, dass sich die auf Primärstudienebene – hinreichende Umsetzung der Testgütekriterien und entsprechende Operationalisierung der abhängigen und unabhängigen Variablen vorausgesetzt – gefundene Ergebnisse nur schwer auf andere Kontexte und Probanden übertragen lassen und sich nicht selten in ihrer Implikation widersprechen. Rustenbach (2003) verweist in diesem Zusammenhang auf die relative Gültigkeit empirischer Stichprobenergebnisse im Sinne der Übertragbarkeit und Generalisierungsfähigkeit: „Jede Studie wird an einem singulären Ort, in einem eng umgrenzten Zeitraum, einem bestimmten Setting, mit spezifischen Interventionen und begrenztem Interventionspersonal durchgeführt“ (Rustenbach, 2003, S. 2).

Darüber hinaus kumuliert jede Wissenschaftsdisziplin täglich eine solch große Vielzahl von Erkenntnissen (Weingart, 2001), dass der einzelne Wissenschaftler nur noch partiell seine eigene Domäne überblicken kann, was gerade für die Trainingswissenschaft als integrative Wissenschaft von Erkenntnissen aus Sportmedizin, Sportbiomechanik, Sportpsychologie, Sportsoziologie und Sportpädagogik besonders zum Tragen kommt. Daher ist der an wissenschaftlich bewährtem Wissen Interessierte vermehrt auf generali-

---

<sup>18</sup> Siehe hierzu bereits Heraklit (ca. 500 v. Chr.): „Man kann nicht zweimal in den gleichen Fluss steigen“.

sierte und verdichtete Erkenntnisse angewiesen (Bliesener, 1999; Glass, 1976). In diesem Zusammenhang werden neben narrativen Reviews, qualitativen Übersichtsarbeiten, Metaanalysen, welche den aktuellen Forschungsstand zu einer bestimmten Fragestellung zusammenfassen, indem sie die empirischen Primärstudienresultate inhaltlich homogener Einzelstudien statistisch aggregieren, immer wichtiger (Beelmann & Bliesener, 1994). Nach Biddle (2006, S. 100) kommen der systematischen Literatursuche dabei u. a. folgende Funktionen zu:

- Allow for the reduction of large quantities of information from different studies.
- Translation of multiple sources of evidence into more digestible forms of information for professionals and policy makers.
- Help establish generalizability of findings.
- Help establish consistency of findings.
- Provide power and precision in analysis.

Zusammenfassend liefert eine systematische Wissensverdichtung zu einem Forschungsthema Hinweise zu Inkonsistenzen im vorliegenden Erkenntnisbestand, zur Theorieentwicklung und zu möglichen weiteren Forschungsbemühungen in der Domäne. Im Rahmen der Interventions- und Evaluationsforschung ermöglichen die Befundintegrationsmethoden eine Wirksamkeitsprüfung und Abschätzung erzielter Effekte und deren Relation zu Aufwand und Nutzen. Daher rekurriert die im nachfolgenden vorgestellte Thematik zu Interventionseffekten in der Krafttrainingsforschung u. a. auf die systematische Befundintegration mittels Metaanalyse sowie deren quantitativer Abschätzung der Effektivität bzw. Effizienz durch Effektstärkenberechnung im Sinne der praktischen Relevanzbestimmung.

## 1.2 Thematischer Aufbau und Struktur der Arbeit

Der im Weiteren beschriebene Aufbau sowie die dazugehörigen Publikationen der kumulativen Habilitationsschrift lassen sich grob in vier Ebenen differenzieren, wobei die verschiedenen Thematiken in Teilen in die anderen Bereiche hineinreichen und einzelne Aspekte wieder aufgreifen und mit ihnen interagieren. Allen Beiträgen – ob eher theoretisch orientiert oder als Übersichtsarbeit bzw. empirische Studie angelegt – liegt implizit und/oder explizit das Kalkül der *Effektivität*<sup>19</sup> (Wirksamkeit) und *Effizienz* (Nutzen-Aufwand-Relation) bzw. des zu *optimierenden Outputs* oder *Outcomes* entsprechender trainingswissenschaftlicher Interventionen zu Grunde. Dies kann als Leitidee für die weiteren Ausführungen aufgefasst werden.

Innerhalb der ersten Ebene wird im Rahmen von zwei Beiträgen einerseits der Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft, das *motorische Training*, erläutert, differenziert, diskutiert und kritisch reflektiert (Beitrag Nr. I). Dabei soll verdeutlicht werden, dass der aktuell in zahlreichen Standardlehrwerken verwendete Trainingsbegriff an vielen Stellen zu kurz greift und einer Neubewertung sowie Erweiterung bedarf. Die erste Publikation möchte hierzu mögliche Lösungsalternativen aufzeigen. Andererseits soll das sportliche Training um eine ökonomische Perspektive ergänzt und diese sodann in eine *ökonomische Modellbetrachtung* transformiert werden (Beitrag Nr. II). Dabei lehnt sich die Transformation an die Überlegungen zur Grenzertragsbetrachtung der Ökonomie als Methode an. An dieser Stelle wird hinlänglich deutlich, dass die Trainingswissenschaft nicht nur durch die bereits angesprochenen sportwissenschaftlichen Disziplinen wie u. a. Sportpädagogik, -soziologie, -psychologie, -medizin bzw. Physiologie und Sportbiomechanik zu ergänzen ist, sondern auch von ökonomischen Betrachtungen und Sichtweisen in ihrer theoretischen und praktischen Erkenntnisfunktion profitiert. In diesem Sinne kann die Übertragung ökonomischer Überlegungen als Versuch verstanden werden, das bereits von Perl et al. (2002, S. 109) formulierte theoretische Defizit in der Trainingswissenschaft zu vermindern: „Ein eigenständiger Bereich theoretischer Sportwissenschaft kann bislang nicht aufgezeigt werden. In diesem Bereich sind die betreffenden Basiswissenschaften praktisch die einzigen Lieferanten eines theoretischen Wissenstransfers.“

Aufbauend auf diesen eher theoretisch orientierten Beiträgen werden in der zweiten Ebene dieser Arbeit fünf empirische Übersichtsartikel (Metaanalysen) zu unterschiedlichen, in der Krafttrainingsforschung<sup>20</sup> relevanten Themen analysiert, diskutiert und in

---

<sup>19</sup> Effektivität (effectiveness) kann definiert werden, als das Verhältnis von erreichtem zu definiertem Ziel, d. h. als der Grad der Zielerreichung bzw. der Wirksamkeit. Eine Trainingsintervention wäre in diesem Zusammenhang effektiv, wenn das vorgegebene Ziel unter den gegebenen Rahmenbedingungen erreicht wurde. Effizienz (efficiency), definiert als das Verhältnis von Aufwand und Nutzen bzw. Kosten und Nutzen oder auch Input-Output-Relation, beschreibt dabei die Investition in den Nutzen. Eine Krafttrainingsmethode wäre in diesem Kontext effizient, wenn die Trainingsmethode bei geringem zeitlichem Aufwand das vorgegebene Ziel erreichen würde. Schmidtbleicher (1997) hat in diesen Zusammenhang den Zielkonflikt zwischen Effektivität und Motivation im Bereich des Fitnesstrainings für einzelne Trainingsprinzipien herausgearbeitet.

<sup>20</sup> Die Krafttrainingsforschung wird im Rahmen dieser Arbeit unter der Perspektive ökonomischer Betrachtungen beleuchtet. Die physiologischen bzw. neurophysiologischen Beschreibungs- und Erklärungsansätze, die den ver-

verschiedenen Zeithorizonten und Settings bewertet. Unter dem Primat von Effektivität und Effizienz einerseits und dem der praktischen Relevanz andererseits werden hierzu Aspekte der Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik (Beiträge Nr. III und Nr. IV) ebenso erörtert wie Fragen zur optimalen Trainingshäufigkeit in Abhängigkeit von möglichen intervenierenden Variablen sowie unter unterschiedlichen Voraussetzungen (Beiträge Nr. V und Nr. VI). Konsequenz hierzu wird die Frage der Periodisierung, d. h. der systematischen Belastungsvariation von Trainingsinterventionen in verschiedenen Zeitspannen erläutert und bewertet (Beitrag Nr. VII). Anhand der ermittelten Befunde aus den fünf Metaanalysen können so generalisierte Aussagen zu verschiedenen Adressatengruppen, Settings und Rahmenbedingungen abgeleitet und ausgesprochen werden. An dieser Stelle kommt die Trainingswissenschaft einer von vielen Praktikern oft bemängelten Forderung nach, nämlich derjenigen nach praktischer Verwertbarkeit wissenschaftlich erhobener Erkenntnisse und somit letztendlich einer wissenschaftlichen Beratungsleistung (Hohmann & Lames, 2007; Hohmann & Rütten, 1995; Thienes & Kauert, 2002). Es gilt jedoch explizit zu berücksichtigen, dass bei aller Begeisterung für generalisierte Erkenntnisse, der Einzelfall immer isoliert zu betrachten ist.

Die Beiträge innerhalb der dritten Ebene tangieren die Thematik von Beitrag I und Beitrag II dahingehend, dass sie einen Transfer einerseits in eine ausgewählte Sportart, den olympischen Triathlon, herstellen (Beitrag Nr. XI und Nr. XII) und andererseits Effektivitätsüberlegungen auf zwei verschiedene Intensitätstechniken im Krafttraining, die so genannte Vor- bzw. Nachermüdung übertragen (Beitrag Nr. IX und Nr. X). In der Publikation Nr. VIII werden im Rahmen einer empirischen Studie die Belastungsreaktionen beim Kraftausdauertraining über mehrere Serien unter dem Aspekt der ausreichenden bzw. optimalen Serienanzahl untersucht. Alle Beiträge sprechen Trainingshinweise bzw. Implikationen für die Praxis aus, machen jedoch auch deutlich, dass auf den einzelnen Gebieten noch zusätzlicher Forschungsbedarf besteht und die Verbindung von ökonomischen Überlegungen und trainingswissenschaftlichen Handlungsanweisungen erst am Anfang systematischer Untersuchungen steht.

Der abschließende, XIII. Beitrag versucht auf methodischer Ebene den roten Faden der ökonomischen Perspektive in der Trainingswissenschaft nutzbringend anhand der Diskussion zu den Effektstärken, als quantitative Maße für praktische Relevanz, aufzugreifen und für die Krafttrainingsforschung zu verdeutlichen. Die folgende Abb. 2 veranschaulicht, inwieweit die einzelnen Beiträge thematisch zusammenhängen bzw. aufeinander aufbauen.

---

schiedenen Aspekten zum Einsatz- vs. Mehrsatztraining, der optimalen Serienanzahl sowie der Periodisierungsvarianten zu Grunde liegen, können dezidiert den entsprechenden Literaturbelegen der einzelnen Publikationen sowie Enoka (1994), Schmidt und Thews (1995) sowie Schwellnus (2008) entnommen werden.



Abb. 2: Übersicht der zu Grunde liegenden Publikationen

Nachfolgend sind die einzelnen Publikationen, welche der kumulativen Habilitationsschrift zu Grunde liegen, aufgelistet. Die Reihenfolge entspricht dabei derjenigen der inhaltlichen Gliederung, wie sie im erweiterten Teil der Synopsis erläutert wird. Die in der Zeitschrift *Leistungssport*<sup>21</sup> publizierten Beiträge sind dahingehend zu verstehen, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse einem großen Fachpublikum, u. a. Trainern, Übungsleitern und Praktikern, zur Verfügung gestellt werden sollten und somit die angewandte Trainingswissenschaft der wissenschaftlichen Beratungsleistung durch einschlägige Fachzeitschriften nachkommt (Hohmann & Rütten, 1995, S. 150). Der Publikationszeitraum der Beiträge erstreckt sich von 2004<sup>22</sup> bis 2009. Alle Beiträge wurden in anerkannten nationalen oder internationalen sportwissenschaftlichen bzw. sportmedizinischen Zeitschriften sowie in nach peer-review Verfahren begutachteten Büchern publiziert. Einzelne Aspekte der aufgelisteten Beiträge wurden zusätzlich in modifizierter bzw. ergänzter Form in Abstracts und Proceedings publiziert und auf internationalen Kongressen in Europa und USA präsentiert (Fröhlich & Emrich, 2008; Fröhlich & Gießing, 2006a; Fröhlich et al., 2009b; Fröhlich et al., 2007c; Sandig et al., 2008; Schmidtbleicher & Fröhlich, 2008). Die Beiträge wurden alle in Erstautorenschaft erstellt und teilweise in zwei internationalen Büchern in erweiterter bzw. überarbeiteter Version veröffentlicht (vgl. Gießing et al. (2005a) sowie Gießing & Fröhlich (2008)). Die zu Grunde liegenden Publikationen<sup>23</sup> sind in numerischer Reihenfolge:

- Nr. I      Fröhlich, M. (2009). Überlegungen zum Trainingsbegriff und zur Theorie des Trainings aus ökonomischer Perspektive. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 51 (2), 8-35.
- Nr. II     Fröhlich, M., Emrich, E. & Büch, M.-P. (2007). Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft*, 37 (3), 296-311.
- Nr. III    Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269-291.
- Nr. IV    Fröhlich, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2010). Outcome effects of single-set vs. multiple-set training – an advanced replication study. *Research in Sports Medicine: An International Journal*, 18 (3), 157-175.

---

<sup>21</sup> Die Zeitschrift *Leistungssport* greift in der Regel auf ein Begutachtungsverfahren zurück. In Teilen kann jedoch auch ein Beitrag zum Druck angenommen worden sein, ohne dass ein „offizielles“ peer-review Verfahren stattgefunden hat. Der Beitrag Nr. XII wurde durch zwei anonyme Gutachter im peer-review Verfahren begutachtet. Die Gutachten und Stellungnahmen zu den Gutachten können beim Autor eingesehen werden.

<sup>22</sup> Der Beitrag Nr. VIII wurde beim 6. Symposium der dvs-Sektion Biomechanik in Konstanz als Postervortrag vorgestellt. Die Ergebnisse des Beitrages in der vorliegenden Form sind neu interpretiert und werden unter ökonomischer Perspektive diskutiert.

<sup>23</sup> Die aufgelisteten Publikationen entsprechen den allgemeinen bibliographischen Angaben und können sich somit von denjenigen im Literaturverzeichnis der Synopsis unterscheiden.



- Nr. V Fröhlich, M., Schmidbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche – ein metaanalytischer Zugang. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 19 (2), 6-21.
- Nr. VI Fröhlich, M. & Schmidbleicher, D. (2008)<sup>24</sup>. Trainingshäufigkeit im Krafttraining – ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (2), 34-42.
- Nr. VII Fröhlich, M., Müller, T., Schmidbleicher, D. & Emrich, E. (2009). Outcome-Effekte verschiedener Periodisierungsmodelle im Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60 (10), 307-314.
- Nr. VIII Fröhlich, M., Klein, M., Emrich, E. & Schmidbleicher, D. (2004). Belastungsreaktionen beim Kraftausdauertraining (KA-T) über mehrere Serien. In H. Riehle (Hrsg.), *Biomechanik als Anwendungsforschung. Transfer zwischen Theorie und Praxis* (S. 291-297). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Nr. IX Fröhlich, M. & Gießing, J. (2006). Nachermüdung als trainingsmethodische Alternative im Krafttraining. *Leistungssport*, 36 (2), 39-44.
- Nr. X Fröhlich, M., Gießing, J., Schmidbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining – ein explorativer Methodenvergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 25-30.
- Nr. XI Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E., & Gießing, J. (2008). Consequences of the three disciplines on the overall result in olympic-distance triathlon. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2 (4), 204-210.
- Nr. XII Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A. & Emrich, E. (2008). Ökonomische Betrachtungen zur Wettkampfstruktur im olympischen Triathlon – ein explorativer Ansatz. *Leistungssport*, 38 (5), 42-46.
- Nr. XIII Fröhlich, M., Emrich, E., Pieter, A. & Stark, R. (2009). Outcome effects and effects sizes in sports sciences. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3 (3), 175-179.

---

<sup>24</sup> Die Seitenangaben der Onlineausgabe (<http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/>) und der Printversion unterscheiden sich. Die ausgewiesenen Seitenangaben beziehen sich auf die Printausgabe.

## 2 Gegenstand der Trainingswissenschaft – das sportliche Training

Der historische Ursprung der Trainingswissenschaft basiert auf den Bestrebungen, das sportpraktische Trainingshandeln und die daraus abgeleiteten Trainingskonzepte (Meisterlehren<sup>25</sup>) zumeist erfolgreicher Trainer wie Adam, Gerschler, Nett u. v. a. m. zu systematisieren und wissenschaftlich zu begründen (Carl, 1983; Harre, 1986; Martin, 1977). Aufbauend auf diesen Lehren (Trainingskonzepten, Trainingsprinzipien<sup>26</sup>) konstituierte sich 1992 in Kassel die eigenständige Sektion Trainingswissenschaft<sup>27</sup> in der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (Martin & Weigelt, 1993). Zur historischen Entwicklung und Genese sowie zum Selbstverständnis sowohl in der Bundesrepublik Deutschland als auch in der DDR wird auf Harre und Schnabel (1993), Schmidtbleicher (1996) sowie Schnabel (1998) verwiesen. In den nachfolgenden Jahren wurde zum weiteren Selbstverständnis ein breites Spektrum an Problemdiskussionen zur Trainingswissenschaft angeregt (Krug et al., 2002, S. 19) welches u. a. die folgenden Aspekte und Themen betraf: Wissenschaftstheoretische Erörterungen (Martin & Weigelt, 1993; Thorhauer et al., 1996), forschungsmethodologische Fragen und Rahmenbedingungen (Hohmann et al., 1999) und spezielle Tätigkeitsfelder und Forschungsschwerpunkte (Ferrauti & Remmert, 2006; Thorhauer et al., 2001; Wohlgefahr & Michel, 2006). Folgt man diesen einleitenden Hinweisen zur Genese so wird deutlich, dass sich die institutionalisierte Trainingswissenschaft als angewandte, empirische, ganzheitliche Wissenschaft zur Fundierung<sup>28</sup> von Training,

---

<sup>25</sup> Die in der Trainingswissenschaft formulierten Meisterlehren können nach Perrez (2005, S. 73) wissenschaftstheoretisch dem Tatsachenwissen zugeordnet werden. Dieses hat singulären Charakter und beruht auf singulären Beobachtungstatsachen.

<sup>26</sup> Nach den Ausführungen von Hohmann und Lames (2002, S. 31) können zwei Typen von Prinzipien unterschieden werden. 1) Trainingsprinzipien (verallgemeinerte Handlungsgrundsätze) die aus wissenschaftlich-technologischen Handlungsregeln zu einem Grundproblem abstrahiert wurden und 2) Trainingsprinzipien die normativ als Planungs- oder Interventionsgrundsätze für das Training formuliert wurden, um eine konkrete Trainingsplanung und -durchführung realisieren zu können. Wissenschaftstheoretisch sind die Trainingsprinzipien der Traininglehre zuzuordnen, da sie nicht über die Eigenschaft allgemeiner Gesetze verfügen, keine Angaben zu Randbedingungen machen, unter denen die technologische Regel gelten soll, und der Abstraktionsgrad (Trivialisierung) als zu hoch anzusehen ist (vgl. Hohmann und Lames, 2002, S. 31f.). Des Weiteren sind Trainingsprinzipien, vor allem die pädagogisch-didaktischen, oftmals aus normativen Prämissen heraus formuliert worden, ohne explizit ein empirisches Korrelat zu besitzen. Bei Martin et al. (1993, S. 39) finden sich alleine acht pädagogische Prinzipien zum Training. Weineck (2003) weist darauf hin, dass eine definitive Klärung und empirische Prüfung von Trainingsprinzipien bisher nur in Teilen gelang. Schöllhorn et al. (2005) diskutieren wesentliche Kritikpunkte der einzelnen Trainingsprinzipien und stellen ein Systematisierungsschema zur Verdichtung der Trainingsprinzipien vor. Zur Systematik, Verortung und Perspektive von Prinzipien und Trainingssteuerung sei auf Grosser et al. (2008) sowie Starischka (1996) verwiesen.

<sup>27</sup> Die Trainingswissenschaft ist diejenige sportwissenschaftliche Disziplin, die sich aus einer ganzheitlichen und angewandten Perspektive mit der wissenschaftlichen Fundierung von Training und Wettkampf auf den Anwendungsfeldern des Sports beschäftigt. Die spezifische Herangehensweise der Trainingswissenschaft liegt also in der ganzheitlichen Betrachtung ihrer Gegenstände Leistungsfähigkeit, Training und Wettkampf, während andere Disziplinen eine disziplinäre (medizinische, psychologische usw.) Sichtweise betonen (Hohmann et al., 2002, S. 17).

<sup>28</sup> Nach Höner (2008, S. 3) lässt sich das Problem der sportwissenschaftlichen Fundierung der Praxis auf abstrakter Ebene als ureigenes Theorie-Praxis-Problem verstehen. Wissenschaftshistorische, wissenschaftssoziologische und

Wettkampf und Leistung<sup>29</sup> neben den klassischen Kriterien<sup>30</sup> für die Anerkennung als Wissenschaft wie Systematisierung und Akkumulierung von Erkenntnissen, eines eigenen Methodenspektrums, eines objektspezifischen Forschungsgegenstandes (Herrmann, 1976), einer exakten Wissenschaftssprache im Sinne einer Vereinheitlichung der verwendeten Begrifflichkeiten – die explizite Definition von gebrauchten Termini sowie die systematische Dokumentation jeglicher Begriffsänderung – zu bedienen bzw. zu entwickeln hat (vgl. Höner, 2008, S. 3; Willimczik, 2001a, S. 46). Emrich (2006, S. 154) fordert in diesem Kontext, dass wissenschaftliches Denken neben einer Abstraktion u. a. klare Begrifflichkeiten zu verwenden hat: „Chamäleonbegriffe“ der verschiedensten Art, die mit wechselnden Bedeutungen aufgeladen werden, erschweren wissenschaftliche Diskussionen ungemein.“ Dies trifft sowohl auf die Sportwissenschaft als interdisziplinäre Wissenschaft per se (Willimczik, 2001b), als auch auf die Trainingswissenschaft als Teildisziplin im Besonderen zu. Auf diesen Missstand hat Letzelter bereits 1978 in seinem Buch *Trainingsgrundlagen* hingewiesen (Letzelter, 1978, S. 18):

In der Alltagssprache sind viele Begriffe unklar, ungenau und mehrdeutig. Die Sprache der Trainingslehre als einer wissenschaftlichen Disziplin muß dagegen knapp, klar und eindeutig sein. Den Forderungen nach eindeutigen und unmissverständlichen Formulierungen kommt die Trainingslehre aber nur teilweise nach. Das resultiert nicht zuletzt aus ihrer Praxisnähe und aus ihren vorwissenschaftlichen Bestandteilen. Der terminologische Mangel führt zu vielen Problemen, welche das Gespräch zwischen den Praktikern (Trainingsmethodikern) und den Trainingswissenschaftlern unnötig erschweren oder gar verhindern.

Während eine historische Aufarbeitung der Gegenstandsbereiche der Sportwissenschaft<sup>31</sup> – beispielsweise Abgrenzung aber auch Strukturierung und Differenzierung nach innen – in Teilen zu konstatieren ist (Hägele, 2007; Heinemann, 1998; Willimczik, 2007), scheint der Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft unterformalisiert, da, so ist zu vermuten, der Objektbereich – das sportliche Training – nicht hinreichend spezifiziert ist

---

wissenschafts- bzw. metatheoretische Untersuchungen unterstützen dabei den Transfer von wissenschaftlich gewonnen Erkenntnissen in die Praxis.

<sup>29</sup> Nach Hohmann et al. (2002, S. 28) und Schnabel et al. (1997, S. 17f.) sind die Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft, das Training (u. a. Modelle des Trainings, Trainingsziele, -inhalte, -methoden, -planung, -kontrolle und -auswertung, Belastung und Beanspruchung, Methodologie der Trainingsforschung), die Leistungsfähigkeit (z. B. Modelle der sportlichen Leistungsfähigkeit, Systematik und Determinanten der Leistungskomponenten, theoretische und praktische Leistungsdiagnostik, Entwicklung der Leistungsfähigkeit etc.) und der Wettkampf (z. B. Modelle der Wettkampfleistung, Beschreibung des Wettkampfverhaltens, Teilleistungen und komplexe Wettkampfleistung).

<sup>30</sup> Zu den Kriterien für die Anerkennung als Wissenschaft zählen nach Willimczik (2001a, S. 46) ein eigenständiger, strukturierter Gegenstandsbereich, spezifische Konzeptionen, spezifische Forschungsmethoden, eine Systematik von Erkenntnissen, eine wissenschaftliche Fachsprache, eine bedeutende Geschichte, eine institutionalisierte wissenschaftliche Einrichtung und relevante spezifische Fragestellungen.

<sup>31</sup> Bezüglich der Instrumentalisierung und einseitigen Betrachtung des sportlichen Handelns im Kontext von Gesundheit und Krankheit siehe Wydra (1996).

(Fröhlich, 2009). Während Lames und Hohmann (2003, S. 59) als Gegenstandsbereich<sup>32</sup> für die Trainingswissenschaft die Komplexe *Training*, *Leistungsfähigkeit* und *Wettkampf* annehmen (Carl, 2003; Martin et al., 1993; Schnabel et al., 1997) sehen Olivier et al. (2008, S. 17) den Begriff Training als zentralen Gegenstand der Trainingswissenschaft an. Nach Hohmann (1999a, S. 37) versteht sich die Trainingswissenschaft als Wissenschaft vom Training und ist somit über den Objektgegenstand per se als angewandte Wissenschaft determiniert. Durch die Strukturierung, Analyse und Erklärung des sportlichen Trainings greift die interdisziplinär ausgerichtete Trainingswissenschaft in obigem Verständnis über die jeweiligen Disziplingrenzen hinweg auf die Erkenntnisse all jener sportwissenschaftlichen und/oder mutterwissenschaftlichen Disziplinen zurück, die objektspezifisch Aussagen hierzu treffen können (Hohmann, 1999a). Die jeweilige engere bzw. weitere Betrachtung des Gegenstandes Training ist dabei einerseits historischen, gesellschaftspolitischen, weltanschaulichen, ideologischen Gegebenheiten und Rahmenbedingungen sowie andererseits disziplinspezifischen Zugängen und wissenschaftstheoretischen Paradigmen geschuldet. Orientiert man sich an aktuellen Publikationen sowie an den Ausführungen der dvs-Sektion Trainingswissenschaft (Hohmann et al., 2002; Krug et al., 2002; Lames & Hohmann, 2003), so hat sich die Trainingswissenschaft im Rahmen ihres Selbstverständnisses in Richtung eines offenen Trainingsbegriffs<sup>33</sup> entwickelt (Thienes, 2008), obwohl verschiedene Vertreter noch immer an einer eher engen, auf den Leistungsaspekt (Steigerung der Leistungsfähigkeit mit morphologischen und metabolischen Anpassungserscheinungen) orientierten, Definition festhalten (De Marées, 1996; Grosser, 1993; Grosser et al., 2008; Hollmann & Hettinger, 2000).

Im angloamerikanischen Sprachraum wird Training im Bereich der *exercise physiology* verortet (Wilmore et al., 2008) und kann definiert werden als „[...] a systematic process of preparing for a certain physical goal. This goal used to be synonymous with peak physical performance; however, exercise training is also used to achieve targets for health-related fitness“ (Lambert et al., 2008, S. 1). Meeusen (2008, S. 143) definiert Training wie folgt:

Training can be defined as a process of overload that is used to disturb homeostasis that results in acute fatigue leading to an improvement in performance. When training continues or when athletes deliberately use a

---

<sup>32</sup> Thienes (2008) arbeitet als Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft die „Leistungsfähigkeit als Adressatenbezug sportlichen Trainings“ sowie die „Trainingssteuerung als Kontextbezug sportlichen Trainings“ heraus. Seiner Meinung nach wird dabei die Anschlussfähigkeit an andere sportwissenschaftliche Disziplinen, die sich ebenfalls mit Fragen des sportlichen Trainings beschäftigen, erhöht.

<sup>33</sup> Training ist die planmäßige und systematische Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte und Trainingsmethoden) zur nachhaltigen Erreichung von Zielen (Trainingsziele) im und durch Sport. Der offene Trainingsbegriff schränkt die verfolgten Trainingsziele in keinerlei Weise ein, wenn es sich um Ziele von Interventionen im und durch Sport handelt. Allerdings ergibt sich aus den Eigenschaften der Planmäßigkeit und Systematik, dass die Ziele nachhaltig verfolgt werden, womit das Training immer über sich selbst hinaus verweist, es also nicht als Selbstzweck aufzufassen ist. Gleiches gilt für die Inhalte und Methoden nach dem offenen Trainingsbegriff: auch hier ist keinerlei Beschränkung notwendig, wenn es sich denn um Inhalte und Methoden zur begründeten Erreichung von Trainingszielen, die im oder durch Sport verfolgt werden, handelt (vgl. Hohmann et al., 2002, S. 12ff.).

short-term period (e.g., training camp) to increase their training load they can experience short-term performance decrement, without severe psychologic or other lasting negative symptoms. This FOR (functional overreaching; Anmerkung des Autors) will eventually lead to an improvement in performance after recovery.

Joch und Ückert (1998, S. 11ff.) differenzieren in diesem Zusammenhang drei Varianten des Trainingsbegriffs: 1.) den monokausalen versus multiplen Trainingsbegriff, 2.) den offenen versus geschlossenen Trainingsbegriff und 3.) den engen versus weiten Trainingsbegriff. Hinzu kommt, dass Training im Rahmen trainingswissenschaftlicher Fundierung, neben der Begriffsexplikation, den Kriterien logisch rationalen Handelns zu folgen hat, was Planung, Festlegung von Erfolgskriterien, planungsgemäße Realisierung und letztlich Erfolgskontrolle betrifft (Daug's et al., 1999). Anhand des ersten Beitrages (Nr. I) werden hierzu aufbauend auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen und disziplinären Zugängen, verschiedenen Integrations- und Differenzierungsmerkmalen sowie inhaltsanalytischen Überlegungen, zahlreiche Definitionsvorschläge zum Trainingsbegriff untersucht, verortet und diskutiert (Fröhlich, 2009).

Subsumierend kann aufgrund analytischer Überlegungen festgestellt werden, dass die Mehrzahl der einzelnen Trainingsdefinitionen einerseits auf der Ebene der Antezedensbedingungen in den verschiedenen Anwendungsfeldern (z. B. Freizeit- und Breitensport, Sport mit Sondergruppen etc.) und bei unterschiedlichen Zielgruppen wie Schülern, Senioren, Rehabilitanden, Patienten etc. nur in Teilen die Realität widerspiegeln und andererseits eine Entkopplung von Begriff und sportlicher Praxis erfahren haben. So darf nach Frey und Hildenbrandt (2002, S. 42) ein Büroangestellter, der seiner Gesundheit zuliebe abends 20 Minuten im Wald läuft, seine Tätigkeit mit der gleichen Berechtigung Training nennen, wie ein Langstreckenläufer, der in der Woche 200 Laufkilometer mit der Zielstellung Marathonbestzeit absolviert. Systematisiert man die verschiedenen Anwendungsfelder, innerhalb derer die einzelnen Trainingsdefinitionen (insgesamt wurden 25 Definitionen aufgeführt; beginnend bei Victor Silberer (1900) bis Olivier et al. (2008)) zur Anwendung gelangen sollten, so lässt sich einerseits zeigen, dass in spezifischen Bereichen das Training, als aktiver Handlungsprozess auf individueller Ebene, in Teilen weder zielgerichtet, planmäßig noch systematisch im expliziten Sinne der Steigerung der motorischen Leistung bzw. Leistungsfähigkeit und/oder der Veränderung der morphologischen Struktur durchgeführt wird und andererseits, als Steuerungsprozess<sup>34</sup> in der Interaktion

---

<sup>34</sup> Es sei ausdrücklich herausgestellt, dass entsprechende Trainingssteuerungsprozesse, in den beschriebenen Anwendungsfeldern bzw. Bereichen des Sports, in weiten Teilen zu Grunde liegen können und planmäßig, systematisch und zielgerichtet, spezifische Ziele (z. B. Wiederherstellung im Rahmen der Prävention, Vermittlung von Anreizmotiven zur lebenslangen Sportpartizipation, Integrationsaspekte durch Sport mit Aussiedlern usw.) anvisiert werden. So folgt z. B. der Gesundheits- und Breitensport oftmals tradierten und aus dem Leistungssport transferierten Empfehlungen. Aktuelle empirische Studien zeigen jedoch, dass in Teilen diese Handlungsempfehlungen überdacht werden sollten (vgl. Auracher (2007), Meyer et al. (2004), Meyer et al. (2006) und Meyer et al. (2007)). Des Weiteren die Gewichtung in Relation zum Leistungsmotiv jedoch anderen Logiken folgt und somit die zahlreichen explizit im

Trainer und Sportler/Athlet obigen Kriterien ebenfalls nur partiell entspricht. Vielmehr treten spezifische Motive wie Spaß, Freude, Ablenkung, Stressbewältigung etc. außerhalb des Leistungsmotivs, im Sinne der Steigerung der motorischen Komponenten in unterschiedlichen Kontexten und Settings, in den Vordergrund. „Der Büroangestellte trainiert unter einer anderen Sinnrichtung. Ihm geht es um Gesundheit und Wohlbefinden, nicht um eine sportliche Leistung in einem Wettkampf an einem ganz bestimmten Tag“ (Frey & Hildenbrandt, 2002, S. 42f.).

Daher wird ein erweitertes Begriffsverständnis (ökonomische Perspektive) des komplexen Handlungsprozesses Training<sup>35</sup> in die Diskussion eingeführt und inhaltsanalytisch erläutert (Fröhlich, 2009). Durch die explizite Operationalisierung des ökonomischen Trainingsverständnisses innerhalb der einzelnen Begriffsbestandteile und der Angabe von Effektivitätsmaßen, z. B. von Effektstärken, könnten somit bei der Hypothesenformulierung und der anschließenden Prüfung Trainingseffekte in spezifischen Settings, sowohl auf der Ebene von Gruppenexperimenten als auch bei Einzelfallstudien und im Rahmen von Evaluationsstudien, wichtige Hinweise zur Theorieentwicklung<sup>36</sup> liefern. Darüber hinaus erlaubt eine ökonomisch orientierte Begriffsbetrachtung die Einbettung in ein theoretisches Modell, welches sich in anderen Wissenschaftsdisziplinen als nutzbringend erwiesen hat (Becker, 1993; Becker & Becker, 1998).

Letztendlich wird der Forderung von Frey und Hildenbrandt (2002, S. 36) nachgekommen: „Wir brauchen eine Definition des Trainings, die niveauoffen und disziplinübergreifend integrativ ist. Die Trainingsforschung hat diesem Begriff von Training zu entsprechen.“ Hierzu möchte die erste Publikation einen Beitrag leisten, wohl wissend, dass die Thematik nicht erschöpfend zu beantworten und dem Wesen wissenschaftlichen Fortschritts geschuldet ist.

---

Sinne der Leistungssteigerung bzw. Verbesserung orientierten sportmedizinisch-leistungsphysiologisch ausgerichteten Trainingsdefinitionen an dieser Stelle zu kurz greifen (vgl. monokausale, enge Begriffsdefinition).

<sup>35</sup> Starischka und Carl (1989, S. 143) verweisen darauf, dass sich die Trainierbarkeit u. a. im jeweiligen erreichten Grad der Anpassung von Organ- und Funktionssystem, im Entwicklungsstand der leistungsbestimmenden Faktoren, im Ausprägungsgrad der psychischen Eigenschaften und moralischen Qualitäten sowie im Entwicklungsstand der sportlichen Leistung selbst widerspiegelt.

<sup>36</sup> Nichts ist praktischer als eine gute Theorie (Alessandro Volta 1745-1827). Der Aphorismus wird im vorliegenden Text Alessandro Volta zugeschrieben. Der Autor ist sich jedoch bewusst, dass auch anderen Autoren dieser Aphorismus zugeschrieben wird. Eine entsprechende historische Aufarbeitung in Anlehnung an Merton's Gelehrsamkeit „Auf den Schultern von Riesen“ steht noch aus und wäre eine lohnende Beschäftigung (Merton, 1983).

### 3 Trainingswissenschaft ökonomisch betrachtet – theoretische Verortung und Modellentwicklung

Theoretische Annahmen und Überlegungen zur Erklärung von Trainingsadaptationen fußen im Allgemeinen auf dem trainingstheoretischen Rahmenkonzept bzw. auf dem Prinzip der *Superkompensation* (Tschiene, 2006; Weineck, 2003). Insgesamt verkürzt die verallgemeinerte Modellannahme der Superkompensation jedoch die Komplexität von Trainingsbelastung und -beanspruchung, langfristiger Trainingsanpassung, aktuellem Ausgangsniveau und zukünftig zu erwartender Anpassungen und interagierender Effekte verschiedener Funktionssysteme. Zu den Kritikpunkten der Superkompensation wie fehlender experimenteller Nachweis (bisher ausschließlich für das Muskelglykogen nachgewiesen<sup>37</sup>), überzogener Geltungsbereich (z. B. auch auf das Techniktraining, psychische Leistungsfaktoren übertragen), Heterochronizität (unterschiedliche Wiederherstellungszeiträume verschiedener Organsysteme), Linearität und Kontinuität (z. B. prinzipielle, unendliche Steigerbarkeit der sportlichen Leistungsfähigkeit) wird auf Friedrich und Moeller (1999) sowie Olivier (2001) verwiesen. Weitere Erklärungsmodelle für Trainingsprozesse und Leistungsveränderungen firmieren in der Trainingswissenschaft unter den Bezeichnungen „Modell der antizipativen Verhaltenskontrolle“, „Kybernetische Modelle“, „Belastungs- und Beanspruchungs-Konzept“, „Systemdynamische Modelle“ und „Modell der Funktionskapazität“ (Haken, 1996; Hoffmann, 1993; Janssen et al., 1996; Janssen et al., 1992; Mader, 1990; Olivier, 2001; Rohmert, 1984; Rohmert & Rutenfranz, 1983; Schlicht, 1992; Verchoshanskiy & Viru, 1990; Weicker, 1992). Nachdem das Superkompensationsmodell zunehmend kritisch betrachtet wurde, erfuhren verstärkt das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept sowie das Modell der Anpassungskapazität als Rahmenkonzepte für Trainingsinterventionen Beachtung. Nachfolgend wird aufbauend auf dem Modell der Anpassungskapazität ein Rahmenmodell für Training vorgestellt, das einerseits in der Ökonomie hohe Erklärungskraft besitzt und andererseits eine Integration eines ökonomischen Trainingsbegriffs zulässt und durch explizite Operationalisierung weite Teile von Trainingsanpassungen abdeckt.

Wie bereits bei der Kritik zum Superkompensationsmodell angedeutet, sind Ausprägungen von Trainingsanpassungen weder kurz- noch langfristig unendlich fortsetzbar bzw. steigerbar. Des Weiteren sind die Trainingsanpassungen (-adaptationen), wie im Quantitätsgesetz des Trainings formuliert, zu Beginn eines Trainingsprozesses relativ groß ausgeprägt. Im weiteren Trainingsverlauf, das bedeutet bei fortgeschrittenem Leistungsniveau, führen auch progressiv gesteigerte Trainingsbelastungen (z. B. Trainingsintensivie-

---

<sup>37</sup> Hartmann (2002, S. 49) schreibt hierzu: „In diesem Zusammenhang muss zunächst erwähnt werden, dass das Modell der Superkompensation auf den modellhaften Vorstellungen der Entleerung der muskulären Glykogenspeicher beruht und bestenfalls als ein aus didaktischer Sicht anzuwendendes Modell für eine sportliche Belastungsanpassung zu verstehen ist.“

rung und Zeitextensivierung<sup>38)</sup> nur noch zu relativ kleinen Veränderungen im Leistungszustand<sup>39)</sup>.

Nach dem *Quantitätsgesetz des Trainings* [Hervorhebung im Original] besteht über die Dauer eines langfristigen Trainingsprozesses betrachtet zwischen der Belastung und der Leistungsfähigkeit kein linearer Zusammenhang: Während auf niedrigem Leistungsniveau geringe Belastungssteigerungen hohe Leistungszuwächse bewirken, sind auf höherem Leistungsniveau immer größere Belastungssteigerungen notwendig, um noch Verbesserungen zu erzielen (asymptotischer Zusammenhang). Die biologische Adaptation, und damit vor allem die konditionelle und konstitutionelle Seite der Leistungsentwicklung, nähert sich langfristig einem Grenzwert, der von der genetisch festgelegten *Adaptationskapazität* [Hervorhebung im Original] [...] des Sportlers abhängig ist. Aufgrund der immer geringeren Zuwachsraten bei der Leistung müssen deshalb die adaptationswirksamen Trainingsbelastungen langfristig kontinuierlich gesteigert und immer enger an den spezifischen Wettkampfanforderungen orientiert werden. (Hohmann et al., 2002, S. 153)

Martin et al. (1993, S. 95f.) schließen aus diesen Prämissen, dass die gesamte Anpassungskapazität des Organismus eine jeweils individuelle Grenze (u. a. durch Konstitution, Psyche etc. determiniert) hat, die genetisch bestimmt ist (Eleftheriou & Montgomery, 2008). Nach Mader (1990, S. 55) kann diese individuelle Grenze der ausschöpfbaren Kapazität als Anpassungsreserve bezeichnet werden. Unabhängig hierzu gibt es zu jedem Zeitpunkt im Trainingsprozess eine aktuelle Funktionskapazität. Diese aktuelle Funktionskapazität bestimmt das derzeitige Leistungsniveau bzw. den derzeitigen Leistungszustand und spiegelt somit den bisherigen Adaptationsprozess auf Trainingsbelastungen wider. Die aktuelle Funktionskapazität und Anpassungsreserve zusammen bilden die maximale Funktionskapazität. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht diese Ausführungen und Überlegungen exemplarisch.

---

<sup>38)</sup> Siehe zum Problem der Zeitintensivierung und -extensivierung im Nachwuchsleistungssport für den Bereich der Eliteschulen Emrich et al. (2007; 2009) sowie im Rahmen der Qualitätsentwicklung des Nachwuchsleistungssports Emrich et al. (2006). Allgemein zur Theorie der Allokation von Zeit siehe Becker (1965).

<sup>39)</sup> Müller und Blischke (2009, S. 163) berichten von gleichen Effekten im Bereich des motorischen Lernens, wenn sie die Leistungsverläufe von Lernkurven wie folgt charakterisieren: „Zu Beginn steigt die Leistung pro Übungseinheit allerdings stärker an, als dies in späteren Übungsstadien der Fall ist. Mit steigendem Leistungsniveau benötigt man also immer größere Übungsumfänge, um vergleichbare Leistungsgewinne zu erreichen.“



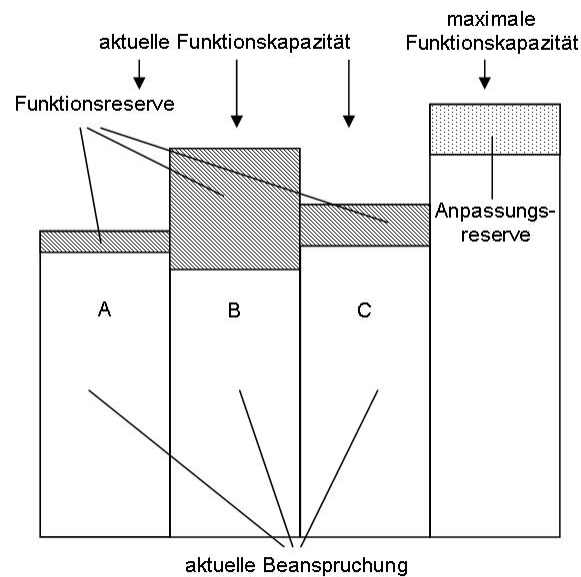
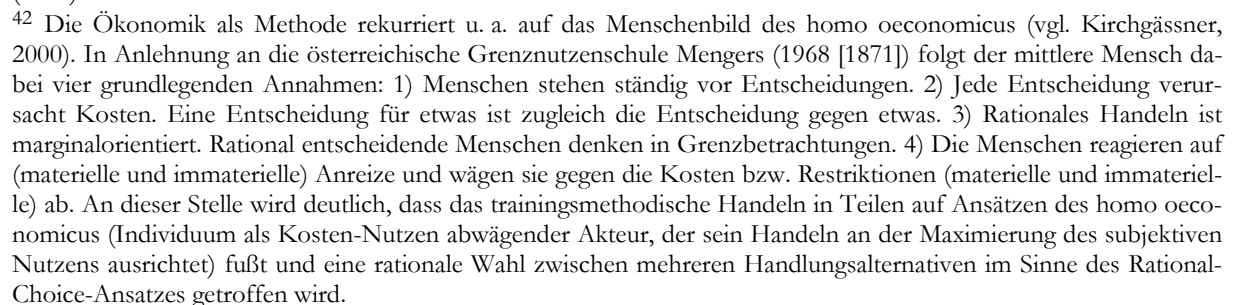


Abb. 3: Schematische Darstellung des Zusammenhangs von aktueller Funktionskapazität A, B und C der Funktionsreserve als Differenz von Funktionskapazität und aktueller Beanspruchung und der maximalen Funktionskapazität mit der Anpassungsreserve (modifiziert n. Martin et al., 1993, S. 96)

Die Belastungsanforderungen (operationalisiert über die Trainingsbelastungen in Form der einzelnen Belastungsnormativa) sind in dem Modell nach Martin et al. (1993) dann optimal umgesetzt, wenn die aktuelle Funktionsreserve bis in die Nähe der aktuellen Funktionskapazität beansprucht wurde. Resultiert aus den einzelnen Belastungsanforderungen und aus der aktuellen Funktionskapazität ein negativer Ertrag ( $-\Delta$ ) oder wird die aktuelle Funktionskapazität überschritten, so wird im Allgemeinen der Trainings- bzw. Anpassungseffekt kleiner ausfallen bzw. sogar Schädigung oder Verletzung eintreten. Dies kann relativ zeitnah oder aber auch zeitlich versetzt durch kumulierte Effekte eintreten und sich in overreaching<sup>40</sup> und/oder overtraining manifestieren (Meeusen, 2008). Diese Perspektive wurde bei dem Modellvorschlag von Martin et al. (1993) noch nicht hinreichend berücksichtigt und stellt somit eine deutliche Erweiterung der bisherigen Betrachtungen dar. Verbindet man die in der Trainingswissenschaft formulierten Überlegungen zu Anpassungsprozessen wie sie im Funktionsmodell skizziert sind, mit den allgemeinen

<sup>40</sup> Meeusen et al. (2006, S. 2) definieren in Anlehnung an Kreider et al. (1998) overreaching und overtraining wie folgt: Overreaching: an accumulation of training and/or non-training stress resulting in *short-term* [Hervorhebung im Original] decrement in performance capacity with or without related physiological and psychological signs and symptoms of maladaptation in which restoration of performance capacity may take from *several days to several weeks* [Hervorhebung im Original]. Overtraining: an accumulation of training and/or non-training stress resulting in *long-term* [Hervorhebung im Original] decrement in performance capacity with or without related physiological and psychological signs and symptoms of maladaptation in which restoration of performance capacity may take from *several weeks or months* [Hervorhebung im Original]. Sie weisen jedoch ausdrücklich darauf hin, dass eine exakte Bestimmung beider Phänomene äußerst schwierig ist und daher ein kompletter Kriterienkatalog zur Einschätzung von overreaching und overtraining sinnvoll wäre.

<sup>41</sup> Die Ausführungen und Erläuterungen zum Grenznutzen können ausführlich bei Turgot (1990 [1769/70]) und bei von Thünen (1966 [1875]) sowie bei Menger (1968 [1871]) und Mankiw (2004) nachgelesen werden. Überlegungen dieser Art wurden erstmalig von Büch (2005) und (2007) in die Trainingswissenschaft eingebracht und von Fröhlich, et al. (2007a) als möglicher theoretischer Rahmen für Trainingsadaptationen diskutiert. Zur Ökonomie der Zeit als Ressource siehe Emrich et al. (2005) sowie für den Bereich der Nachwuchsleistungssportförderung Emrich et al. (2008).



<sup>42</sup> Die Ökonomik als Methode rekurriert u. a. auf das Menschenbild des homo oeconomicus (vgl. Kirchgässner, 2000). In Anlehnung an die österreichische Grenznutzenschule Mengers (1968 [1871]) folgt der mittlere Mensch dabei vier grundlegenden Annahmen: 1) Menschen stehen ständig vor Entscheidungen. 2) Jede Entscheidung verursacht Kosten. Eine Entscheidung für etwas ist zugleich die Entscheidung gegen etwas. 3) Rationales Handeln ist marginalorientiert. Rational entscheidende Menschen denken in Grenzbetrachtungen. 4) Die Menschen reagieren auf (materielle und immaterielle) Anreize und wägen sie gegen die Kosten bzw. Restriktionen (materielle und immaterielle) ab. An dieser Stelle wird deutlich, dass das trainingsmethodische Handeln in Teilen auf Ansätzen des homo oeconomicus (Individuum als Kosten-Nutzen abwägender Akteur, der sein Handeln an der Maximierung des subjektiven Nutzens ausrichtet) fußt und eine rationale Wahl zwischen mehreren Handlungsalternativen im Sinne des Rational-Choice-Ansatzes getroffen wird.

Wie in Abb. 4 zu erkennen, ist zu Beginn eines sportlichen Trainings zum Zeitpunkt  $t_1$  (eigentlich Intervall von  $t_{1,1}$  zu  $t_{1,2}$ ) der Betrag der Funktionsreserve  $\Delta t_1$  in Abhängigkeit vom individuellen Potential (u. a. eigene Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften) relativ groß (große individuelle Anpassungsreserve zu  $t_1$ ). Im weiteren Trainingsprozess nimmt dieser Ertrag ( $\Delta$ ) über die Zeit  $t_2$  (im Modell) ab (individuelle Anpassungsreserve zu  $t_2$  wird geringer; Prinzip des abnehmenden Grenzertrags) (vgl. Frey & Hildenbrandt, 2002, S. 52f.). Zum Zeitpunkt  $t_3$  ist im Modell ein negativer Ertrag ausgewiesen. Dies bedeutet, die maximale individuelle Anpassungsreserve wurde überschritten und das System reagiert mit Abnahme der Leistung bzw. der Leistungsfähigkeit, beispielsweise im Rahmen von Übertrainings- und Überbelastungszuständen. Überträgt man die Modellannahmen auf die Zielstellung des leistungsorientierten Trainings, gilt es, den Ertrag ( $\Delta$  Funktionsreserve) von jeweils aktueller Funktionskapazität und maximaler Funktionskapazität zu minimieren und dies soweit, bis der jeweilige individuelle, genetisch determinierte Kulminationspunkt erreicht wird. Dieser im Modell dargestellte Kulminationspunkt  $K$  ist streng betrachtet kein einzelner Punkt, sondern eine graduelle Phase. Addiert man am Kulminationspunkt die autonom geschützte Reserve des Organismus von 5 % bis 10 % hinzu (dem Autor sind keine empirischen Belege für die Prozentangaben bekannt; wohl wissend, dass entsprechende Hinweise in den Standardlehrbüchern tradiert werden), so erhält man die individuelle, genetisch determinierte maximale Leistungsfähigkeit bzw. Funktionsfähigkeit.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass durch die Verknüpfung beider Modellüberlegungen – Modell der Funktionskapazität und Grenzertragsmodell – die Theorieentwicklung innerhalb der Trainingswissenschaft insgesamt profitieren könnte<sup>43</sup>. So macht beispielsweise das Funktionsmodell, wie es bei Martin et al. (1993) beschrieben ist, keine Aussagen zu kurz-, mittel- und langfristigen Anpassungsprozessen sowie zu möglichen Effekten beim Überschreiten des Kulminationspunktes (overreaching bzw. overtraining) usw. Des Weiteren kann durch die Verbindung einzelner Grenzerträge für verschiedene Leistungsausprägungen (z. B. werden durch Leistungsdiagnostiken und Weltstandanalysen Optimalwerte in Abhängigkeit individueller Voraussetzungen analysiert), der verbundene Grenzertrag für eine komplexe Leistungsausprägung modelliert werden. Erste explorative Hinweise hierzu sind in den Beiträgen zum olympischen Triathlon (Nr. XI und Nr. XII), der sich additiv aus den drei Einzeldisziplinen Schwimmen, Radfahren und Laufen sowie den beiden Wechselzeiten zusammensetzt, formuliert.

Überträgt man die Implikationen des Funktionsmodells von Anpassungskapazität und Grenzertrag auf die sportliche Praxis, so müssten sich in den ersten Trainingseinheiten bzw. bei Beginnern und Anfängern (u. a. bedingt durch Lern- und Gewöhnungseffek-

---

<sup>43</sup> Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das vorgestellte Funktionsmodell von Anpassungskapazität und Grenzertrag als theoretisches Rahmenmodell anzusehen ist. Die empirische Prüfung auf morphologischer, struktureller und funktioneller Ebene steht ebenso aus, wie die Prüfung biologisch-adaptiver Wechselwirkungen bei simultanen sich überlagernden Trainingsbelastungen. Darüber hinaus sollte der Geltungsbereich beachtet werden, das bedeutet, eine Übertragung ins Techniktraining und Taktiktraining sowie auf psychische Aspekte ist nicht zulässig.

te sowie durch neuromuskuläre Anpassungsprozesse; siehe hierzu u. a. Kraemer und Fry (1995), Moritani (1992) sowie Rutherford und Jones (1986)) zunächst sehr deutliche Leistungszuwächse nachweisen lassen, während in fortlaufenden Trainingsprozessen die Leistungszuwächse (Erträge) geringer ausfallen sollten. Dies scheint zwar trivial und dem Alltagsverständnis von Trainingsadaptation zu entsprechen sowie durch zahlreiche empirische Studien hinreichend belegt zu sein, wird jedoch durch kein entsprechendes trainingstheoretisches Modell auf diese Weise explizit ausgedrückt. Transferiert in den Bereich der Krafttrainingsforschung sollten bei Anfängern und Beginnern (Untrainierte) zunächst größere Trainingseffekte (größere Kraftzuwächse pro Zeit) im Vergleich zu Fortgeschrittenen (Trainierte) zu dokumentieren sein. Die Prüfung dieser These findet in den vier Metaanalysen zum Einsatz- vs. Mehrsatztraining (Beiträge Nr. III und Nr. IV) bzw. zur optimalen Trainingshäufigkeit pro Woche im Krafttraining (Beiträge Nr. V und Nr. VI) statt.

## 4 Befundintegration in der Trainingswissenschaft – exemplarisch dargestellt anhand von Metaanalysen im Bereich der Krafttrainingsforschung

### 4.1 Metaanalyse als quantitatives Verfahren der Befundintegration

Bevor auf die inhaltlichen Aspekte der Metaanalysen zur Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik, zur optimalen Trainingshäufigkeit sowie auf die Verwendung von unterschiedlichen Periodisierungsmaßnahmen zur Optimierung von Anpassungsprozessen im Krafttraining und deren Effektivität und Effizienz eingegangen wird, soll zunächst der methodische bzw. methodologische Rahmen der Befundintegration durch metaanalytische Verfahren verdeutlicht werden.

Die Metaanalyse<sup>44</sup> kann als Befundintegrationsverfahren verstanden werden, welches ausgehend von einer Forschungsfrage mit Hilfe von methodischen Regeln und Leitlinien, statistischen Hilfsmitteln und operativer Handlungsanleitungen quantitativ-systematisch empirische Befunde auf der Grundlage von Primärstudienresultaten verdichtet (Hedges & Olkin, 1985; Hunter & Schmidt, 2004; Rosenthal & DiMatteo, 2001). Die Metaanalyse ist kein in sich geschlossenes statistisches Verfahren wie die Faktorenanalyse, sondern versteht sich als Sammlung konzeptioneller und methodischer Verfahren (Beelmann & Bliesener, 1994, S. 212). In Anlehnung an Beelmann und Bliesener (1994, S. 213), DeCoster (2005, S. 3) und Rosenthal (1991, S. 247f.) lassen sich im metaanalytischen Forschungsprozess sechs Phasen und Ablaufschritte differenzieren (vgl. Rustenbach, 2003, S. 11ff.):

- Formulierung einer bereits geprüften Forschungsfrage (u. a. Eingrenzung des Themas, Formulierung adäquater Hypothesen, Operationalisierung von Konstrukten, Eingrenzung des Geltungs- und Anwendungsbereichs, Generalisierungsmöglichkeiten prüfen etc.)
- Systematische Erfassung und Erhebung der empirischen Primärbefunde (z. B. multiple Suchstrategien, definierte Auswahlkriterien, hoher recall, d. h. Identifikation möglichst sämtlicher relevanter Primärstudien in Bezug auf die meist unbe-

---

<sup>44</sup> Nach den Ausführungen von Rustenbach (2003, S. 8f.) bewahrt die Metaanalyse die Vorteile des subjektiv-narrativen Reviews und ergänzt diese im Gegensatz zur Primärforschung u. a. durch eine erhöhte Präzision, Reliabilität, Validität und Teststärke. Die Integration von Replikationsstudien über verschiedene Untersuchungskontexte, Settings, Stichproben und Zeiten kann die externe Validität erhöhen und somit die Theorieentwicklung und -prüfung empirisch vorantreiben. Weitere Funktionen und Zielsetzungen von Metaanalysen sind die Konzeption weiterer Primärstudien (prospektive Funktion), die Beschreibung von Kausalitäten, Einflüsse für die Praxis sowie wissenschaftssoziologische und -historische Aspekte. Nach Bortz und Döring (2006, S. 673) fasst die Metaanalyse den aktuellen Forschungsstand zu einer Fragestellung zusammen, indem sie die empirischen Ergebnisse von Primärstudien statistisch aggregiert und somit prüft, inwieweit ein fraglicher Effekt in der Population vorliegt und wie groß dieser Effekt ist. Zur Historie und Genese, zu Stärken und Schwächen, zur Verbreitung in verschiedenen Forschungsdisziplinen sowie allgemein zu methodischen Fragen der Metaanalyse sei auf Beelmann und Bliesener (1994), Farin (1994), Glass (1976; 1977), Glass et al. (1981), Hagger (2006), Hall und Rosenthal (1995), Hunter und Schmidt (2004), Rosenthal und DiMatteo (2001), Rustenbach (2003) und Schmidt (1992) verwiesen.

- kannte Gesamtheit, hohe precision, d. h. Eingrenzen der relevanten Quellen mit hoher Präzision usw.)
- Kodierung und Bewertung inhaltlicher und methodischer Studienmerkmale (u. a. relevante Informationen werden kategorisiert, bewertet und selektiert, festgelegter Kodierplan, Interraterrealiabilität im Kodierprozess analysieren, methodische Qualität der Primärstudien prüfen usw.)
  - Aggregation der quantitativ-summativen Befunde und darauf aufbauend die quantitative Analyse der Befunde (z. B. Berechnung der Effektstärken, Identifikation von Moderatorvariablen, Rekonstruktion von Studieneffekten, Zusammenfassung und statistische Prüfung usw.)
  - Interpretation der Ergebnisse (u. a. deskriptive, inferenzstatistische Darstellung der Ergebnisse, Bewertung und Diskussion, Methodenkritik, Vergleich mit anderen Metaanalysen bzw. best-practise-Ansätzen etc.)
  - Darstellung, Dokumentation und Publikation der Ergebnisse (u. a. adäquate Präsentation der Ergebnisse je nach Adressatengruppe und Zielstellung etc.)

Die einzelnen Ablaufschritte geben zwar eine formale, lineare Richtung vor, in der praktischen Umsetzung entstehen jedoch Rückkopplungsschleifen zu früheren Phasen des Ablaufs. So kann es u. a. vorkommen, dass beispielsweise bei der Kodierung und Bewertung festgestellt wird, dass die eigentliche Forschungsfrage nicht hinreichend beantwortet werden kann, da nicht genügend empirische Primärstudien zur expliziten Beantwortung der Forschungsfrage vorliegen und somit die Forschungsintention inhaltlich erweitert werden muss. Als unterscheidendes Merkmal zum narrativen Review zeichnet sich die Metaanalyse<sup>45</sup> dadurch aus, dass quantitative Analysen mittels der Berechnung von so genannten Effektstärken eine Aussage über den Effekt einer Maßnahme zulassen. Bortz und Döring (2006, S. 673f.) schreiben hierzu:

Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Frage nach der Wirksamkeit einer Maßnahme oder eines Treatments, deren Beantwortung alle einschlägigen Forschungsergebnisse berücksichtigen soll. Ein zentraler Begriff der Metaanalyse ist damit die **Effektgröße** [Hervorhebung im Original] bzw. der durch viele Einzeluntersuchungen geschätzte »wahre« Effekt einer Maßnahme. Dieser wird durch eine Metaanalyse mit höherer Wahrscheinlichkeit identifiziert als durch Einzelstudien, denn eine Metaanalyse hat gegenüber Primärstudien eine höhere **Teststärke** [Hervorhebung im Original].

---

<sup>45</sup> Nach Bliesener (1999, S. 56) eröffnet die Metaanalyse zusätzlich Aussagen zur Schätzung eines Populationsparameters aus vorliegenden Statistiken kleiner Stichproben, den Nachweis eines Effektes bei inkonsistenter Befundlage sowie die Analyse von Drittvariablen und deren Interaktion mit den abhängigen und unabhängigen Variablen.

Die mit Hilfe der einzelnen Primärstudien berechnete Effektstärke erlaubt so, einerseits die verschiedenen Einzelstudien anhand einer standardisierten Größe zu aggregieren und andererseits die praktische Relevanz<sup>46</sup> der Maßnahme bzw. Intervention abschätzen zu können. Des Weiteren können verschiedene intervenierende Variablen und deren Einfluss auf die abhängige Variable, in der Regel den Outcome bzw. Output einer Maßnahme, analysiert und bewertet werden. Zur Berechnung der Effektstärke werden verschiedene Indizes herangezogen (Cohen, 1969, 1992). Das meist verwendete dimensionslose Maß hierbei ist Cohens  $d$  (Mittelwertdifferenz von Experimental- und Kontrollgruppe dividiert Standardabweichung der Kontrollgruppe bzw. Mittelwertdifferenz von Posttest und Pretest dividiert Standardabweichung Pretest), Hedges's  $g$  bzw. Glass's  $\Delta$  (Rosenthal & DiMatteo, 2001, S. 71). Weitere Verfahren der Effektstärkeberechnung sowie deren Stärken und Schwächen sind bei Leonhart (2004), Maier-Riehle und Zwingmann (2000) sowie bei Morris (2008) im Hinblick auf homogene bzw. heterogene Varianzen, unterschiedliche Stichprobengrößen und inhaltliche Aspekte sowie verwendetem Versuchsdesign diskutiert. Bezüglich der Effektstärkenberechnung anhand bestimmter Teststatistiken z. B. t-Test, ANOVA etc., wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (Bortz, 1993; Cohen, 1969, 1992; DeCoster, 2005; Fricke & Treinies, 1985; Glass, 1977; Glass et al., 1981; Hedges & Olkin, 1985; Rosnow & Rosenthal, 1996). Bezug nehmend auf die Vorteile von Metaanalysen im Rahmen von Befundintegrationsverfahren im Gegensatz zu anderen Verfahren wie qualitative Literaturübersicht und narratives Review sei auf Biddle (2006), Glass (1976), Rustenbach (2003) und Weed (2005; 2006) rekurriert. Die Abb. 5 verdeutlicht die Verortung der Metaanalyse im Rahmen von Literaturreviewverfahren.

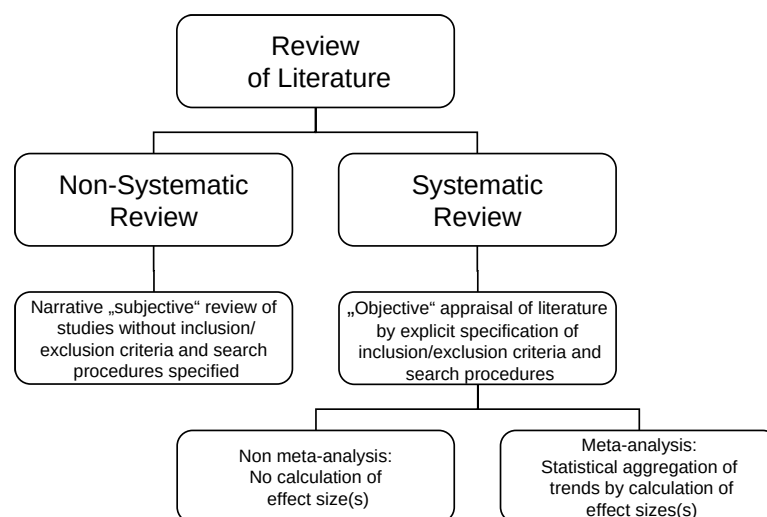


Abb. 5: Überblick zu Literaturbefundintegrationsverfahren (n. Biddle, 2006, S. 98)

<sup>46</sup> Nach Cohen (1969, S. 38; 1992, S. 157) werden die Effektstärken und somit indirekt die praktische Relevanz einer Maßnahme bzw. einer Intervention bei  $d = 0.20$  als kleiner Effekt, bei  $d = 0.50$  als mittlerer Effekt und bei  $d = 0.80$  als großer Effekt klassifiziert. Allgemein werden Effektstärken größer 0.50 als groß interpretiert. Effektstärken von 0.50-0.30 als moderat und Effektstärken von 0.30-0.10 als klein bzw.  $< 0.10$  als trivial (Bortz und Döring, 2006, S. 606). Der Beitrag Nr. XIII geht hierauf ein und diskutiert die Effektstärken im Rahmen der Krafttrainingsforschung.

Kritikpunkte<sup>47</sup>, welche bzgl. der Durchführung von Metaanalysen geäußert werden, betreffen u. a. folgende Aspekte (Beelmann & Bliesener, 1994, S. 215ff.): Uniformitätsprobleme, Auswahl und Qualität der Primärstudien, Dokumentation der Primärstudien, Probleme der Effektstärkeberechnung und -interpretation, methodische Probleme usw. Im Weiteren werden die vier am häufigsten genannten Argumente bzw. Kritikpunkte bei der Durchführung einer Metaanalyse aufgeführt, diskutiert und adäquate Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt (vgl. Rosenthal und DiMatteo, 2001, S. 66ff.): Garbage in und garbage out Argument, apples and oranges Argument, publication bias bzw. file drawer bias Argument und statistische Unabhängigkeit der Effektstärken.

#### 4.1.1 Garbage in und garbage out Argument

Der erste Kritikpunkt bezieht sich auf das so genannte garbage in bzw. garbage out Argument. Demnach soll die Aufnahme qualitativ minderwertiger<sup>48</sup> Primärstudien (z. B. methodische Mängel, Probleme der Operationalisierung der Konstrukte, mangelnder theoretischer Hintergrund etc.) die Ergebnisse der Metaanalyse negativ beeinflussen. Daher sollten nur hochwertige, randomisierte, kontrollierte Studien (RCT) integriert und analysiert werden. Dass dies wiederum eine Art von Selektion darstellt und der Zusammenhang von methodischer Qualität und den Befunden einer Studie eine empirische und a posteriori zu klärende Frage sei, hat bereits Bliesener (1999, S. 60) herausgearbeitet. Pragmatisch wird von zahlreichen Autoren daher angeregt, die Studienqualität<sup>49</sup> als Variable zu kodieren und eventuell a priori zu gewichten bzw. methodische Mindeststandards an Primärstudien zu formulieren (Beelmann & Bliesener, 1994; Bliesener, 1999; Bortz & Döring, 2006; DeCoster, 2005; Glass, 1977; Glass et al., 1981; Hunter & Schmidt, 2004; Rosenthal, 1991; Rustenbach, 2003). Die im Rahmen dieser Arbeit publizierten Metaanalysen (Beiträge Nr. III bis VII), wurden diesbezüglich einerseits durch die Variable Studienqualität kodiert (siehe Anhang 2) und andererseits mittels Kodierplan angelehnt an die Empfehlungen des CONSORT oder PRISMA Statement sowie des Centre for Evidence Based Physiotherapy (CEMP) bzw. der Cochrane Collaboration (Higgins & Green, 2006; Moher et al., 2009; Moher et al., 2001) auf Mindeststandards hin überprüft (siehe Anhang 1).

---

<sup>47</sup> Von Farin (1994, S. 37) werden noch die Kritikpunkte „Metaanalysen zerstören die Motivation zur Durchführung von Primärstudien“ sowie „Metaanalysen besäßen eine prinzipiell konservative gegen Innovation gerichtete Funktion“ genannt. Farin (1994) selbst entkräftet diese Kritikpunkte jedoch anschaulich. Da sich diese Aspekte eher dem Bereich der Wissenschaftssoziologie bzw. der Wissenschaftsorganisation zuordnen lassen und sich nach dem aktuellen Stand als nicht hinreichend bewahrheitet darstellen, werden sie nicht explizit weiter verfolgt.

<sup>48</sup> Derzeit ist ein Trend zu beobachten, bei dem die Studienqualität mit dem Impactfaktor von peer review Zeitschriften gleichgesetzt wird. Dass ein hoher Impactfaktor aber nicht gleichzeitig für hohe wissenschaftliche Qualität eines Beitrages vice versa stehen muss, scheint evident. Des Weiteren ist nicht eindeutig geklärt, was unter wissenschaftlicher Qualität einer Studie zu verstehen und nach welchen Kriterien dies zu entscheiden ist.

<sup>49</sup> Hall und Rosenthal (1995, S. 399) schreiben zu diesem Aspekt: „Similarly, if „low quality“ studies produced larger effects than „high quality“ studies, the correct conclusion may not be that low quality produces inflated or biased results. Because low- and high-quality studies differ on other features that are correlated with being low versus high quality, one cannot, in fact, draw a causal inference about the effect of quality on outcome.“



#### 4.1.2 Apples and oranges Argument

Das Uniformitätsproblem – apples and oranges Argument – stellt ein zentrales Dilemma der Befundintegration dar (dies betrifft in weiten Teilen jedoch deutlich mehr das narrative Review und weitere zusammenfassende Literaturanalysen), werden doch verschiedene Studien zu einem Thema integriert und aggregiert. Für Rosenthal und DiMatteo (2001, S. 68) scheint dieses Problem weniger immanent, da sie ausführen: „It can be argued, however, that it is a good thing to mix apples and oranges, particularly if one wants to generalize about fruit, and that studies are exactly the same in all respects are actually limited in generalizability.“ Die Kritik bezieht sich dabei im Allgemeinen auf den Vergleich meist verschiedener abhängiger bzw. unabhängiger Variablen, die bei der Metaanalyse aufgrund der inhaltlichen Unterschiedlichkeit der Primärstudien ausgewertet werden. Durch entsprechende Eingrenzungen und Beschreibungen sowie explizite Operationalisierung der aufzunehmenden Variablen (speziell der abhängigen Variablen<sup>50</sup>) und möglichst theoriegeleitete Definition der Konstrukte und Selektionskriterien (siehe Kodierplan) kann dieses Argument jedoch in weiten Teilen entkräftet werden (Beelmann & Bliesener, 1994, S. 215). Nach Rhea (2004b, S. 922) ist das apples and oranges Argument insgesamt haltlos, da bei der Kodierung jede einzelne Variable unterschiedlich aufgenommen und entsprechend als Moderatorvariable identifiziert werden kann.

However, once again, the meta-analytic reviewer is able to code each variable (apples as apples, oranges as oranges) and later examine such issues as moderating variables. Theses procedures help the meta-analysis to avoid making inappropriate comparisons and conclusions while still allowing for the combination of many different, but related, studies.

Beelmann und Bliesener (1994) sowie Bortz und Döring (2006) vertreten in diesem Kontext ebenfalls eine liberalere Ansicht, da für sie das Ziel der Metaanalyse u. a. darin besteht, Zusammenfassungen über verschiedene Kontextbedingungen zur größeren Generalisierung der Ergebnisse und/oder näheren Untersuchungen differenzieller Befundmuster zu verwirklichen. Das apples and oranges Argument wurde im Kontext der eigenen Metaanalysen dahingehend berücksichtigt, indem die abhängige Variable entsprechend operationalisiert (1-RM; siehe Fußnote) und die unabhängigen Variablen durch den Kodierplan sowie festgelegte Kriterien wie sie im Rahmen von Krafttrainingsexperimenten und vergleichbaren Metaanalysen (Peterson et al., 2004; Rhea, 2004b; Rhea & Alderman, 2004; Rhea et al., 2003; Wolfe et al., 2004) beschrieben sind, berücksichtigt wurden.

---

<sup>50</sup> Bortz und Döring (2006, S. 675) weisen darauf hin, dass für die Auswahl der Operationalisierungsvarianten der abhängigen Variablen strengere Kriterien gelten sollten, da die verschiedenen abhängigen Variablen Indikatoren eines gemeinsamen inhaltlichen Konstruktes sind und somit hoch korreliert sein sollten. Die Operationalisierung der abhängigen Variablen bezog sich bei den zugrunde liegenden Metaanalysen auf das 1-RM, also das Konstrukt Maximalkraft für die jeweilige Übung bzw. Muskelgruppe.

### 4.1.3 Publication bias bzw. file drawer bias Argument

Der dritte Kritikpunkt im Kontext von Befundintegrationsverfahren bei Metaanalysen firmiert unter dem Selektivitätsproblem, dem so genannten publication bias oder file drawer bias. Demnach werden, so die Kritiker, bei Metaanalysen im Allgemeinen, – betrifft natürlich auch das narrative Review – einerseits nur veröffentlichte Studien berücksichtigt und andererseits sollen Studien mit signifikanten Ergebnissen überrepräsentativ vertreten sein. Daher, so die Argumentation sei die „wahre“ Forschungslage nicht ausreichend wiedergegeben. Inwieweit dies ein alleiniges Problem von Metaanalysen darstellt oder nicht generell dem Wissenschaftsprozess und der aktuellen Publikationspraxis geschuldet ist, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Bezieht man sich jedoch auf die Aussage von Bortz und Döring (2006, S. 694f.) so kann ein allgemeines Problem im derzeitigen Publikationsprozess vermutet werden:

Ein weiterer, auf Rosenthal (1979) zurückgehender Ansatz greift eine Problematik auf, die mit der »Herausgeberpolitik« vieler Zeitschriften verbunden ist. Es werden vorrangig Arbeiten mit hypothesenbestätigenden bzw. »signifikanten« Ergebnissen veröffentlicht, was dazu führt, dass metaanalytische Untersuchungen zu häufig die Existenz eines Effekts behaupten. »Misslungenen« Untersuchungen ohne signifikante Ergebnisse hingegen bleiben oft unveröffentlicht in der »Schublade« und entziehen sich damit einer metaanalytischen Berücksichtigung (**File-Drawer-Problem bzw. Publikationsbias**) [Hervorhebung im Original].

Dem File-Drawer-Problem wie es u. a. bei Bortz und Döring (2006), Green und Hall (1984), Hunter und Schmidt (2004) beschrieben ist, kann prinzipiell entgegen getreten werden, indem multiple Suchstrategien (z. B. Literaturdatenbanken, Internetrecherche, Querverweise zu bereits vorliegender Primärliteratur, Anschreiben von Forschergruppen, Listung von Qualifikationsarbeiten und Forschungsberichten, Schneeballsystem etc.) genutzt und somit möglichst auch „graue“ Primärstudien gesichtet und einbezogen werden. Des Weiteren kann das „fail safe N“ berechnet werden, welches die hypothetische Anzahl von Studien mit Nulleffekten angibt, die existieren müssten, um einen integrativen Befund so weit zu inflationieren, dass er statistisch bedeutungslos würde (Rosenthal, 1979). Inwieweit dies tatsächlich möglich scheint, wird anhand des Zitats von Hagger (2006, S. 107) verdeutlicht:

Further, an additional statistic has been proposed, known as “fail safe N”, which represents the number of studies with null results (i.e. tests of the effect size of interest that found zero effect) that would have to be found in order to reduce the corrected average effect size to a trivial level. A larger value for the fail-safe N that is preferably greater than the number of studies in the analysis is desirable because, provided the researcher has done an

adequate job in their literature search, it is unlikely that such a number of studies exists.

#### 4.1.4 Statistische Unabhängigkeit

Abschließend soll noch auf den Kritikpunkt der statistischen Unabhängigkeit der Effektstärken eingegangen werden. Zahlreiche inferenzstatistische Verfahren fordern als Voraussetzung die Unabhängigkeit der Daten. Im Rahmen der Primärforschung wird diesem Umstand im Allgemeinen durch Randomisierung der Untersuchungseinheiten Rechnung getragen. Bei der Durchführung metaanalytischer Verfahren tritt das Unabhängigkeitsproblem zumeist dadurch auf, dass multiple Maße (z. B. mehrere abhängige Variablen) und Wiederholungsmessungen bei der gleichen Stichprobe durchgeführt werden, identische Erhebungsbedingungen vorliegen und die verwendeten Messinstrumente interkorreliert sind (Bliesener, 1999, S. 62). Beelmann und Bliesener (1994, S. 219) schlagen hierzu drei Lösungswege vor: 1) Ignorieren der Abhängigkeitsproblematik, 2) Subgruppenanalyse und 3) multivariate Verfahren. Das Ignorieren des Problems scheint zwar methodisch fragwürdig, steht jedoch in der Glassschen Tradition und wird zahlreich praktiziert. Von geringer Parameterverzerrung ist in diesem Kontext auszugehen, wenn die Anzahl der berechneten Effektstärken nicht wesentlich größer als die Zahl der einbezogenen Primärstudien ist.

Die Subgruppenanalyse besteht darin, die einzelnen Primärstudien getrennt nach bestimmten abhängigen oder unabhängigen Variablen zusammenzufassen und dann nach verschiedenen Kategorien weiter zu analysieren. Der Ansatz erlaubt die multivariate Analyse (z. B. regressionsanalytisches Modell) der Effekte bei korrelierten abhängigen Variablen sowie die Prüfung von Moderatorvariablen. Einen Königsweg, wie generell mit dem Unabhängigkeitsproblem der Effektstärken umzugehen ist, scheint es derzeit nicht zu geben (Bliesener, 1999, S. 63). Die Unabhängigkeitsproblematik der Effektstärken wurde in den eigenen Metaanalysen insoweit berücksichtigt, dass nur eine abhängige Variable (die dynamische Maximalkraft) als Maß für die Veränderung im Trainingsprozess bzw. als Outcome berücksichtigt wurde. Bei verschiedenen Primärstudien war es jedoch möglich – und aufgrund einer insgesamt größeren Stichprobe empfehlenswert – mehrmals die Maximalkraft zu bestimmen (verschiedene Testübungen, unterschiedliche Körperregionen, verschiedene Muskelgruppen etc.). In diesen Fällen wurde eine Kategorisierung bzw. Kodierung vorgenommen und a posteriori eine Subgruppenanalyse durchgeführt. Auf eine Mittelwertbildung<sup>51</sup> und entsprechende Adjustierung wurde dabei verzichtet.

Zu weiteren Problemen und Kritikpunkten, als auch deren möglicher Lösung, wie sie bzgl. der Durchführung von Metaanalysen geäußert werden, sei auf die zahlreiche

---

<sup>51</sup> Rustenbach (2003, S. 119) verweist darauf, dass die Kombination abhängiger Effektstärken je nach Fragestellung durchaus sinnvoll sein kann, in der Integrationsforschung die Mittelung abhängiger Effekte jedoch zumeist ungeeignet erscheint. „Einerseits wird durch die Kombination eine Konfundierung der Integrationsergebnisse durch die Art und Anzahl eingehender Effekte multiplikativ potenziert, die Beziehungen sind linear kaum modellierbar. Andererseits ist eine entsprechende Formulierung der Varianz eines Kombinationseffekts nicht verfügbar.“

Grundlagenliteratur verwiesen (vgl. Beelmann & Bliesener, 1994; Bliesener, 1999; Bortz & Döring, 2006; Farin, 1994; Glass et al., 1981; Hunter & Schmidt, 2004; Rosenthal, 1991; Rosenthal & DiMatteo, 2001; Rustenbach, 2003).

Abschließend kann resümierend festgestellt werden, dass die Durchführung einer Metaanalyse umso erfolgsversprechender verläuft, je genauer die einzelnen abhängigen und unabhängigen Variablen operationalisiert werden, die Kategorisierung und Kodierung der Variablen durchgeführt wird, die Primärstudien auf multiplen Suchstrategien ausgeweitet und zahlreiche unterschiedliche Recherchewege und -techniken benutzt wurden, je größer die Zahl der zu integrierenden Primärstudien ist und je homogener und theoriegeleiteter die Fragestellung und daraus abgeleitet die Forschungshypothesen sind.

## 4.2 Metaanalyse zur Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik im Krafttraining

Die Diskussion zur Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik ist in den letzten Jahren intensiv (Byrd, 1999; Gießing, 2000; Kraemer, 1997; Kramer et al., 1997; Marx et al., 1998; Philipp, 1999a, 1999b; Schlumberger & Schmidtbleicher, 1999; Wolfe et al., 2004) und in Teilen emotional geführt worden (Szubski, 1999). Von Befürwortern des so genannten Einsatztrainings<sup>52</sup> wird angeführt, dass sich Effekte, welche durch ein Einsatztraining zu erzielen seien, nicht wesentlich von Anpassungseffekten eines Mehrsatztrainings unterscheiden würden und nur sehr wenige Primärstudien eine Überlegenheit des Mehrsatztrainings nachgewiesen hätten (Brown, 1999; Carpinelli, 2002; Carpinelli & Otto, 1998; Feigenbaum & Pollock, 1999; Starkey et al., 1996). So sollen nach Hass et al. (2000) ca. 80 bis 90 % der Effekte eines Mehrsatztrainings auch durch Einsatztrainingsinterventionen bei gesunden, untrainierten Personen erreicht werden. Im Gegensatz zur annähernd gleichen Effektivität von Einsatz- und Mehrsatztrainingsinterventionen sei jedoch die Effizienz des Einsatztrainings höher, da insgesamt weniger Zeit für das Training aufzubringen sei (Kieser, 1998). Feigenbaum und Pollock (1999, S. 41) resümieren in diesem Kontext:

In addition, the amount of time required to complete a single set program is substantially less than the one-half the time required to complete multiple set protocols. [...] Considering the similarities in strength gains for single and multiple set programs, single set programs are recommended because they are less time consuming, more cost efficient, and produce similar health and fitness benefits in the untrained person.

Diese Überlegungen mündeten u. a. in entsprechende Positionspapiere<sup>53</sup> des American College of Sports Medicine, welche „most of the fitness und health benefits“ durch ein Einsatztraining umgesetzt sahen (ACSM, 1998). Im Gegensatz dazu stehen viele empirische Untersuchungen von u. a. Borst et al. (2001), Craig und Kang (1994), Kraemer (1997), Kraemer et al. (2000), Mulligan et al. (1996), Peterson et al. (2004), Rhea et al. (2002; 2003), Rønnestad et al. (2007), Schlumberger et al. (2001), Wolfe et al. (2004), welche eine Überlegenheit von Mehrsatztrainingsinterventionen bei besser Trainierten und Fortgeschrittenen fanden und insgesamt von höheren absoluten Effekten (z. B. Veränderung der Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer, anabole Hormonausschüttung, Sprunghöhe etc.) berichten (Kraemer et al., 2002). Betrachtet man die Diskussion zur Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik wertneutral, so wird deutlich, dass die Fragen

---

<sup>52</sup> Auf die definitorisch-inhaltliche Inkonsistenz der verwendeten Begrifflichkeiten Einsatztraining und Mehrsatztraining haben bereits Gießing et al. (2005c) hingewiesen. Lösungsmöglichkeiten und methodische Alternativen hierzu wurden von Heiduk et al. (2002) sowie von Gießing et al. (2005c) erarbeitet.

<sup>53</sup> 2002 wurde das Positionspapier des American College of Sports Medicine dahingehend revidiert, dass dem Mehrsatztraining eine Überlegenheit bei der langfristigen Trainingsplanung eingeräumt wurde (Kraemer et al., 2002).

zur Effektivität und Effizienz beider Methoden nur in Abhängigkeit unterschiedlicher Verhaltensrationalitäten (Opportunitätskosten, Grenzertragskosten etc.), individueller Präferenzen und Restriktionen und kollektiver bzw. infrastruktureller Rahmenbedingungen<sup>54</sup> zu beantworten sind und letztendlich durch verschiedene intervenierende Variablen konfundiert erscheinen (Fröhlich, 2006). Im Rahmen der beiden Metaanalysen zur Einsatz- vs. Mehrsatztrainingsproblematik (Beiträge Nr. III und IV) wurde anhand von 52 bzw. 72 Primärstudien (N = 1934 [1093] Probanden bzw. N = 2428 [1587] Probanden) in Abhängigkeit von Studiendauer, Art der verwendeten Übungen, des Trainingszustandes, des Geschlechts, des Alters der Probanden sowie der zusätzlichen Verwendung von Periodisierungsstrategien die Effektivität und Effizienz (operationalisiert über die Effektstärke des 1-RM) in der kurz- und mittelfristigen Perspektive untersucht (Fröhlich, 2006; Fröhlich et al., 2010). Betrachtet man die intervenierenden Variablen in der Gesamtschau, so lässt sich konstatieren, dass die Effektivität und Effizienz des Einsatz- bzw. des Mehrsatztrainings unterschiedlich zu beurteilen ist, wobei deutliche Hinweise für die Überlegenheit des Mehrsatztrainings in verschiedenen Settings und unterschiedlichen Anwendungsfeldern sprechen, beispielsweise leistungsorientiertes Training mit langfristiger Ausrichtung (Lambert et al., 2008, S. 14). Die absoluten Effektstärken liegen beim Mehrsatztraining im Sinne der praktischen Relevanz deutlich über denen des Einsatztrainings, wobei keine Studie eine Überlegenheit des Einsatz- gegenüber dem Mehrsatztraining zeigen konnte (Kraemer & Ratamess, 2004). Die inferenzstatistische Prüfung zwischen Einsatztraining und Mehrsatztraining verfehlt bei der Replikationsstudie (Beitrag IV) nur knapp das Signifikanzniveau. Bezogen auf die verschiedenen intervenierenden Variablen lassen sich u. a. folgende praxisrelevante Ergebnisse aus den beiden Metaanalysen ableiten:

- Weibliche Studienteilnehmer scheinen sowohl mehr von einem Einsatz- als auch von einem Mehrsatztraining zu profitieren als männliche Teilnehmer. Männer wie auch Frauen erzielen höhere Effektstärken beim Mehrsatztraining im Gegensatz zum Einsatztraining. Die höheren Anpassungseffekte bei Frauen sind jedoch weniger auf generelle physiologische, neuromuskuläre sowie inter- und intramuskuläre Aspekte zurückzuführen (Cureton et al., 1988), sondern beruhen größtenteils auf geringeren Ausgangswerten, einem relativ geringeren Trainingszustand sowie Sozialisations- und Selektionseffekten.
- Sowohl beim Einsatztraining als auch beim Mehrsatztraining konnten keine signifikanten Alterseffekte in den Kategorien bis 22 Jahre bzw. über 22 Jahre (Beitrag III) sowie  $\leq 18$  Jahre, 19-59 Jahre und  $\geq 60$  Jahre (Beitrag IV) festgestellt werden. Die Effektstärken des Mehrsatztrainings liegen jedoch über alle Alterskategorien über denen des Einsatztrainings. Tendenziell kann geschlossen werden, dass das

---

<sup>54</sup> Schmidtbleicher (1997, S. 28) schreibt unter dem Zielkonflikt von Effektivität und Motivation im Fitnesstraining zum Aspekt des Einsatztrainings: „Dabei wird an jedem Gerät pro Trainingssitzung nur eine Serie (Ein-Satz) mit entsprechend hoher Wiederholungszahl absolviert. Langfristige Belegung eines Gerätes durch eine Person wird dadurch vermieden. (Dieses Vorgehen ist primär gegen die exzessive Gerätenutzung durch die Bodybuilder gerichtet).“

- Mehrsatztraining über verschiedene Altersbereiche hinweg zu größeren Anpassungseffekten führt.
- Betrachtet man den Trainingszustand der Primärstudienteilnehmer in den Kategorien „Trainiert“ und „Untrainiert“ (zu den Problemen der Operationalisierung des Trainingszustandes wurde in den einzelnen Beiträgen dezidiert Stellung genommen), so konnte sowohl in Beitrag III als auch in Beitrag IV deutlich nachgewiesen werden, dass Untrainierte – also Krafttrainingsbeginner – sowohl von einem Einsatz- als auch von einem Mehrsatztraining mehr profitieren, als Trainierte (Fortgeschrittene) (Kraemer & Ratamess, 2004). Da bei Krafttrainingsbeginnern davon auszugehen ist, dass sie auf Belastungsreize und Trainingsprozesse rasch und mit hohen relativen Zuwüchsen reagieren, verwundert dieses Ergebnis nicht (vgl. Funktionsmodell von Anpassungskapazität und Grenzertrag). Im weiteren Trainingsprozess müssen jedoch spezifischere und progressiv gesteigerte Belastungsreize gesetzt werden, damit noch entsprechende Anpassungsprozesse initiiert werden (Baechele & Earle, 2008; Fleck & Kraemer, 2004; Kraemer, 2002). Wie durch das Funktionsmodell verdeutlicht, sind bei Fortgeschrittenen nur noch relativ geringe Anpassungsprozesse zu erwarten ( $\Delta$  Funktionsreserve wird geringer), so dass, wie im Quantitätsgesetz des Trainings formuliert, die Belastungen immer weiter gesteigert werden müssen, um noch adäquate Anpassungen erzielen zu können. Hierzu zählt u. a. der Belastungsumfang, also die Anzahl an Serien in einer Trainingseinheit pro Übung oder Übungsform. Da in beiden Metaanalysen gezeigt werden konnte, dass ein Mehrsatztraining bei Fortgeschrittenen (Trainierten) zu größeren Effekten führt (Lambert et al., 2008), hätte man einerseits einen empirischen Beleg für das Quantitätsgesetz des Trainings und andererseits einen statistischen Nachweis für die Überlegungen zum Funktionsmodell des Trainings.
  - Betrachtet man den Einfluss der Studiendauer (Treatmentdauer; Beitrag III: Kategorie  $\leq 12$  Wochen bzw.  $> 12$  Wochen; Beitrag IV: 1-6 Wochen, 7-12 Wochen, 13-18 Wochen, 19-24 Wochen und 20-30 Wochen) auf die Effekte des Einsatz- bzw. Mehrsatztrainings, so zeigt sich, dass zu Beginn eines Trainingsprozesses noch nahezu vergleichbare Verbesserungen erzielt werden (die Effektstärken liegen beim Mehrsatztraining jedoch immer über denen des Einsatztrainings). Im weiteren Verlauf zeigt sich jedoch die Überlegenheit des Mehrsatztrainings durch die insgesamt größere Trainingsbelastung (Wolfe et al., 2004). Nach Kraemer (2002, S. 48): „The number of sets used in a workout is directly related to the training goals of the joint or musculature being trained. The number of sets are part of a volume calculation in strength training.“ Somit könnte man aus den bisherigen Ergebnissen schließen, dass zu Beginn eines Trainingsprozesses die Methodenwahl einen eher untergeordneten Einfluss ausübt (Kraemer & Ratamess, 2004), während im mittel- und langfristigen Trainingssteuerungsprozess das Mehrsatztraining Priorität besitzen sollte (vorausgesetzt das Ziel des Trainings besteht in der Verbesse-

- rung der Leistung bzw. der Leistungsfähigkeit und nicht in dem Erhalt der Leistung oder anderen Nutzen- bzw. Präferenzfunktionen) (Ratamess et al., 2009).
- Die systematische Methodenvariation von im Allgemeinen Belastungsintensität und Belastungsumfang in einem definierten Zeitraum (Mesozyklus) durch so genannte Periodisierungsmodelle ist im langfristigen und leistungsorientierten Krafttraining unentbehrlich und hinlänglich dokumentiert (Fröhlich et al., 2009c; Kraemer & Fleck, 2007). Der Einfluss solcher Periodisierungsmodelle im Rahmen von Einsatz- und Mehrsatztrainingsinterventionen ist jedoch wenig systematisch untersucht. Die Ergebnisse der beiden Metaanalysen zeigen, dass die Effektstärken sowohl beim Einsatztraining als auch beim Mehrsatztraining bei zusätzlicher Verwendung von Periodisierungsmaßnahmen über denen ohne entsprechende Methodenvariation liegen (Fleck, 2002). Die Effekte sind beim Mehrsatztraining zudem deutlich höher als beim Einsatztraining.

Betrachtet man die Ergebnisse der Metaanalysen abschließend unter den Aspekten von Effektivität und Effizienz sowie in Abhängigkeit der Präferenzen und Restriktionen unterschiedlicher Nutzer- und Anwendergruppen, so bestätigen diese, dass zu Beginn eines Krafttrainingsprozesses, bei Anfängern beiderlei Geschlechts durch Einsatz- und Mehrsatztrainingsmaßnahmen die Kraftfähigkeit gesteigert werden kann (Carpinelli & Otto, 1998; Feigenbaum & Pollock, 1999). Dauert der Trainingsprozess länger an und haben die Probanden bereits einen bestimmten Trainingszustand erreicht, so führen Mehrsatztrainingsmethoden mit Periodisierungsmaßnahmen zu deutlich größeren Verbesserungen der Kraft<sup>55</sup> (Galvao & Taaffe, 2005; Kelly et al., 2007; Landin & Nelson, 2007; Rønnestad et al., 2007). Das American College of Sports Medicine schreibt in seiner aktuellen Empfehlung für gesunde Erwachsene hierzu (Ratamess et al., 2009, S. 690f.):

These data have prompted the notion that untrained individuals respond favorably to both single- and multiple-set programs and formed the basis for the popularity of single-set training among general fitness enthusiasts (68). In resistance-trained individuals, multiple-set programs have been shown to be superior for strength enhancement (142, 149, 155, 160, 228, 238) in all but one study (110).

Ist die Kraftfähigkeit mitbestimmend für die sportliche Leistungsfähigkeit in der Sportart bzw. Disziplin und steht der Trainingsprozess unter der Prämisse der Leistungssteigerung – im leistungsorientierten Freizeit-, Breiten- und Spitzensport – so ist das periodisierte Mehrsatztraining die Methode der Wahl, auch wenn das Mehrsatztraining in der

---

<sup>55</sup> Zu weiteren Veränderungen und Anpassungen welche durch ein Mehrsatztraining im Gegensatz zu einem Einsatztraining initiiert werden – u. a. Kraftausdauer, Body-Mass-Index, Körperzusammensetzung, metabolische, kardiovaskuläre und hormonelle Adaptationen etc. – wird auf Fröhlich (2006) sowie auf Fröhlich et al. (2010) verwiesen.



einzelnen Trainingseinheit mehr Zeit benötigen sollte. Soll das erzielte Kraftniveau gehalten werden bzw. wird dem Krafttraining eine eher untergeordnete Rolle im allgemeinen Trainingsprozess in der Sportart zugesprochen und/oder spielen ökonomische, zeitliche, infrastrukturelle Einschränkungen eine entscheidende Rolle, so kann auf ein periodisiertes Einsatztraining zurückgegriffen werden. Letztendlich spielt die eigentliche Zieldimension des Trainings unter der Maßgabe von individuellen Präferenzen und äußeren Einschränkungen die entscheidende Rolle, wenn es darum geht, ein Krafttraining mit nur einem Satz oder mit mehreren Sätzen pro Übung bzw. Muskelgruppe und Trainingseinheit durchzuführen. Die beiden Metaanalysen zeigen hierzu den möglichen Korridor auf, in dem die verschiedenen Effekte zu erwarten sind.

### 4.3 Metaanalyse zur optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining

Neben der Anzahl an Serien (synonym Sätzen) bei einer Übung oder für eine Muskelpartie bzw. -gruppe innerhalb einer einzelnen Trainingseinheit, spielt das Wissen über die möglichst optimale, minimale oder maximale Anzahl an Trainingseinheiten in einem definierten Zeitraum eine mit entscheidende Rolle für die zielgerichtete und adäquate Belastungsgestaltung und somit für die Auslösung von Trainingsanpassungsprozessen in der kurz-, mittel- und langfristigen Perspektive (Lambert et al., 2008). Als definierter Trainingszeitraum wird im Allgemeinen ein Mikrozyklus<sup>56</sup>, hier eine Trainingswoche, zu Grunde gelegt (Wathen et al., 2008, S. 509). Je nach Zielstellung des Trainings, des aktuellen Leistungsniveaus, der Rahmenbedingungen und weiteren trainingsmethodischen Präferenzen und Restriktionen, wie physiologische und neuromuskuläre Erholungs- und Wiederherstellungsprozesse (Bigland-Ritchie et al., 1986; Halson & Mujika, 2008; Hultman et al., 1981; Raastad & Hallén, 2000), variiert dabei die Anzahl von Trainingseinheiten zwischen einer bis zu 18-20 Einheiten pro Woche in Form von Split Routinen (Baechle & Earle, 2008; Fleck & Kraemer, 2004; Kennedy, 2008; Ratamess et al., 2009; Zatsiorsky & Kraemer, 2008). Nach Baechle et al. (2008, S. 389) sollten je nach Trainingsstatus die in der folgenden Tabelle wiedergegebene Anzahl von Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt werden.

*Tab. 1: Trainingshäufigkeit in Abhängigkeit vom Trainingszustand der Probanden (n. Baechle et al., 2008, S. 389)*

| Training status | Frequency guidelines (sessions per week) |
|-----------------|------------------------------------------|
| Beginner        | 2-3                                      |
| Intermediate    | 3-4                                      |
| Advanced        | 4-7                                      |

Hoffman et al. (1990) stellen in diesem Kontext darauf ab, dass die Informationen zur Trainingshäufigkeit noch relativ unspezifisch und entsprechende Trainingsempfehlungen eher theoretisch – im Sinne von Resynthese und Wiederherstellungsprozessen – begründet, denn empirisch verifiziert sind. In diesem Zusammenhang verweist Schmidtbleicher (1997, S. 28) darauf, dass die im Leistungssport übliche Anzahl von Trainingseinheiten nicht vorbehaltlos auf ein Fitnesstraining übertragen werden kann. Generell lässt sich derzeit bzgl. einer optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining konstatieren, dass diese Empfehlungen recht willkürlich festgelegt sind und eher durch theoretische Plausibilitätsüberlegungen bzw. implizite ökonomische Ansätze wie Aufwand-Nutzen-Relationen begründet sind. Unter der Perspektive der Effektivität im Fitnesstraining ist bei Schmidtbleicher (1997, 28) weiter zu lesen: „Grundsätzlich gilt: bei hohem Leistungsstand und bei Anfängern genügen 1-2 Trainingseinheiten pro Woche. Zusätzliche Trainingseinheiten

<sup>56</sup> Ein Mikrozyklus ist typischerweise eine Woche lang, kann aber bis zu vier Wochen betragen (Wathen et al., 2008, S. 509). Die Ausführungen im vorliegenden Fall beziehen sich auf eine Woche.

beeinflussen den Trainingseffekt negativ und beanspruchen Platzkapazitäten an den Geräten.“ Betrachtet man die physiologischen und neuromuskulären Regenerationszeiten – speziell diejenigen bezogen auf die Proteinsynthese<sup>57</sup> – verschiedener Subsysteme (Tesch, 1992) und setzt diese in Relation zur optimalen Trainingshäufigkeit pro Woche, so werden beispielsweise von Candow und Burke (2007) sowie von Raastad und Hallén (2000) nach 48<sup>58</sup> Stunden Regeneration erneute Trainingseinheiten für möglich gehalten (Chesley et al., 1992; MacDougall et al., 1995; MacDougall et al., 1992). Somit wären insgesamt drei Trainingseinheiten pro Woche zu realisieren, da die entsprechenden neurophysiologischen und metabolischen Systeme ihr Ausgangsniveau wieder erreicht haben. Im Gegensatz dazu stehen die Untersuchungen von McLester et al. (2003) sowie Wernbom et al. (2007), welche deutlich längere Regenerationszeiten von 72-96 Stunden nach Kraftbelastungen für angemessen halten. Dies würde ein zweimaliges Krafttraining pro Woche bedeuten (Feigenbaum & Pollock, 1999). Schmidtbleicher und Frick (1998) konnten zeigen, dass eine Wiedererlangung des Schnellkraftvermögens erst 72 Stunden nach einer Kraftausdauer bzw. Hypertrophieeinheit festzustellen ist, im Gegensatz zu drei Stunden nach einem Maximalkrafttraining. Eine letztendliche Entscheidung über den aktuellen Regenerationsgrad muss jedoch in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren wie Trainingszustand, verwendeter Trainingsmethode, Ausgangsniveau sowie beanspruchtem Bereich (z. B. Muskelgruppe, -typ und -größe etc.) getroffen werden. Geht man weiterhin davon aus, dass neben den (neuro-)physiologischen, metabolischen und stoffwechselphysiologischen Aspekten ökonomische, situative und kontextspezifische Einflussfaktoren bei der Planung und Realisierung von Trainingseinheiten eine Rolle spielen, so wird deutlich, dass die Frage nach der optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining mehrdimensional zu betrachten und je nach Anwendungsgebiet (z. B. Gesundheits-, Breiten- und Leistungssport etc.) zu entscheiden ist. Unter ökonomischer Perspektive geht es somit darum, den verbundenen Grenznutzen verschiedener Verhaltensalternativen (z. B. Ausdauertraining, Techniktraining, Schnelligkeitstraining etc.) optimal in Relation zum Krafttraining zu wählen. Daher gilt es den Nutzen einer weiteren, eventuell zusätzlichen Krafttrainingseinheit pro Woche empirisch zu prüfen.

Da im Sinne der Evidence Based Medicine sowie unter dem Kalkül von Effektivität und Effizienz Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden, und die Sportpraxis entsprechende Hinweise seitens der Trainingswissenschaft einfordert, wurde anhand der Beiträge V und VI die Thematik bearbeitet, diskutiert und mögliche Lösungswege aufgezeigt. Nach Schlicht und Lames (1993, S. 91) ist bei der Generierung technologischer Re-

---

<sup>57</sup> Die Proteinsynthese wird dabei maßgeblich durch die Proteinverfügbarkeit sowie den Proteintransport, die Insulinkonzentration, anabolwirkende Hormone (z. B. Wachstumshormone (GH), Testosteron, insulin-like growth factor-1, mechano-growth factor) und den mechanischen Stimulus bestimmt (Liu et al., 2007; 2008). Zur Wirkungsweise und Ausschüttung von IGF-I und MGF sei auf Liu et al. (2007) verwiesen.

<sup>58</sup> Gibala et al. (1995) konnten zeigen, dass die zeitliche Wiederherstellung der Muskelstruktur von der Muskellarbeitsweise (konzentrisch vs. exzentrisch) abhängig ist und somit pauschale Wiederherstellungszeiträume zu überdenken sind.

geln im Sinne von Handlungsempfehlungen zu berücksichtigen, dass keine Handlungsempfehlungen – respektive Regeln – für sämtlich erdenkliche Aufgabensituationen zu formulieren, sondern zunächst wichtige und typische Situationsklassen zu definieren sind. Dies bedingt Abstraktion und Generalisierbarkeit von Erkenntnissen. Die entsprechenden „Situationsklassen“ wie sie Schlicht und Lames (1993) ansprachen, betrafen in diesem Kontext u. a.: den Trainingszustand, das Geschlecht, das Alter der Probanden, die verwendete Trainingsmethode und die zusätzliche Verwendung von Periodisierungsmaßnahmen. Des Weiteren wurde die Trainingshäufigkeit aufgrund methodischer und methodologischer Einschränkungen nur auf den Korridor von einer bis sechs Trainingseinheiten pro Woche bezogen. Die Ergebnisse der beiden Metaanalysen zur optimalen Trainingshäufigkeit lassen sich allgemein wie folgt zusammenfassen und bewerten (Fröhlich & Schmidtbleicher, 2008; Fröhlich et al., 2007d):

- Die Trainingshäufigkeit pro Woche hat einen Einfluss auf die Veränderung der Maximalkraft (Fröhlich & Emrich, 2008; Ratamess et al., 2009). Eine, fünf und sechs Trainingseinheiten pro Woche scheinen weniger effizient zu sein, als zwei, drei oder vier Trainingseinheiten (Fröhlich & Schmidtbleicher, 2008, S. 8). Zwischen zwei- und dreimaligem Krafttraining pro Woche ist kein signifikanter Unterschied festzustellen (Brazell-Roberts & Thomas, 1989; Candow & Burke, 2007; Carroll et al., 1998; Schmidtbleicher & Fröhlich, 2008; Stadler et al., 1997; Wirth, 2007; Wirth et al., 2007). Eine Trainingseinheit pro Woche kann im Rahmen der Primärprävention, des Gesundheits- und nicht leistungsorientierten Freizeit- und Breitensports durchaus eine Relevanz haben (DeRenne et al., 1996; McLester et al., 2000), während im Leistungssport aufgrund der höheren Belastungstoleranz und des allgemein verbesserten Regenerationsverhaltens fünf und sechs Krafttrainingseinheiten als möglicherweise lohnend zu erachten sind (Hoffman et al., 1990).
- In Abhängigkeit von intervenierenden Variablen wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand und verwendeter Krafttrainingsmethode haben unterschiedliche Trainingshäufigkeiten einen Einfluss auf die Veränderung der Maximalkraft (Fröhlich & Emrich, 2008). Vergleicht man den Effekt zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten, so ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen (Peterson et al., 2004).
- Trainingsinterventionen mit und ohne zusätzliche Verwendung von Periodisierungsmaßnahmen (eine Differenzierung in lineare Blockperiodisierung vs. wellenförmige Periodisierung wurde nicht vorgenommen; siehe hierzu Beitrag Nr. VII) zur progressiven Belastungssteigerung zeigen einen signifikanten Unterschied im Haupteffekt Trainingshäufigkeit.
- Da neben der Effektivität auch die Effizienz (Aufwand-Nutzen-Relation in der Zeit) der einzelnen Trainingseinheiten pro Woche eine Rolle spielt, kann aus den Ergebnissen im Sinne des Funktionsmodells von Anpassungskapazität und Grenz-

ertrag geschlossen werden, dass bei zwei Trainingseinheiten pro Woche die ersten dauerhaften Steigerungseffekte der Maximalkraft zu erwarten sind und zwischen drei und vier Trainingseinheiten die maximalen Anpassungseffekte bzgl. der Veränderung der Maximalkraft realisiert werden (Fröhlich et al., 2007c). Überträgt man diese Aspekte auf verschiedene Anwendungsfelder (Rhea et al., 2003), so hätte man einen Beleg für zwei Trainingseinheiten im Bereich des Präventions-, Rehabilitations- und Gesundheitssports und von drei Einheiten für den ambitionierten Breitensport sowie den Leistungssport. In besonders kraftorientierten Sportarten, wie in der Leichtathletik das Kugelstoßen und der Hammerwurf, wären vier Trainingseinheiten pro Woche zu empfehlen.

- Eine für alle Muskelgruppen, Trainingsbereiche, Adressaten und Anwendungssettings einheitlich geltende Trainingshäufigkeit gib es nicht. Vielmehr sollten im Sinne hoher Variabilität die eigentliche Zielstellung, die individuellen Kosten- und Nutzen-Relationen, das vorhandene Leistungsniveau etc. betrachtet und berücksichtigt werden. Individuell und intraindividuell kann aus den empirischen Befunden ein Belastungskorridor zur optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining pro Woche abgeleitet und ausgesprochen werden (Ratamess et al., 2009).

#### 4.4 Metaanalyse zur Trainingsperiodisierung im Krafttraining

Zahlreiche empirische Primärstudien sowie Übersichtsbeiträge und Metaanalysen zur Krafttrainingsforschung konnten nachweisen, dass die systematische Methodenvariation – Periodisierung<sup>59</sup> – einerseits bessere Erholungsverläufe zwischen den einzelnen Belastungsreizen erwarten lässt und Leistungsstagnationen in Form von Anpassungsplateaus vermieden werden können, und andererseits langfristig größere Kraftzuwächse generiert werden (Bompa, 1999; Fleck & Kraemer, 2004; Matwejew, 1981; Stone et al., 1999a; Stone et al., 2000). So besteht innerhalb der Sportwissenschaft allgemein Konsens darüber, dass Periodisierungsmodelle Trainingsinterventionen ohne entsprechende Belastungsvariation mittel- und langfristig in Bezug auf Kraftentwicklung, Schnellkraft und physische Leistungsfähigkeit überlegen sind (Baechle & Earle, 2008; Fleck, 1999, 2002; Fleck & Kraemer, 2004; Haff, 2004a, 2004b; Kraemer et al., 2002; Kraemer & Fleck, 2007; Kraemer et al., 2000; Peterson et al., 2008; Ratamess et al., 2009; Stone et al., 1999b; Stoppani, 2006; Willoughby, 1993). Des Weiteren ist durch die Periodisierung die Gefahr von Übertrainingszuständen (overreaching und overtraining) reduziert und die Wiederherstellung verschiedener physiologischer Systeme berücksichtigt (Smith, 2003; Stone et al., 2000). In diesem Rahmen konnten Rhea und Alderman (2004) metaanalytisch anhand zahlreicher Primärstudien nachweisen, dass periodisiertes Training, unabhängig von Alter, Geschlecht oder Trainingsstatus, einer nicht periodisierten Variante überlegen ist (siehe auch die Ergebnisse der Beiträge III bis VI). Dadurch widerlegen sie die von Baker et al. (1994) gemachte Annahme, dass Untrainierte in den ersten vier Wochen die gleichen Maximalkraftzuwächse realisieren, egal welche Trainingsmethode sie befolgen.

Ungeklärt sind allerdings bis dato die Fragen, welche Periodisierungsmodelle kurz- und langfristig zu größeren Effekten führen und welchen Einfluss verschiedene Moderatorvariablen haben (Monteiro et al., 2009). Der Beitrag Nr. VII, publiziert in der Deutschen Zeitschrift für Sportmedizin (Fröhlich et al., 2009c), untersuchte in diesem Zusammenhang die Effektivität zweier unterschiedlicher Periodisierungsmodelle, nämlich die klassische oder lineare Periodisierung (linear or classic model of periodization) sowie die wellenförmige Periodisierung<sup>60</sup> (non-linear or undulating model of periodization) (Fleck & Kraemer, 2004; Kraemer & Ratamess, 2004; Poliquin, 1988; Schwellnus, 2008). Während die lineare Blockperiodisierung im Allgemeinen aus fünf einzelnen Mesozyklen zu je vier bis sechs Wochen Dauer besteht, werden bei der wellenförmigen Periodisierung Belastungsvolumen und Belastungsintensität in relativ hoher Frequenz variiert, um neuromuskuläre Anpassungen an die zu bewältigende Trainingslast zu erreichen (Buford et al., 2007; Kraemer et al., 2004; Tan, 1999). Die beiden folgenden Tabellen verdeutlichen

<sup>59</sup> Unter Periodisierung im Krafttraining versteht man im Allgemeinen die mehr oder weniger systematische Variation von Belastungsmerkmalen des Trainings von in der Regel Belastungsintensität und -volumen zur mittel- und langfristigen Einwirkung auf die motorische Leistungsfähigkeit im Sinne der Leistungsverbesserung (Prestes et al., 2009).

<sup>60</sup> Weitere Periodisierungsmodelle wie rückschrittige Blockperiodisierung (reverse linear periodization), tägliche wellenförmige Periodisierung (daily undulating periodization), flexible nichtlineare Periodisierung (flexible nonlinear periodization) wurden aufgrund zu geringer Anzahl an Primärstudien ausgeklammert (Wirth & Schmidtbleicher, 2007).

exemplarisch den jeweiligen Belastungscharakter sowie die entsprechende Variation in den zeitlichen Phasen<sup>61</sup> von linearer Blockperiodisierung und wellenförmiger Periodisierung (Haff, 2004a; Lambert et al., 2008; Ratamess et al., 2009; Wilmore et al., 2008; Wirth & Schmidtbleicher, 2007).

Tab. 2: *Classic strength/power periodization model (n. Fleck & Kraemer, 2004, S. 214)*

|           | Hypertrophy | Strength | Power    | Peaking   | Active rest             |
|-----------|-------------|----------|----------|-----------|-------------------------|
| Sets      | 3-5         | 3-5      | 3-5      | 1-3       | Light physical activity |
| Reps/set  | 8-12        | 2-6      | 2-3      | 1-3       |                         |
| Intensity | Low         | Moderate | High     | Very high |                         |
| Volume    | Very high   | High     | Moderate | Low       |                         |

Tab. 3: *Alternating accumulation and intensification phases for strength development (n. Poliquin, 1988, S. 35)*

| Weeks     | 1-2     | 3-4     | 5-6     | 7-8     | 9-10    | 11-12   |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Reps      | 10-12   | 4-6     | 8-10    | 3-5     | 5-7     | 2-3     |
| Sets      | 3       | 5       | 4       | 5       | 4       | 6       |
| Intensity | 70-75 % | 82-88 % | 75-78 % | 85-90 % | 80-85 % | 90-95 % |
| Volume    | 30-36   | 20-30   | 32-40   | 15-25   | 20-28   | 12-18   |

Da die wissenschaftliche Evidenz, inwieweit lineare Blockperiodisierung bzw. wellenförmige Periodisierung in Abhängigkeit vom Trainingszustand, dem Geschlecht, der Trainingsdauer, der verwendeten Trainingsübungen etc. zu vergleichbaren oder unterschiedlichen Outcome-Effekten führen, bisher noch wenig systematisch untersucht wurde (Cissik et al., 2008), sollte hierzu durch die vorliegende Studie (Nr. VII) ein Beitrag geleistet werden (Monteiro et al., 2009). Ausgehend von 35 selektierten Primärstudien mit insgesamt 2107 Probanden konnten bezüglich der beiden Periodisierungsmodelle 130 Effektstärken als quantitative Maße für praktische Relevanz berechnet werden. Die Ergebnisse der statistischen Metaanalyse lassen sich wie folgt zusammenfassen (Fröhlich et al., 2009c):

- Die mittlere Effektstärke für ein blockförmig periodisiertes Krafttraining betrug  $0.93 \pm 0.6$  ( $N = 94$ ;  $CI = 0.81-1.06$ ). Die Auswertung der wellenförmigen Periodisierung ergab eine Effektstärke von  $0.93 \pm 0.75$  ( $N = 35$ ;  $CI = 0.67-1.18$ ). Der Gruppenvergleich war entsprechend nicht signifikant ( $F_{(1, 127)} = 0.002$ ;  $p = 0.97$ ;  $\eta^2 = 0.000$ ). Beide Modelle weisen, bezogen auf die Effektstärkenklassifizierung von Rhea (2004a), einen moderaten Effekt aus.

<sup>61</sup> Die einzelnen Phasen der linearen Blockperiodisierung liegen im Allgemeinen bei ca. 4-6 Wochen, respektive bei ein bis zwei Monaten (Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S. 17). Der Hypertrophieblock kann jedoch speziell bei kraft- und schnellkraftdeterminierten Sportarten 8-12 (16) Wochen dauern. Je nach Sportart bzw. Disziplin, Leistungsniveau, Länge der allgemeinen Vorbereitungsperiode, Ziel des Krafttrainings, Wettkampfdichte usw. kann jedoch von dieser Vorgabe abgewichen werden. Periodisierung ist demnach kein starres Modell, sondern muss den Athleten/Sportler direkt einbeziehen (2004, S. 196ff.).

- Bezüglich der Einflussvariable Alter konnten keinerlei signifikante Unterschiede, weder im Gruppenvergleich noch zwischen den Alterskategorien, festgestellt werden. Im Haupteffekt Geschlecht wurde ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der Frauen festgestellt.
- Die Untersuchung des Trainingszustandes ergab für eine blockförmige Periodisierung bei trainierten Probanden eine Effektstärke von  $0.90 \pm 0.61$  (CI = 0.74-1.06) und von  $1.09 \pm 0.57$  (CI = 0.86-1.32) bei Untrainierten. Die wellenförmige Periodisierung wirkte sich mit einer Effektstärke von  $0.73 \pm 0.50$  bei Trainierten (CI = 0.49-0.96) bzw. von  $1.49 \pm 1.10$  (CI = 0.95-2.02) bei Untrainierten aus. Der Haupteffekt Trainingszustand war signifikant.
- Der Einfluss der verwendeten Testübungen, differenziert für die unteren bzw. für die oberen Extremitäten, lieferte folgende Ergebnisse: Effektstärken von  $1.01 \pm 0.63$  (CI = 0.84-1.18) für Testübungen für die unteren Extremitäten und von  $0.83 \pm 0.53$  (CI = 0.63–1.03) für die oberen Extremitäten bei einem blockförmigen Modell. Analog hierfür ergab sich eine Effektstärke von  $0.97 \pm 0.75$  (CI = 0.68-1.25) bzw.  $0.88 \pm 0.77$  (CI = 0.55-1.20) bei einer wellenförmigen Periodisierung.
- Bezüglich des Kriteriums Interventionsdauer konnten keine signifikanten Haupt- und Interaktionseffekte festgestellt werden.
- Orientiert an der trainingswissenschaftlichen Effektstärkeeinteilung nach Rhea (2004a) zeigen beide Modelle insgesamt einen moderaten Effekt.

Resümierend kann aus den Ergebnissen gefolgert werden, dass beide Periodisierungsmodelle zu gleichwertigen Effekten führen und damit alternative Strategien für ein effektives Krafttraining darstellen und dies sowohl für untrainierte als auch für trainierte Probanden sowie für Männer und Frauen verschiedenen Alters (Baker et al., 1994; Buford et al., 2007; De Hoyos et al., 2005; Hartmann et al., 2008; Niknafs & Kok, 2008; Peterson et al., 2008).

Aus der Perspektive des zu erzielenden Outcomes – Steigerung der Maximalkraft – ist es also zunächst unerheblich, welche Periodisierungsvariante gewählt wird. Aus sportpraktischer Sicht scheint jedoch eine wellenförmige Periodisierung bei Mannschaftssportarten wie Fußball, Basketball, Volleyball etc., aber auch bei Individualsportarten wie Tennis oder Badminton, zumindest während der Saison, von Vorteil, da ein Krafttraining einerseits flexibler und individueller abgestimmt werden kann und andererseits die Bedeutung einiger weniger Wettkampfhöhepunkte in den Hintergrund tritt (Haff, 2004a). In Bezug auf die langfristige Trainingsplanung wäre demnach denkbar, ein blockförmig periodisiertes Krafttraining in der Vorbereitungsphase (off-season) durchzuführen, um die entsprechenden körperlichen Voraussetzungen zu schaffen und die Sportler auf die bevorstehenden Belastungen vorzubereiten. In der Wettkampfphase (in-season) könnte daran anknüpfend ein wellenförmiges Modell gewählt werden, um durch die Flexibilität des



Modells auf Terminpläne, Verletzungen oder Ermüdung reagieren zu können (Hasegawa et al., 2002). Die dadurch zu erreichende optimale Individualisierung des Trainingsprozesses stellt damit den „gold standard“ für jedes Training dar (Kraemer, 2008). Für untrainierte Freizeitsportler kann ein wellenförmiges Krafttraining dann empfohlen werden, wenn die Intensitäten anfänglich eher moderat gehalten und auf IK-Einheiten aufgrund der Verletzungsproblematik verzichtet werden. Ähnliches gilt für junge Athleten, die gerade ihr Aufbautraining begonnen haben. Für krafttrainingserfahrene Freizeit- und Wettkampfsportler stellt das wellenförmige Modell eine lohnende Alternative zur klassischen Periodisierung dar, um eventuell vorhandene Trainingsplateaus zu durchbrechen und neue Trainingsreize zu setzen (Monteiro et al., 2009).

## 5 Übergreifende Anwendungsbeispiele für ökonomische Überlegungen in der Trainingswissenschaft

Die nachfolgend aufgeführten Anwendungsbeispiele für ökonomische Überlegungen im Bereich der Trainingswissenschaft tangieren einerseits Aspekte der Effizienz – bezogen auf die Zeit als knappe Ressource (Becker, 1965) – und andererseits Überlegungen zu verbundenen Grenznutzen als Kalkül für rationale Entscheidungsprozesse in Trainings- und Wettkampfsituationen. Die Zeit, explizit die für Training nutzbare Zeit, als knappe Ressource wurde bereits bei Büch (2005), Emrich et al. (2005) sowie Fröhlich et al. (2007a) thematisiert und spezifiziert. Einsparungspotenziale der Ressource Zeit sowie abgeleitet die alternative Verwendung in anderen Kontexten (z. B. zur Regeneration bzw. für andere sportliche Aktivitäten) und Bereichen (z. B. für Emanzipation [Schaffung individueller Freiräume], Kompensation [Ausgleich für Entbehrungen] und Enkulturation [Bildung]) wird explizit im Beitrag zur optimalen Serienanzahl im Bereich des Kraftausdauertrainings sowie in den beiden Beiträgen zu Intensitätstechniken im Krafttraining herausgearbeitet und verdeutlicht. Verbundene Grenznutzenüberlegungen zur Beantwortung der Fragen: Welche Investition ist bei alternativen Handlungsoptionen in der Summe die aussichtsreichste? werden im olympischen Triathlon, und dies sowohl für die optimale Entscheidung im Wettkampf als auch für die Trainingsplanung anhand der beiden Beiträge (Nr. XI und XII), angestellt und erörtert. Letztendlich soll anhand der einzelnen, anwendungsorientierten Beispiele verdeutlicht werden, dass ökonomische Prämissen zunehmend trainingswissenschaftliche Handlungsanweisungen mitbestimmen und die Trainingswissenschaft in diesem Kontext somit erst am Anfang weiterer Forschungsbemühungen von Ökonomie als Methode und Trainingswissenschaft steht.

### 5.1 Zur optimalen Serienanzahl im Bereich des Kraftausdauertrainings

Für den Bereich des Kraftausdauertrainings konnte Fröhlich (2003) erstmals den Nachweis erbringen, dass unter Effizienzaspekten drei Serien als ausreichend anzusehen sind. Dies bedeutet, eine zusätzliche Belastungsserie – im Allgemeinen werden fünf bis sechs Serien in der Literatur angegeben (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Hohmann et al., 2002; Martin et al., 1993) – liefert nur noch einen marginalen weiteren Outcome zur angestrebten Trainingsverbesserung bzw. zur adäquaten metabolischen Beanspruchung. Zur weiteren Aufklärung dieser Erkenntnis im Sinne der Modellbetrachtung von Anpassungskapazität und Grenzertrag wurde ausgehend von einer klassischen Reizkonfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer wie sie in der folgenden Tabelle wiedergegeben ist, überprüft, inwieweit sich anhand konstanter Wiederholungszahlen in der einzelnen Serie, die realisierte Gewichtslast verändert und inwiefern ein entsprechendes Plateau im Reduktionsverlauf der Last nachzuweisen ist (Beitrag Nr. VIII). Sollte sich der bei Fröhlich (2003) gezeigte Aspekt über mehrere Serien (zehn Serien) nachweisen lassen, so hätte man einen Hinweis, wie Trainingszeit im Kraftausdauertraining eingespart werden kann und somit alternative Handlungsoptionen ausgeführt werden können (Opportunitätskosten).

Tab. 4: Reizkonfiguration der Trainingsmethode zur Entwicklung der Kraftausdauer (n. Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 232)

| Reizkonfiguration                              |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)    | 50 bis 60 %       |
| Wiederholungen pro Serie                       | 20 bis 40         |
| Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe) | 6 bis 8           |
| Serienpause                                    | 0,5 bis 1 min     |
| Kontraktionsgeschwindigkeit                    | langsam bis zügig |

An der explorativen Studie zur Erkundung einer so genannten Dauerleistungsgrenze<sup>62</sup> für den Bereich des Kraftausdauertrainings nahmen sechs krafttrainingserfahrene Probanden (Alter  $31,8 \pm 10,3$  Jahre; Körpergewicht  $78,6 \pm 7,8$  kg; Körpergröße  $180 \pm 5,8$  cm; 1-RM im Bankdrücken  $79,7 \pm 14,2$  kg) teil. Unter ökonomischer Perspektive könnte die „Dauerleistungsgrenze“ als gerade noch positives Delta der Funktionsreserve bezeichnet werden (Annäherung an den Kulminationspunkt). Nach den Ausführungen von Hollmann und Hettinger (2000, S. 123) halten sich bis zur Dauerleistungsgrenze die Stoffwechselabbau- und -aufbauvorgänge insgesamt die Waage. Die Aufgabenstellung für die Probanden bestand darin, jeweils 25 Wiederholungen zu realisieren, wobei die einzelne Serie zur Ausbelastung führen sollte (25-RM). Insgesamt sollten zehn Serien durchgeführt werden. Als abhängige Variable wurden die bewältigte Last bei 25-RM, die physiologische Arbeit (Time under Tension), die physikalische Arbeit (Last  $\times$  Hubweg  $\times$  Wiederholungszahl) sowie die erbrachte Leistung ((Last  $\times$  Hubweg  $\times$  Wiederholungszahl)/Zeit) erhoben. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen und interpretieren (Fröhlich et al., 2004):

- Der Rückgang der bewältigten Last bei 25-RM betrifft hauptsächlich die ersten drei Serien (Richmond & Godard, 2004). Die Time under Tension (TuT) als Parameter für die physiologische Arbeit bleibt über die einzelnen Serien hinweg relativ konstant (ca. 50-55 Sekunden) und verbleibt in dem entsprechenden Zeitkorridor für kraftausdauerspezifische Adaptationen (Schmidtbleicher, 1989).
- Die verrichtete physikalische Arbeit reduziert sich von der ersten bis zur dritten Serie um ca. 44 % und pendelt sich ab der vierten Serie bei ca. 50 % des Ausgangsniveaus der ersten Serie ein. Die verrichtete Leistung pro Serie erreicht ab der vierten Serie nur noch ca. 50 % der ersten Serien.
- Ab der dritten bzw. vierten Serie bildet sich bzgl. der verrichteten Arbeit und Leistung ein Plateau. Die weitere Reduktion ist nur noch marginal. Inwieweit diese Plateaubildung als Dauerleistungsgrenze für das Kraftausdauertraining physiologisch

<sup>62</sup> Die Dauerleistungsgrenze geht auf die Untersuchungen von Müller (1961) zitiert bei Hollmann und Hettinger (2008, S. 112ff.) zurück und markiert den Bereich der höchsten Belastung, der unabhängig von der Beanspruchungsdauer ohne eine Vergrößerung der Erholungspulssumme möglich ist.

zu begründen ist, steht noch aus. Die Plateaubildung bei ca. 50 % zur ersten Serie markiert die Abgrenzung des Kraftausdauertrainings zum Ausdauertraining (Belastungen unterhalb von 50 % des 1-RM).

- Unter Effizienzaspekten sind drei, maximal vier Serien im Kraftausdauertraining ausreichend. Weitere Serien kosten zusätzliche Trainingszeit und lassen keinen weiteren substanziellen Effekt vermuten.

Unter der Restriktion der Zeitknappheit und der ermittelten Erkenntnisse wird folgendes Rechenmodell angestellt:

Da man anhand obiger Ergebnisse drei bis fünf Serien pro Übung (siehe Tab. 4) einsparen könnte und im Allgemeinen sechs bis acht Übungen pro Trainingseinheit im Rahmen eines Ganzkörpertrainings durchgeführt werden und zwischen den Serien eine Serienpause von ca. einer Minute und zwischen den einzelnen zu realisierenden Übungen von zwei bis drei Minuten liegen, resultiert ein Zeitersparnis von ca. 50 bis 60 Minuten pro Trainingseinheit gegenüber einer konventionellen Kraftausdauertrainingsintervention. Da im Allgemeinen zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt werden, könnten so zwei bis drei Stunden eingespart bzw. für alternative Trainingszwecke genutzt werden. Im Spitzensport ist dies durchaus als relevanter Aspekt zu interpretieren.

Im Weiteren sollte eruiert werden, inwieweit sich dies auch in den verschiedenen Anwendungsbereichen des Gesundheits-, Freizeit- und Fitnesssports, der Prävention und Rehabilitation zeigen lässt. Gerade im Gesundheits- und Rehabilitationsbereich könnten so Einspareffekte nicht nur im zeitlichen Kontext<sup>63</sup>, sondern auch pekuniärer Art erzielt werden. Eine langfristige Kosten-Nutzen-Analyse hierzu wäre ein lohnendes Unterfangen.

---

<sup>63</sup> Zusätzlich könnte ein weiterer Vorteil in der höheren Motivation bei geringerer Trainingszeit liegen.

## 5.2 Zur Effektivität der Intensitätstechniken Vorer-müdung bzw. Nachermüdung und Verbund-satz im Krafttraining

Zur Intensivierung und somit zur Steigerung der Effektivität<sup>64</sup> werden sowohl bei Einzelsatz- als auch bei Mehrsatztrainingsinterventionen – aus der Sportpraxis entwickelte – Intensitätstechniken<sup>65</sup> zur Anwendung gebracht. Ziel dieser zahlreichen Intensitätstechniken ist die Steigerung der Belastungsintensität über den Punkt des momentanen Muskelversagens hinaus, mit der hypothetischen Annahme, zusätzliche muskelquerschnittsvergrößernde Prozesse zu initiieren (Bührlé & Werner, 1984; Fleck & Kraemer, 2004; Gießing, 2000, 2002; Kennedy, 2008; Stone & O’Byrant, 1987). Zu nennen wären u. a.: abge-fälschte Wiederholungen, Intensivwiederholungen, Teilwiederholungen, Reduktionssätze, Stotterwiederholungen, Negativwiederholungen, Endkontraktionen, Tri-Sets, Giant-Sets etc. (Fleck & Kraemer, 2004). Zu den einzelnen Intensitätstechniken ist anzumerken, dass die Handlungsempfehlungen in der Regel auf theoretischen Überlegungen – z. B. maximale Rekrutierung und Frequenzierung<sup>66</sup> von motorischen Einheiten (mE), Myotraumatata ruhender Satellitenzellen, Steigerung der Proteinsynthese, zusätzliche Ausschüttung von HGF, IGF-I, MGF usw. (Liu et al., 2007; 2008) – und sportpraktischen Erfahrungen basieren und weit weniger durch empirische Studien zur Wirkungsweise gesichert sind. Vereinzelt liegen Studien von z. B. Ahtiainen et al. (2003) sowie von Keogh et al. (1999) zur Wirkungsweise von Negativwiederholungen, Breakdowns (Reduktionssätze) und Forced Reps (Intensivwiederholungen) vor. Unter ökonomischer Perspektive besteht die Zielstellung von Intensitätstechniken darin, einerseits in einer Trainingseinheit maximale hypertrophieauslösende Effekte zur Steigerung der Kraft zu initiieren und andererseits aufgrund der deutlich verlängerten Regenerationszeiten des neuromuskulären Systems mit einer Trainingseinheit pro Woche für die beanspruchten Muskelgruppen auszukommen. Neben den bereits oben aufgezählten Intensitätstechniken wird die so genannte Vorer-müdung<sup>67</sup> – pre-exhaustion method – als adäquate Methode zur Steigerung der verschiedenen Kraftdimensionen als auch der Vergrößerung des Muskelquerschnitts angesehen (Baechle et al., 2008; Simao et al., 2005). Tan (1999, S. 293) vermerkt hierzu:

---

<sup>64</sup> Die Effektivität, d. h. der Grad der Zielerreichung besteht bei den so genannten Intensitätstechniken darin, den objektiven Grad der muskulären Ausbelastung derart herbeizuführen, dass über den momentanen Punkt des Muskelversagens hinaus weitere Wiederholungen möglich sind.

<sup>65</sup> Zatsiorsky und Kraemer (2008) sprechen in Bezug auf Intensitätstechniken von „training technique applicable to other systems“ bzw. von „specialized systems and techniques“. Der Trainingsbereich mit Intensitätstechniken ist dem leistungsorientierten bzw. krafttrainingserfahrenen Sportler vorbehalten. Von einem Einsatz im Anfängertaining sowie bei Gesundheitssportlern wird abgeraten.

<sup>66</sup> Von Zatsiorsky und Kraemer (Fröhlich & Gießing, 2006b; Spreuwenberg et al., 2006) wird im Rahmen der „Größenprinzipstheorie des Krafttrainings“ davon ausgegangen, dass die Rekrutierungsreihenfolge der mE durch das Größenprinzip bestimmt wird, nur rekrutierte mE trainiert werden und die rekrutierten mE eine Ermüdung erfahren sollten.

<sup>67</sup> Das übergeordnete Prinzip der Vor- bzw. Nachermüdung fokussiert unter der Fragestellung der Übungsreihenfolge, d. h. welche Übungen sollten optimalerweise zu Beginn eines Trainings durchgeführt werden und wie verändert sich die Belastungssituation durch die Übungsreihenfolge (2006b).

Traditionally, exercises involving large muscles (multijointed movements) are done first, followed by the exercises involving smaller muscles (single-jointed movements). By exercising the large muscles first, it is thought that at the end of the session, the work done by the various muscle groups would be proportionate to their size (26). In the preexhaustion method, the reverse order is followed: the objective here is to fatigue the smaller assisting (synergistic) muscles so that when the larger muscles are exercised, they will have to generate greater forces to compensate for the fatigued smaller muscles. There is little objective research to compare the 2.

Wie Tan (1999) schildert, ist die Vorerrmüdung<sup>68</sup> in Kombination mit einem Verbund-satz<sup>69</sup> (Supersatz aus zwei Übungen für den gleichen Muskel bzw. die gleiche Muskelgruppe) noch nicht hinreichend wissenschaftlich untersucht. Des Weiteren deuten u. a. empirische Ergebnisse von Augustsson et al. (2003) sowie Maynard und Ebben (2003) darauf hin, dass die Vorerrmüdung als Intensitätstechnik in ihrer Effektivität überschätzt wurde. Als Fazit wird von Gießing et al. (2005b, S. 84) hierzu vermerkt:

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. Since it is true that the relative weakness of smaller muscles affects training intensity negatively when performing multiple-joint exercises, it is obvious that multiple-joint exercises should be performed first. After the set has been taken to the PMF, it is immediately followed by a single-joint exercise which does not depend on the strength of the smaller muscles as much as the execution of a multiple-joint exercise does.

Den theoretischen Überlegungen von Gießing et al. (2005b) sowie von Simao et al. (2005) folgend, sollte hierzu u. a. die umgekehrte Übungsreihenfolge – zuerst Grundübung und dann Isolationsübung<sup>70</sup> – bei 12 leistungsorientierten Kraftsportlern untersucht werden, was auch durch die Empfehlungen des American College of Sports Medicine (Kraemer et al., 2002; Ratamess et al., 2009) sowie von Kraemer und Ratamess (2004) begründet wird: „large muscle groups before small muscle groups“ und „multi-joint exercises before sin-

---

<sup>68</sup> Augustsson et al. (2003, S. 411) verstehen unter Vorerrmüdung: „Pre-exhaustion exercise involves working a muscle or a muscle group to the point of fatigue using a single-joint exercise, immediately followed by a related multijoint exercise (2, 18, 21). For example, a weight trainer might pre-exhaust his or her quadriceps muscles by performing a knee extension exercise, then follow that exercise immediately with either a barbell squat exercise or a leg press exercise (2).“

<sup>69</sup> Unter zeitökonomischer Perspektive sind Verbund-satz bzw. Supersatz (zur Abgrenzungs- und Definitionsproblematik siehe Fröhlich und Gießing (2007b)) interessante Alternativen im Rahmen eines Ganzkörpertrainings, da die Pause zwischen den einzelnen Sätzen deutlich reduziert ist und somit die gesamte Trainingszeit pro Trainingseinheit verkürzt werden kann.

<sup>70</sup> Die Erläuterungen und Erklärungen der Begrifflichkeiten „Grundübung“, „Isolationsübung“, „Verbund-satz“, „Supersatz“, „week-link“ etc. sind bei Fröhlich und Gießing (2007) sowie bei Fröhlich et al. (2007) beschrieben und durch Übungsbeispiele verdeutlicht.

gle-joint exercises“. Während sich der Beitrag Nr. IX u. a. auf die physikalische Arbeit (Total Force) und physiologische Arbeit (Time und Tension) sowie auf die physikalische Ermüdungsrate (Fatigue Rate) der Nachermüdung (post-exhaustion method) im Krafttraining bezieht, beschäftigt sich der Beitrag Nr. X mit der kardialen Beanspruchung (Herzfrequenz), der subjektiven Belastungseinschätzung (Borgskala) sowie der Reizspannungsdauer (TuT und Total TuT). Beide Studien nehmen eine Vergleichsperspektive ein, indem die entsprechenden Parameter sowohl bei der klassischen Vorerrmüdung als Intensitätstechnik als auch bei der Nachermüdung analysiert wurden. Als Übungen im Verbundsatz dienten Bankdrücken und Butterfly, Latissimusziehen und Überzüge am Kabel sowie Beinpressen und Beinstrecken. Aufgrund der hohen Krafttrainingserfahrung der Probanden ( $11,8 \pm 7,0$  Jahre) sind Lern- und Gewöhnungseffekte und somit auch Testeffekte nahezu auszuschließen. Übungsfolgeneffekte sollten durch Teilung der Gruppe und Randomisierung minimiert werden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die realisierten Wiederholungen reduzieren sich sowohl innerhalb des Verbundsatzes als auch über die Verbundsätze hinweg.
- Die Total Force liegt bei der Intensitätstechnik Nachermüdung über derjenigen der Vorerrmüdung. Die Total Total Force ist bei allen drei Übungen bei der Intensitätstechnik Nachermüdung signifikant höher als bei der Vorerrmüdung.
- Die Time under Tension unterscheidet sich weder zwischen der Trainingsmethode Vor- bzw. Nachermüdung noch zwischen den drei einzelnen Übungen.
- Die Treatmentbedingung Nachermüdung stellt für das neuromuskuläre System eine höhere Belastung und somit einen höheren Hypertrophiestimulus (Reizspannungstheorie) dar (Zatsiorsky & Kraemer, 2008).
- Die Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems, operationalisiert über die Herzfrequenz, unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den beiden Intensitätstechniken. Dies trifft sowohl für die obere, als auch für die untere Extremität zu. Die mittlere Herzfrequenz liegt während der Belastung in einem Bereich von 130 bis  $160 \text{ min}^{-1}$  und sinkt innerhalb der Serienpause auf 110 bis  $120 \text{ min}^{-1}$ .
- Die beiden Trainingsmethoden werden von den Probanden subjektiv vergleichbar eingeschätzt (10-stufige Borgskala).

Fasst man die Ergebnisse der beiden Querschnittsstudien mit krafttrainingserfahrenen Probanden zusammen, so konnte die Effizienz der Intensitätstechnik Nachermüdung als lohnende Alternative im Krafttraining aufgezeigt werden (Simao et al., 2005). Eine Wirkungsanalyse im Längsschnitt steht noch aus, wird jedoch aktuell im Rahmen eines laufenden Projektes geprüft. Da die Intensitätstechnik Nachermüdung sowohl bei Einsatz als auch bei Mehrsatztrainingsinterventionen zur Anwendung kommen kann und die erhöhte Ausbelastung des neuromuskulären Systems Hinweise auf gesteigerte Hypertrophieeffekte gibt, stellt diese Krafttrainingsmethode eine interessante Alternative für Fort-

geschrittene und leistungsorientierte Sportler im Krafttraining dar. Während der Nachermüdung als Intensitätstechnik sind zusätzlich die Anwendung weiterer Intensitätstechniken wie Reduktionssätze oder Intensivwiederholungen möglich (Fröhlich & Gießing, 2006b; Fröhlich et al., 2007b). Unter dem Aspekt der Zeitersparnis innerhalb der Serien sowie aufgrund der hohen Ausbelastung – somit der verlängerten Regeneration – wäre unter Effizienzgesichtspunkten ein zweimaliges Mehrsatztraining mit Intensitätstechnik Nachermüdung eine lohnende Option.



### 5.3 Zum Einfluss der drei Disziplinen im olympischen Triathlon

Seit der Aufnahme der Triathlonwettbewerbe von Frauen und Männern in das olympische Programm (Olympische Spiele in Sydney 2000), steht der olympische Triathlon verstärkt im Fokus der sportwissenschaftlichen und sportmedizinischen Betrachtung (Millet et al., 2007; Rietjens, 2002). Insgesamt wurden schon relativ früh in der jungen Sportart, die Wechselwirkungen der drei Ausdauersportarten Schwimmen, Radfahren und Laufen sowie die dazwischen liegenden Wechsel (Bentley et al., 2002; De Vito et al., 1995; Guezennec et al., 1996; Landers et al., 2008; Millet et al., 2002; Millet & Vleck, 2000; Miura et al., 1997; Peeling et al., 2005; Sandig et al., 2008; Vleck et al., 2006), Regeländerungen – explizit die Windschattenregel (Draftingregel) – und Windschattenfahren sowie Wasserschattenschwimmen, als auch Interaktionseffekte verschiedener Merkmale, wie beispielsweise optimale Trittfrequenz<sup>71</sup> untersucht (Bernard et al., 2003; Brisswalter & Hausswirth, 2008; Chatard & Wilson, 2003; Hausswirth et al., 1999; Tew, 2005). Der olympische Triathlon – vor 2000 als Kurztriathlon bezeichnet – besteht bei offiziellen Wettbewerben aus 1.500 m Schwimmen (ca. 17:00-19:00 min; ca. 15 % der Wettkampfzeit), 40 km Radfahren (ca. 50:00-60:00 min; ca. 55 % der Wettkampfzeit) und 10.000 m Laufen (ca. 30:00-32:00 min; ca. 29 % der Wettkampfzeit) (De Vito et al., 1995). Die beiden Wechsel umfassen in der Regel weniger als 1 % der Wettkampfzeit (Millet & Vleck, 2000). Die jährlichen Trainingsumfänge<sup>72</sup> pro Einzeldisziplin betragen dabei (DTU-Verbandsvorgaben): ca. 1.100-1.250 km Schwimmen (ca. 6,7-7,2 % der Trainingsumfänge), ca. 10.000-13.500 km Radfahren (ca. 72 %) und ca. 4.000-4.500 km Laufen (ca. 20,2-21,3 %) (Ebeling et al., 2009). Durch die Einführung der so genannten Draftingregel<sup>73</sup> im olympischen Triathlon 1995 wurde die Einflusshöhe der drei einzelnen Sportarten geändert, obwohl die relativen Zeiten pro Disziplin nahezu konstant geblieben sind. Das bedeutet, die absolute Wertigkeit des Radfahrens wurde zugunsten des Schwimmens und Laufens verringert (Hausswirth et al., 1999; Landers et al., 2008). Physiologisch wird dies durch den bis zu 30 % reduzierten Energieverbrauch durch geschicktes Windschattenfahren begründet (Brisswalter & Hausswirth, 2008). Millet und Vleck (2000, S. 386) konstatieren hierzu: „Steady state cycling in a sheltered position during the entire cycle of a triathlon led to a considerable reduction in the required energy expenditure at a given speed, and created the conditions for decreased physiological stress at the onset of the triathlon run.“ Daher erfährt das Radfahren eine zunehmend taktische Komponente im olympischen

---

<sup>71</sup> Von Chapman et al. (Ebeling et al., 2009, S. 25) wurde gezeigt, dass Triathleten im Gegensatz zu hoch trainierten Radfahrern ein variables Rekrutierungsverhalten der beanspruchten Muskeln haben, was eher dem von weniger geübten Radfahrern entspricht.

<sup>72</sup> Der zeitliche Gesamtumfang für das Training im Jahr liegt bei ca. 1.100-1.300 Stunden (Knechtle & Kohler, 2009, S. 438).

<sup>73</sup> Die Draftingregel wurde u. a. dadurch eingeführt, da aufgrund von zunehmender Medienpräsenz (derzeit wird von ARD und ZDF im Wechsel die Weltcupserie im Rahmen eines ca. einstündigen Beitrages live übertragen) die einzelnen Wettbewerbe zunehmend auf Stadt- und Rundkurse (5-8 km Strecken beim Radfahren) verlegt wurden und dadurch die Regelüberwachung nicht mehr gewährleistet werden konnte.

Triathlon wie anhand des folgenden Zitats von Vleck et al. (2006, S. 43) zum Ausdruck kommt:

In elite Olympic distance triathlon, the athletes are allowed to draft during the swimming and cycle stages. This tactic results in a considerable energy saving when compared to exercise in “isolation” [3, 12]. The athlete who drafts may therefore attain a better position in the field than would normally be in line with his or her individual physiological capacity. For this reason, many athletes attempt to position themselves behind athletes of the same or slightly better ability.

Obwohl zahlreiche Studien die Wechselwirkungen der einzelnen Disziplinen untersucht haben, steht eine Quantifizierung der Einflusshöhe und somit eine ökonomische Betrachtung dieser Wettkampfstruktur noch aus (Fröhlich, 2007). Aufbauend auf der Erkenntnis der Sportpraxis, dass im Allgemeinen nicht der beste Schwimmer bzw. der beste Radfahrer im Feld den Gesamtsieg erzielt, sondern in der Regel einer der besten Läufer, bestand die Zielstellung der Beiträge Nr. XI und Nr. XII u. a. darin (Fröhlich et al., 2008a):

- die individuelle Platzierung über die drei Einzeldisziplinen im Verlauf eines olympischen Triathlon zu eruieren,
- die Einflusshöhe der einzelnen Disziplin sowie die Interaktion mit den beiden anderen Disziplinen im Gesamtergebnis zu untersuchen,
- die absoluten Zeitspannen der Einzeldisziplinen im Verhältnis zur Gesamtzeit und zur Trainingszeit zu ergründen
- sowie im Sinne der trainingswissenschaftlichen Beratungsleistung ökonomische Handlungsempfehlungen für das Individuum als auch für das Kollektiv anhand von empirischen Daten auszusprechen.

Zur Beantwortung der skizzierten Fragen wurden ex-post-facto die Leistungsdaten (Zeiten und Geschwindigkeiten), die Rangplätze nach den einzelnen Disziplinen sowie nach den beiden Wechseln bei den Weltmeisterschaften von 2003 bis 2007 der Männer-Elite analysiert (Fröhlich et al., 2008b). In der Studie von Sandig et al. (2008) wurden neben der Männer-Elite, noch die männlichen und weiblichen Junioren, die U23 Frauen und Männer sowie die Frauen-Elite untersucht. Die Auswertung bezog sich einerseits auf die komplette Stichprobe – alle Finisher beim Wettkampf – als auch auf die 20 Besten<sup>74</sup> des jeweiligen Wettbewerbes. Zur Abschätzung der Einflusshöhe der Einzeldisziplin auf das

---

<sup>74</sup> Die jeweils 20 Besten wurden einerseits ausgewählt um eine möglichst statistisch interpretierbare Stichprobengröße über alle Weltmeisterschaften zu erfassen und andererseits, da für die 20 Besten entsprechende Punkte anhand der ITU Weltrangliste vergeben werden. Die Kriterien für die Punktevergabe sind: a) Cut-Off: Punkte erhalten nur diejenigen Athleten, die nicht mehr als 5 % der Männersiegerzeit oder 8 % der Frauensiegerzeit für den Wettkampf benötigen. b) Quality-of-Field Factor: Je nach Anzahl der Athleten aus der Top 20 der Weltrangliste, die an einem Rennen teilnehmen, erhöhen sich die zu vergebenden Punkte um 2 bis maximal 20 %.

Gesamtergebnis sowie auf die beiden anderen Disziplinen wurden Korrelations- und lineare, multiple (schrittweise) Regressionsberechnungen durchgeführt. Die Betagewichte der Regressionsanalyse geben dabei Aufschluss über die Höhe der Prädiktorenvariablen im Gesamtkontext. Wie beispielhaft anhand der nachfolgenden Abbildung ersichtlich, ist der absolute Rangplatz nach der Einzeldisziplin Schwimmen und Radfahren losgelöst vom Gesamtrangplatz im Wettkampf.

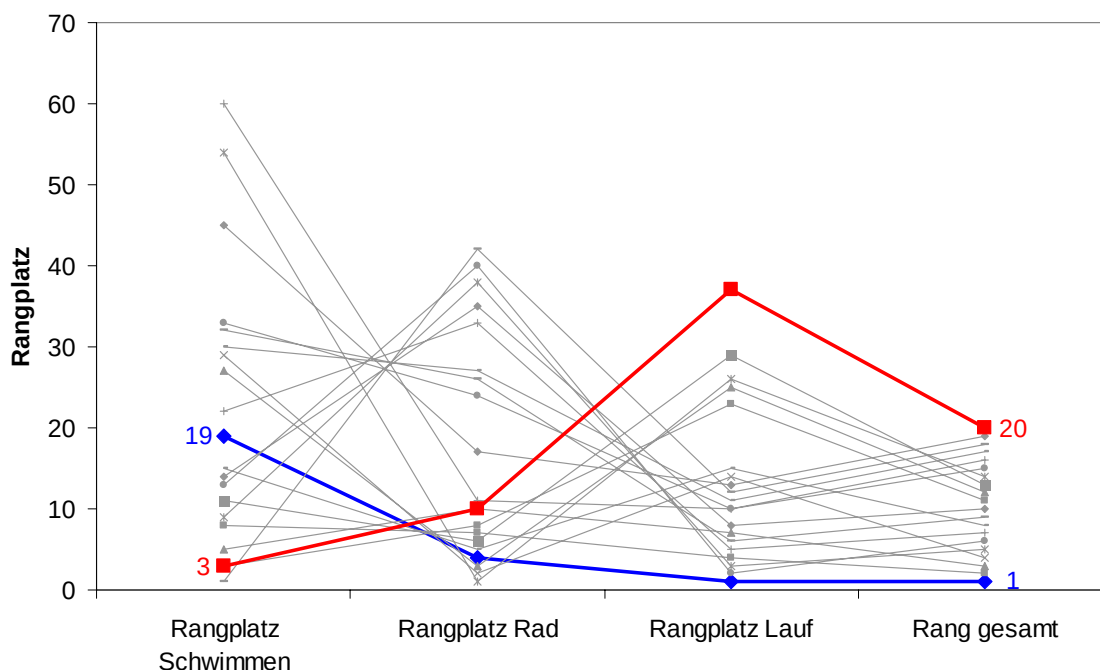


Abb. 6: Rangplätze der 20 besten Athleten (herausgestellt der 1. und 20. im Gesamtklassement bei den Weltmeisterschaften 2006 in Lausanne; siehe Fröhlich et al., 2008a, S. 45)

Die ermittelten Ergebnisse der beiden empirischen Studien zur ökonomischen Betrachtung der Leistungsstruktur im olympischen Triathlon lassen sich auf drei Aspekte subsumieren (vgl. auch Sandig et al., 2008):

- Betrachtet man die Korrelationen bzw. linearen, multiplen (schrittweisen) Regressionsberechnungen für das Gesamtkollektiv der Teilnehmer der Weltmeisterschaften im Gegensatz zu den 20 besten Finishern, so resultieren in Teilen differierende Ergebnisse. Während die Korrelationen im Gesamtkollektiv „eher“ eine Scheinkorrelation darstellen, scheint bei den 20 besten Athleten der Zusammenhang von Disziplinzeit und Gesamtzeit bzw. Disziplinrangplatz und Gesamtrangplatz die „wahre“ Ausprägung angenommen zu haben, was durch die Untersuchungen von Landers et al. (2008) sowie Millet und Bentley (2004) unterstützt wird.

- Auf Disziplinenebene scheint die Laufleistung<sup>75</sup> einen überproportionalen Einfluss auf das Endergebnis im olympischen Triathlonwettbewerb zu besitzen (Dengel et al., 1989; Ebeling et al., 2009). Prinzipiell gute Läufer ( $\leq 30:00$  Minuten) handeln ökonomisch rational, indem sie in den Disziplinen Schwimmen und Radfahren nur so viel Energie verausgaben, wie unbedingt nötig – Windschattenschwimmen und Windschattenradfahren werden als taktische Maßnahme zunehmend relevant (Vleck et al., 2006). Die Schwimmleistungen und anschließenden Radleistungen haben Zubringerfunktion für die siegentscheidende Laufleistung (Ebeling et al., 2009; Millet & Bentley, 2004). Die Schwimmleistung hat einen Einfluss auf eine gute Ausgangsposition für die erste Radgruppe (Peeling et al., 2005). Prinzipiell gute Radfahrer sollten versuchen, im Radsplitt eine Lücke zu fahren, um eine Siegwahrscheinlichkeit aufrechterhalten zu können. Individuelle Stärken im Laufbereich erhöhen die Platzierungswahrscheinlichkeit im Wettkampf. Individuelle Laufleistungen von  $\geq 31:00$  Minuten lassen im Allgemeinen keine vordere Platzierung vermuten.
- Auf der kollektiven Ebene bzw. aus der Perspektive der Trainingsmethodik wäre zu konstatieren, dass einerseits die relativen Schwerpunkte der Trainingsgestaltung der einzelnen Disziplinen zu überdenken sind (u. a. deutliche Verschiebung in Richtung Lauftraining mit entsprechenden Schwerpunktsetzungen im Schnelligkeitsbereich) und andererseits Talentfindungs- und „Talentrecyclingmaßnahmen“ neu konzipiert werden sollten. So wäre beispielsweise zu überlegen, talentierte Mittelstrecken- und Crossläufer der Leichtathletik dem Triathlon zuzuführen und mannschaftstaktische Aspekte (siehe Straßenradsport) sowie zweckdienliches Verhalten (z. B. Wasserträger, Windschatten etc.) seitens des Verbandes zu entwickeln und zu honorieren. Generell wäre für die Internationale Triathlon Union (ITU) zu überlegen, inwieweit die einzelnen Disziplinen in ihrer Wertigkeit neu zu gewichtet sind. Andererseits könnte die Gleichwertigkeit des Radfahrens beispielsweise wieder hergestellt werden, indem hoch selektive und profilierte Radstrecken zu bewältigen wären (siehe Weltmeisterschaft 2006 in Lausanne).

Aus den Aspekten zwei und drei lassen sich für die individuelle und die kollektive Trainings- und Wettkampfgestaltung exemplarisch folgende noch empirisch zu prüfende Forschungsfragen ableiten:

- Welchen Input in Form von Trainingszeit und Belastungskennziffern investiert der einzelne Athlet, in Abhängigkeit der eigenen Stärken und Schwächen in die verschiedenen Disziplinen um den maximalen Output im Gesamtertrag zu erreichen?

---

<sup>75</sup> Ähnliche Ergebnisse wurden von Knechtle und Kohler für den Triple Iron Triathlon gefunden (1972a; 1972b). „But it seems that the performance in the running and cycling split are the most important factors to be successful in ultra-endurance triathlons whereas swimming performance seems to be of low importance.”

- Wie lässt sich der verbundene Grenznutzen durch taktische Maßnahmen individuell steigern?
- Welche Athleten mit welchem Leistungspotential (Generalist vs. Spezialist im Schwimmen, Radfahren und Laufen) werden vom Spitzenverband für die entsprechenden nationalen und internationalen Meisterschaften nominiert, damit der Gesamtertrag (in der Regel die Anzahl der erreichten Medaillen) für den Verband am größten ist?

## 6 Zur statistischen Signifikanz und praktischen Relevanz von Outcome-Effekten und deren Beurteilung – exemplarisch dargestellt in der Krafttrainingsforschung

Von zahlreichen Autoren wird zunehmend neben der statistischen Signifikanzprüfung –  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Fehler Hypothesentestung – im Sinne des Null-Rituals (Ansätze von Neyman-Pearson vs. Fisher) die Einschätzung bzw. Beurteilung der *praktischen Relevanz*, und *Bedeutung* des gefundenen Effekts gefordert (Conzelmann & Raab, 2009; Drinkwater, 2008; Sedlmeier, 1996; Sedlmeier & Renkewitz, 2008). Zur Kritik des Null-Rituals sowie zu alternativen Verfahren sei u. a. auf Batterham und Hopkins (2006), Cohen (1994), Gigerenzer (1998), Hopkins et al. (2009) sowie Sedlmeier und Gigerenzer (1989) verwiesen. Da es bei experimentellen und quasi-experimentellen Versuchsdesigns im Allgemeinen jedoch nicht ausreicht, den Outcome gegenüber einer Kontrollgruppe, einer weiteren Treatmentgruppe oder im Längsschnitt im Sinne der Veränderungsmessung nachzuweisen (statistische Signifikanzprüfung anhand der Irrtumswahrscheinlichkeit), wird im Kontext der Effektivitäts- bzw. Effizienzbeurteilung die Berechnung der praktischen Relevanz der Intervention zunehmend bestimmend. Des Weiteren steht die praktische Bedeutsamkeit einer Intervention im Fokus der Betrachtungen, wenn es darum geht, über verschiedene Einzelstudien hinweg verallgemeinerte Aussagen zu einem Forschungsfeld zu machen. Das bedeutet, dass die Effektivität von Einzelstudien im Rahmen von metaanalytischen Betrachtungen abgeschätzt und interpretiert werden soll (Schmidt, 1992). Die praktische Bedeutsamkeit oder Relevanz von signifikanten Effekten im Sinne der Einschätzung des erzielten Outcomes wird im Allgemeinen dabei über das dimensionslose Maß der *Effektstärke* oder *Effektgröße ES* vorgenommen (Cohen, 1969, 1992; Glass et al., 1981). Anhand der einzelnen Formeln, wie sie im Beitrag Nr. XIII exemplarisch beschrieben sind, lässt sich die Effektstärke zuverlässig für die verschiedenen Interventionen berechnen (Fröhlich et al., 2009a). Leonhart (2004) und Morris (2008) diskutieren in diesem Zusammenhang die einzelnen Formeln im Hinblick auf homogene bzw. heterogene Varianzen, unterschiedliche Stichprobengrößen und inhaltliche Aspekte sowie bezüglich des verwendeten Versuchsdesigns. Bezüglich der Effektstärkenberechnung anhand bestimmter Teststatistiken, z. B. t-Test, ANOVA etc., sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (Cohen, 1969, 1992; Fricke & Treinies, 1985; Glass, 1977; Glass et al., 1981; Hedges & Olkin, 1985; Hunter & Schmidt, 2004; Rosnow & Rosenthal, 1996). Rhea (2004a, S. 918) weist im Weiteren darauf hin, dass die Berechnung und Angabe der Effektstärke im Rahmen von Trainingsinterventionen zahlreiche Vorteile bietet:

- Die Effektstärke repräsentiert eine standardisierte Größe zur Einschätzung und Interpretation von Veränderungen in einzelnen oder mehreren Gruppen.
- Die Effektstärke erlaubt den Vergleich verschiedener Trainingsmethoden innerhalb einer Studie.

- Die Effektstärke ist leicht zu berechnen und zeigt den Einfluss einer einzelnen Studie für Theorie und Praxis auf.

Letztendlich können so durch die Effektstärkenberechnung einzelne Studien zu einem gleichen Thema bewertet und globale Aussagen zu einem Forschungsgegenstand getroffen sowie die Theorieentwicklung gefördert werden. Hinzu kommt, dass Moderatorvariablen und deren Einfluss auf einen globalen Effekt abgeschätzt werden können – siehe hierzu die Ausführungen in den Beiträgen Nr. III bis Nr. VII – (Beelmann & Bliesener, 1994; Hall & Rosenthal, 1995; Morris, 2008).

Die Bewertung der praktischen Bedeutsamkeit hat eine lange Tradition und geht u. a. auf die Untersuchungen von Cohen (1969) zurück. In dem Artikel „A Power Primer“ von 1992 beschreibt Cohen die Intention, die ihn bei der Bewertung von Effektstärken und seitdem durch Konvention festgelegten Kriterien zur Abschätzung der praktischen Relevanz geleitet hat (Cohen, 1992, S. 156):

My intent was that medium ES represent an effect likely to be visible to the naked eye of a careful observer. (It has since been noted in effect-size surveys that it approximates the average size of observed effects in various fields.) I set small ES to be noticeably smaller than medium but not so small as to be trivial, and I set large ES to be the same distance above medium as small was below it. Although the definitions were made subjectively, with some early minor adjustments, these conventions have been fixed since the 1977 edition of SPABS and have come into general use.

Die seit 1969 durch Konvention festgelegte Effektstärkeklassifizierung weist dabei folgende Werte aus: small Effekt  $d = 0.20$ , medium Effekt  $d = 0.50$  und large Effekt  $d = 0.80$  (Cohen, 1969, S. 38; 1992, S. 157). Allgemein werden Effektstärken größer 0.50 als large interpretiert. ES von 0.50-0.30 als moderat und ES von 0.30-0.10 als small bzw.  $< 0.10$  als trivial (Bortz & Döring, 2006, S. 606). Je nach statistischem Signifikanztest werden jedoch auch andere Klassifizierungen vorgenommen. Aktuelle Metaanalysen u. a. von Fröhlich (2006), Fröhlich et al. (2007d), Fröhlich und Schmidtbleicher (2008), Peterson et al. (2004), Rhea et al. (2003) sowie Rhea und Alderman (2004) konnten jedoch dezidiert zeigen, dass die Effektstärken – neben den teststatistischen Bedingungen – im Bereich der Krafttrainingsforschung einerseits vom Trainingszustand der Probanden abhängen und andererseits durch das Geschlecht sowie partiell sogar von der Interventionsdauer beeinflusst sind (vgl. Tab. 5). So sind die Effektstärken als Indiz für praktische Bedeutsamkeit in diesem Bereich nicht statisch, sondern eher dynamisch zu interpretieren. Des Weiteren zeigen die empirischen Ergebnisse, dass je nach Kontext, Vorerfahrung, Forschungsdomäne etc. die Effektstärken in Teilen unterschiedlich zu bewerten sind (Fröhlich et al., 2009a).

Tab. 5: Scale for determining the magnitude of effect sizes in strength training research (n. Rhea, 2004a, S. 919)

| Magnitude | Untrained | Recreationally trained | Highly trained |
|-----------|-----------|------------------------|----------------|
| Trivial   | < 0.50    | < 0.35                 | < 0.25         |
| Small     | 0.50-1.25 | 0.35-0.80              | 0.25-0.50      |
| Moderate  | 1.25-1.9  | 0.80-1.50              | 0.50-1.0       |
| Large     | > 2.0     | > 1.50                 | > 1.0          |

Untrained = individuals who have not been consistently trained for 1 year; recreationally trained = individuals training consistently from 1-5 years; highly trained = individuals training for as least 5 years.

Zusammenfassend kann anhand der Überlegungen, wie sie im Beitrag XIII angestellt wurden, folgendes Fazit gezogen werden:

Neben der Angabe der statistischen Test- und Prüfgrößen sowie der Signifikanz (im Allgemeinen der  $\alpha$ -Fehlerwahrscheinlichkeit) sollten in empirischen Studien die Effektstärken als quantitative Maße für die Einschätzung von praktischer Bedeutsamkeit angegeben werden (Leonhart, 2004). Die Effektstärken sind jedoch je nach Forschungsdisziplin bzw. Domäne zu spezifizieren und dynamisch zu interpretieren. So resultieren beispielsweise bei Krafttrainingsanfängern im Vergleich zu Fortgeschrittenen bzw. Könnern hohe Effektstärken, welche die hohen Krafttrainingszuwächse in den ersten Monaten erklären (siehe hierzu die Überlegungen zum Modell von Anpassungskapazität und Grenzertrag). Im weiteren Trainingsverlauf fallen die entsprechenden Leistungszuwächse – dies dürfte auch für Lernprozesse gelten (Müller & Blischke, 2009) – entsprechend geringer aus, was in geringeren absoluten Effektstärken zum Ausdruck kommt. Für den Bereich der Krafttrainingsforschung sollten die in Tabelle 5 vorgestellten Effektstärken in der Scientific Community diskutiert und beurteilt werden. Existieren im jeweiligen Forschungsgebiet bereits übliche Effektstärken, so sollten diese zur Einschätzung der eigenen Studienergebnisse herangezogen werden. Gerade die angewandten Wissenschaften, hier explizit die Sportwissenschaft, respektive Krafttrainingsforschung, sollten die gefundenen Ergebnisse nicht nur statistisch auf Signifikanz absichern, sondern zusätzlich die praktische Relevanz von einzelnen Effekten dokumentieren und dies vor dem Hintergrund der hier diskutierten Faktoren reflektieren.



## 7 Fazit und Ausblick

Die verschiedenen Beiträge der kumulativen Habilitationsschrift rekurren auf ökonomische Überlegungen im Rahmen der trainingswissenschaftlichen Interventionsforschung in Theorie<sup>76</sup> und Praxis. Des Weiteren werden unter dem Primat von Präferenzen (Anreizen) und Restriktionen sowie für unterschiedliche Anwendungsfelder und Settings trainingspragmatische Handlungskorridore – wie viele Trainingseinheiten pro Woche, wie viele Serien im Kraftausdauertraining, Einsatz- oder doch Mehrsatztraining bei Fortgeschrittenen/Könnern, mehr Laufkilometer oder Verbesserung der Schwimm- bzw. Radleistung etc. – erörtert und diskutiert. Der Krafttrainingforschung kommt im Rahmen der vorliegenden Arbeit sowie unter ökonomischen Implikationen hierbei eine besondere Bedeutung zu. Methodisch bzw. methodologisch wurden neben theoretischen Überlegungen zum Konstrukt Training und dessen Transformation in eine Theorie des sportlichen Trainings sowohl experimentelle als auch quasi-experimentelle Studiendesigns<sup>77</sup> (siehe u. a. Originalbeiträge) sowie Metaanalysen zur Erkenntnisgewinnung eingesetzt. Neben der statistischen Absicherung im Sinne der Hypothesenprüfung der gefundenen Ergebnisse wurde der praktischen Bedeutsamkeit bzw. Relevanz der Effekte eine weitere zentrale Rolle zugeschrieben. Durch die Anwendung ökonomischer Überlegungen wurde versucht, die trainingswissenschaftliche Fundierung in Theorie und Praxis zu erweitern. Der allgemeinen Forderung, trainingswissenschaftliche Probleme interdisziplinär zu untersuchen und Wissensbestände anderer Disziplinen zu integrieren (Willimczik, 2003), kommt die vorliegende Arbeit nach, indem die Bearbeitung trainingswissenschaftlicher Aspekte um die Perspektive der Ökonomik erweitert bzw. ergänzt wurde.

Derzeit steht die Verknüpfung von ökonomischen und trainingswissenschaftlichen Betrachtungen jedoch erst am Anfang der wissenschaftlichen Bearbeitung. Aus Sicht des Autors wären weitere Forschungsbemühungen anzustellen, um die Tragweite der skizzierten Überlegungen abschätzen zu können. Vertreter beider Wissenschaftsdisziplinen sind somit aufgerufen, den Forschungsgegenstand „sportliches Training“ weiter zu ergründen. Die Trainingswissenschaft als angewandte, empirische, ganzheitliche Wissenschaft muss in diesem Kontext jedoch nicht nur die Anschlussfähigkeit in die Praxis berücksichtigen, sondern sie muss wissenschaftlichen und ethischen Implikationen (siehe Merton, 1985) genügen. In Anlehnung an die Überlegungen von Emrich (2006, S. 166) liegt die Zukunftsaussicht der Trainingswissenschaft darin begründet, Geltungsbereiche, Sicherheitsniveaus und Anwendungsbereiche trainingswissenschaftlicher Aussagen zu erweitern und

---

<sup>76</sup> Der Autor favorisiert im Rahmen verschiedener Theoriemodelle wie ontologisch-normatives Theoriemodell, kritisch-dialektisches Theoriemodell, das an Albert (1948), Hempel und Oppenheim (2000; 2002) sowie Popper (Franke, 2003) angelehnte empirisch-nomologische Theoriemodell (1972b, S. 4).

<sup>77</sup> Die Begriffe experimentelles und quasi-experimentelles Studiendesign werden in diesem Kontext nicht disjunkt genutzt, wohl wissend, dass versuchsplanerisch an experimentelle und quasi-experimentelle Versuchsdesigns unterschiedliche Kriterien zu stellen sind (u. a. natürliche Gruppen vs. zufällige Gruppen, Manipulation der Treatment- bzw. Untersuchungsbedingungen, Kontrolle von Störvariablen etc.).

empirisch – theoretisch fundiert – zu begründen, statt sich zur Magd der Praxis zu machen (Albert, 1972b). Das bedeutet, die Trainingswissenschaft muss mittels wissenschaftstheoretischer Begründungen über die speziellen und allgemeinen Erfahrungsregeln (Trainingsprinzipien, Handlungsregeln, singulären Erfahrungsbezügen) der Trainingslehre hinausreichen, um als Wissenschaftsdisziplin verortet werden zu können. Eine Trainingswissenschaft, die auf der Ebene der Beschreibung von Handlungsanweisungen (technologischen Regeln) stehen bleibt, verliert langfristig die Legitimation als wissenschaftliche Disziplin. Institutionell wird sich die Trainingswissenschaft im wissenschaftlichen, universitären Kontext nur dann behaupten können, wenn sie u. a. die unterschiedlichsten Trainingsprozesse und deren Adaptationsmechanismen theoriegeleitet und durch empirische Studien abgesichert, erklären kann. Hierbei ist sie nur den rein wissenschaftlichen Kriterien, wie sie der so genannten Grundlagenforschung zugeschrieben werden, verpflichtet („Universalismus“, „Kommunismus“, „Uneigennützigkeit“, „Organisierter Skeptizismus“) (Merton, 1985, S. 90ff.). Dabei sollte die interdisziplinäre<sup>78</sup> Trainingswissenschaft theoretische Anleihen in anderen Disziplinen machen und transformativ auf den genuinen Gegenstand das sportliche *Training*, die sportliche *Leistung* und den sportlichen *Wettkampf* anwenden.

Weitere Forschungsbemühungen, welche aufbauend auf den beschriebenen Publikationen beruhen und aus Sicht des Autors interessante Perspektiven eröffnen, tangieren u. a. die Variabilität des Trainings unter ökonomischen Aspekten (z. B. stochastisches Training vs. explizit geplantes Training, weekend-warrior Training, intuitives Training etc.), die Anwendung von Evidenced Based Medicine Kriterien für trainingswissenschaftliche Interventionen (z. B. Methodendiskussion, Einschränkungen, Effektivitäts- und Effizienzkriterien, Kosten-Nutzen-Analysen usw.), die Modellierung von Trainingsbelastungen und entsprechenden Beanspruchungen zur Ergründung von Trainingsadaptation (verbundenen Grenznutzenüberlegungen, Modellierung des Kulminationspunkts, Simulation von Übertrainingszuständen usw.), die weitere Theorieentwicklung und Validierung sowie der Zugang zu angrenzenden Domänen und Wissenschaftsdisziplinen.

Eine letztendliche Aussage, wie sich die junge Trainingswissenschaft in der Zukunft im wissenschaftlichen Kontext entwickeln und positionieren wird und inwieweit es den handelnden Akteuren gelingt, wissenschaftlich bewährtes Wissen – Wissens- und Erkenntnisgewinn als Wert an sich – zu akkumulieren steht noch aus.

---

<sup>78</sup> Albert hat bereits sehr früh darauf hingewiesen, Resultate und Methoden der verschiedenen Disziplinen füreinander fruchtbar zu machen und das jeweilige Potenzial für den weiteren Erkenntnisfortschritt zu nutzen.

## Literatur der Synopsis

- ACSM. (1998). American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (6), 975-991.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (2003). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 24 (6), 410-418.
- Akerlof, G. A. & Shiller, R. J. (2009). *Animal Spirits*. Frankfurt, New York: Campus.
- Albert, H. (1970). Wertfreiheit als methodisches Prinzip. In E. Topitsch (Ed.), *Logik der Sozialwissenschaften* (S. 181-210). Köln, Berlin: Kiepenheuer & Witsch.
- Albert, H. (1972a). *Konstruktion und Kritik. Aufsätze zur Philosophie des kritischen Rationalismus*. Hamburg: Hoffmann und Campe Verlag.
- Albert, H. (1972b). Theorien in den Sozialwissenschaften. In H. Albert (Ed.), *Theorie und Realität* (S. 3-25). Tübingen: Mohr Siebeck.
- Augustsson, J., Thomeé, R., Hörnstedt, P., Lindblom, J., Karlsson, J. & Grimby, G. (2003). Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (2), 411-416.
- Auracher, M. (2007). *Die Effektivität präventiver Ausdauerprogramme: Eine kontrollierte Längsschnittstudie zur Problematik der "Weekend Warrior" und der Intensitätswahl*. Saarbrücken: Unveröffentlichte Dissertation.
- Baechle, T. R. & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Baechle, T. R., Earle, R. W. & Wathen, D. (2008). Resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Ed.), *Essentials of strength training and conditioning* (S. 381-412). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Baker, D., Wilson, G. & Carlyon, R. (1994). Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 235-242.
- Batterham, A. M. & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1 (1), 50-57.
- Becker, G. S. (1965). A theory of the allocation of time. *The Economic Journal*, 75 (299), 493-517.
- Becker, G. S. (1993). *Ökonomische Erklärung menschlichen Verhaltens*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Becker, G. S. & Becker, G. N. (1998). *Die Ökonomik des Alltags*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Beelmann, A. & Bliesener, T. (1994). Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychologische Rundschau*, 45, 211-233.
- Bentley, D. J., Millet, G. P., Vleck, V. E. & McNaughton, L. R. (2002). Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. *Sports Medicine*, 32 (6), 345-359.

- Bernard, T., Vercruyssen, F., Grego, F., Hausswirth, C., Lepers, R., Vallier, J. M. & Brisswalter, J. (2003). Effect of the cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 154-159.
- Bernholz, P. & Breyer, F. (1994). *Grundlagen der politischen Ökonomie*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Biddle, S. J. H. (2006). Research synthesis in sport and exercise psychology: chaos in the brickyard revisited. *European Journal of Sport Science*, 6 (2), 97-102.
- Bigland-Ritchie, B., Bellemare, F. & Woods, J. J. (1986). Excitation Frequencies and Sites of Fatigue. In N. L. Jones, N. McCartney & A. J. McComas (Ed.), *Human Muscle Power* (S. 197-213). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Bliesener, T. (1999). Methoden der systematischen Befundintegration - Eine Übersicht über die Möglichkeiten und Grenzen der Meta-Analyse. In J. Wiemeyer (Ed.), *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport* (S. 55-71). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Bompa, T. O. (1999). *Periodization training for sports*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Borst, S. E., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T. & Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (4), 648-653.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer.
- Brazell-Roberts, J. V. & Thomas, L. E. (1989). Effects of weight training frequency on the self-concept of college females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 3 (2), 40-43.
- Brisswalter, J. & Hausswirth, C. (2008). Consequences of drafting on human locomotion: benefits on sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3 (1), 3-15.
- Brown, L. E. (1999). Efficacy of weight training: multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal*, 21 (3), 17.
- Büch, M.-P. (2005). Entwicklung von Potentialen für Sporteliten. Überlegungen zu einer Theorie des Talents. In E. Emrich, A. Güllich & M.-P. Büch (Ed.), *Beiträge zum Nachwuchsleistungssport* (S. 349-369). Schorndorf: Hofmann.
- Büch, M.-P. (2007). Ökonomische Prinzipien - auch im Sport! In S. Schröder & M. Holzweg (Ed.), *Die Vielfalt der Sportwissenschaft* (S. 51-64). Schorndorf: Hofmann.
- Buford, T. W., Rossi, S. J., Smith, D. B. & Warren, A. J. (2007). A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (4), 1245-1250.
- Bührlé, M. & Werner, E. (1984). Das Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. *Leistungssport*, 14 (3), 5-9.
- Byrd, R. (1999). Strength training: single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 27 (6), 409-416.
- Candow, D. G. & Burke, D. G. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (1), 204-207.

- Carl, K. (1983). *Training und Trainingslehre in Deutschland*. Schorndorf: Hofmann.
- Carl, K. (2003). Training. In P. Röthig & R. Prohl (Ed.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 606-607). Schorndorf: Hofmann.
- Carpinelli, R. N. (2002). Berger in retrospect: effect of varied weight training programmes on strength. *British Journal of Sports Medicine*, 36, 319-324.
- Carpinelli, R. N. & Otto, R. M. (1998). Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 26 (2), 73-84.
- Carroll, T. J., Abernethy, P. J., Logan, P. A., Barber, M. & McEniery, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78 (3), 270-275.
- Chapman, A. R., Vicenzino, B., Blanch, P. & Hodges, P. W. (2007). Leg muscle recruitment during cycling is less developed in triathletes than cyclists despite matched cycling training loads. *Experimental Brain Research*, 181 (3), 503-518.
- Chatard, J. C. & Wilson, B. (2003). Drafting distance in swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (7), 1176-1181.
- Chesley, A., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Atkinson, S. A. & Smith, K. (1992). Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 73 (4), 1383-1388.
- Cissik, J., Hedrick, A. & Barnes, M. (2008). Challenges applying the research on periodization. *Strength & Conditioning Journal*, 30 (1), 45-51.
- Cohen, J. (1969). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, London u. a.: Academic Press
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Quantitative methods in psychology*, 112 (1), 155-159.
- Cohen, J. (1994). The earth is round ( $p < .05$ ). *American Psychologist*, 49 (12), 997-1003.
- Conzelmann, A. & Raab, M. (2009). Datenanalyse: Das Null-Ritual und der Umgang mit Effekten in der Zeitschrift für Sportpsychologie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 16 (2), 43-54.
- Craig, B. W. & Kang, H.-Y. (1994). Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: Total work versus power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 270-275.
- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D. W. & McElhannon, F. M. (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20 (4), 338-344.
- Daug, R., Olivier, N., Wiemeyer, J. & Panzer, S. (1999). Wissenschaftstheoretische und methodische Probleme bei der sportwissenschaftlichen Erforschung von Bewegung, Motorik und Training. In J. Wiemeyer (Ed.), *Forschungsmethodische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport* (S. 13-36). Hamburg: Czwalina Verlag.
- De Hoyos, D., Caldwell, A., Caldwell, R., Shute, M., Barnhill, J., Richardson, J., Morrow, L. & Walker, J. (2005). Muscular strength and body composition adaptations to short-term, linear and undulating periodized resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (5), Suppl. 184.
- De Marées, H. (1996). *Sportphysiologie*. Köln: Sport und Buch Strauß.

- De Vito, G., Bernardi, M., Sproviero, E. & Figura, F. (1995). Decrease of endurance performance during Olympic Triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (1), 24-28.
- DeCoster, J. (2005). Meta-Analysis Notes. <http://www.stat-help.com>.
- Dengel, D. R., Flynn, M. G., Costill, D. L. & Kirwan, J. P. (1989). Determinants of success during triathlon competition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60 (3), 234-238.
- DeRenne, C., Hetzler, R. K., Buxton, B. P. & Ho, K. W. (1996). Effects of training frequency on strength maintenance in pubescent baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (1), 8-14.
- Drinkwater, E. J. (2008). Applications of confidence limits and effect sizes in sport research. *The Open Sports Sciences Journal*, 1 (1), 3-4.
- Ebeling, R., Moeller, T. & Knoll, R. (2009). Zu Erkenntnissen und Erfahrungen positiver Leistungsentwicklungen der deutschen Athleten im Olympischen Triathlon. *Leistungssport*, 39 (5), 22-27.
- Eleftheriou, K. I. & Montgomery, H. E. (2008). Genetics and sports participation. In M. P. Schwellnus (Ed.), *The olympic textbook of medicine in sport* (S. 548-579). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Emrich, E. (2006). Sportwissenschaft zwischen Autonomie und außerwissenschaftlichen Impulsen. *Sportwissenschaft*, 36 (2), 151-170.
- Emrich, E., Fröhlich, M., Klein, M. & Pitsch, W. (2007). Eliteschulen des Sports - Erste Ergebnisse einer Pilotstudie. *Zeitschrift für Evaluation*, 6 (2), 223-246.
- Emrich, E., Fröhlich, M., Klein, M. & Pitsch, W. (2009). Evaluation of the elite schools of sport – empirical findings from an individual and collective point of view. *International Review for the Sociology of Sport*, 44 (2-3), 151-171.
- Emrich, E., Güllich, A. & Pitsch, W. (2005). Zur Evaluation des Systems der Nachwuchsförderung im deutschen Leistungssport. In E. Emrich, A. Güllich & M.-P. Büch (Ed.), *Beiträge zum Nachwuchsleistungssport* (S. 75-138). Schorndorf: Hofmann.
- Emrich, E., Pitsch, W., Güllich, A., Klein, M., Fröhlich, M., Flatau, J., Sandig, D. & Anthes, E. (2008). Spitzensportförderung in Deutschland - Bestandsaufnahme und Perspektiven. *Leistungssport*, 38 (1), Beilage 1-20.
- Emrich, E., Prohl, R. & Brand, S. (2006). "Mündige Ästhetiker" in einer "lernenden Organisation". Anregungen zur Qualitätsentwicklung im Nachwuchsleistungssport. *Sportwissenschaft*, 36 (4), 417-432.
- Enoka, R. M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Farin, E. (1994). *Forschungsperspektive und Methodik der Metaanalyse*. Freiburg i. Br.: Abteilung für Rehabilitationspsychologie.
- Feigenbaum, M. S. & Pollock, M. L. (1999). Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (1), 38-45.
- Ferrauti, A. & Remmert, H. (2006). *Trainingswissenschaft im Freizeitsport*. Hamburg: Czwalina Verlag.
- Fleck, S. J. (1999). Periodized strength training: a critical review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (1), 82-89.

- Fleck, S. J. (2002). Periodization of training. In W. J. Kraemer & K. Häkkinen (Ed.), *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport* (S. 55-68). Oxford u. a.: Blackwell Science Ltd.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Franke, E. (2003). Theorie. In P. Röthig & R. Prohl (Ed.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 597-599). Schorndorf: Hofmann.
- Frey, B. S. (1990). *Ökonomie ist Sozialwissenschaft*. München: Verlag Vahlen.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (2002). *Einführung in die Trainingslehre. Teil 1: Grundlagen*. Schorndorf: Hofmann.
- Fricke, R. & Treinies, G. (1985). *Einführung in die Metaanalyse*. Bern, Stuttgart, Toronto: Verlag Hans Huber.
- Friedrich, W. & Moeller, H. (1999). Zum Problem der Superkompensation. *Leistungssport*, 29 (5), 52-55.
- Fröhlich, M. (2003). *Kraftausdauertraining. Eine empirische Studie zur Methodik*. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269-291.
- Fröhlich, M. (2007). Ökonomische Betrachtungen zur Leistungsstruktur des olympischen Triathlons. *E-Journal Bewegung und Training, Wettkampf 2007, Supplement*.
- Fröhlich, M. (2009). Überlegungen zum Trainingsbegriff und zur Theorie des Trainings aus ökonomischer Perspektive. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 50 (2), 8-35.
- Fröhlich, M. & Emrich, E. (2008). A meta-analysis to determine the training frequency in strength training. *Isokinetics and Exercise Science*, 16 (3), 199-200.
- Fröhlich, M., Emrich, E. & Büch, M.-P. (2007a). Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft*, 37 (3), 296-311.
- Fröhlich, M., Emrich, E., Pieter, A. & Stark, R. (2009a). Outcome effects and effects sizes in sport sciences. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3 (3), 175-179.
- Fröhlich, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2010). Outcome effects of single-set versus multiple-set training – an advanced replication study. *Research in Sports Medicine*, 18 (3), 157-175.
- Fröhlich, M. & Gießing, J. (2006a). A meta-analyses of single-set vs. multiple-set-training. In H. Hoppeler, T. Reilly, E. Tsolakidis, L. Gfeller & S. Klossner (Ed.), *Book of Abstracts. 11th annual Congress of the European College of Sport Science* (S. 542). Bern, Lausanne: University of Bern, University of Lausanne, École Polytechnique Fédérale de Lausanne and the Swiss Society of Sports Medicine.
- Fröhlich, M. & Gießing, J. (2006b). Nachermüdung als trainingsmethodische Alternative im Krafttraining. *Leistungssport*, 36 (2), 39-44.

- Fröhlich, M., Gießing, J., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007b). Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining - ein explorativer Methodenvergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 25-30.
- Fröhlich, M., Klein, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2004). Belastungsreaktionen beim Kraftausdauertraining (KA-T) über mehrere Serien. In H. Riehle (Ed.), *Biomechanik als Anwendungsforschung. Transfer zwischen Theorie und Praxis* (S. 291-297). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A. & Emrich, E. (2008a). Ökonomische Betrachtungen zur Wettkampfstruktur im olympischen Triathlon - ein explorativer Ansatz. *Leistungssport*, 38 (5), 42-46.
- Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E. & Gießing, J. (2008b). Consequences of the three disciplines on the overall result in olympic-distance triathlon. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2 (4), 204-210.
- Fröhlich, M., Müller, T., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2009b). Periodisierungsmodelle im Krafttraining - ein Methodenvergleich. In M. Krüger, N. Neuber, M. Brach & K. Reinhart (Ed.), *Bildungspotenziale im Sport. 19. Sportwissenschaftlicher Hochschultag der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft* (S. 274-275). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Fröhlich, M., Müller, T., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2009c). Outcome-Effekte verschiedener Periodisierungsmodelle im Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60 (10), 307-314.
- Fröhlich, M. & Schmidtbleicher, D. (2008). Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (2), 34-42.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007c). Trainingsempfehlungen ökonomisch betrachtet - exemplarisch dargestellt anhand der Trainingshäufigkeit im Krafttraining. In J. Backhaus, F. Borkenhagen & J. Funke-Wieneke (Ed.), *SportStadtKultur* (S. 93). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007d). Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche - ein metaanalytischer Zugang. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 19 (2), 6-21.
- Galvao, D. A. & Taaffe, D. R. (2005). Resistance exercise dosage in older adults: single- versus multiset effects on physical performance and body composition. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53 (12), 2090-2097.
- Gibala, M. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Stauber, W. T. & Elorriaga, A. (1995). Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 78 (2), 702-708.
- Gießing, J. (2000). Das Heavy-Duty-Konzept. *Leistungssport*, 30 (4), 19-23.
- Gießing, J. (2002). *Das Muskelaufbautraining beim Bodybuilding. Eine kritische Analyse aus sportwissenschaftlicher Sicht*. Marburg: Tectum Verlag.
- Gießing, J. & Fröhlich, M. (2008). *Current results of strength training research. A multi-perspective approach*. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Gießing, J., Fröhlich, M. & Preuss, P. (2005a). *Current results of strength training research. An empirical and theoretical approach*. Göttingen: Cuvillier Verlag.



- Gießing, J., Preuss, P. & Fröhlich, M. (2005b). High-intensity post-exhaustion for maximizing training intensity in muscle hypertrophy training. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (Ed.), *Current results of strength training research* (S. 80-88). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Gießing, J., Preuss, P., Greiwing, A., Goebel, S., Müller, A., Schischek, A. & Stephan, A. (2005c). Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training for muscle hypertrophy. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (Ed.), *Current results of strength training research* (S. 9-23). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Gigerenzer, G. (1998). We need statistical thinking, not statistical rituals. *Behavioral and Brain Sciences*, 21 (2), 199-200.
- Glass, G. V. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5 (10), 3-8.
- Glass, G. V. (1977). Integrating findings: the meta-analysis of research. *Review of Research in Education*, 5 (1), 351-379.
- Glass, G. V., McGaw, B. & Smith, M. L. (1981). *Meta-analysis in social research*. Beverly Hills: CA: Sage.
- Green, B. F. & Hall, J. A. (1984). Quantitative methods for literature reviews. *Annual review of psychology*, 35, 37-53.
- Grosser, M. (1993). *Theorie und Praxis aller Sportarten*. München: BLV Sportwissen.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (2008). *Das neue Konditionstraining*. München: BLV Sportwissenschaft.
- Guezennec, C. Y., Vallier, J. M., Bigard, A. X. & Durey, A. (1996). Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 440-445.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7 + 8), 223-234.
- Haff, G. G. (2004a). Roundtable discussion: periodization of training - part 1. *Strength & Conditioning Journal*, 26 (1), 50-69.
- Haff, G. G. (2004b). Roundtable discussion: periodization of training - part 2. *Strength & Conditioning Journal*, 26 (2), 56-70.
- Hägele, W. (2007). Inklusion vs. Exklusion der Individualität im Sport. *Sportwissenschaft*, 37 (2), 172-185.
- Hagger, M. S. (2006). Meta-analysis in sport and exercise research: Review, recent developments, and recommendations. *European Journal of Sport Science*, 6 (2), 103-115.
- Haken, H. (1996). Chaos und Ordnung: Zur Selbstorganisation komplexer Systeme in Physik, Biologie und Soziologie. In J.-P. Janssen, K. Carl, W. Schlicht & A. Wilhelm (Ed.), *Synergetik und Systeme im Sport* (S. 23-38). Schorndorf: Hofmann.
- Hall, J. A. & Rosenthal, R. (1995). Interpretation and evaluating meta-analysis. *Evaluation & the health professions*, 18 (4), 393-407.
- Halson, S. & Mujika, I. (2008). Models of fatigue. In M. P. Swellnus (Ed.), *The olympic textbook of medicine in sport* (S. 49-67). Oxford: Wiley-Blackwell.

- Harre, D. (1986). *Trainingslehre: Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Harre, D. & Schnabel, G. (1993). Zur Entstehung, zum Stand und zur weiteren Entwicklung der Trainingswissenschaft. In D. Martin & S. Weigelt (Ed.), *Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze* (S. 23-36). Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Hartmann, H., Bob, A., Wirth, K. & Schmidtbleicher, D. (2008). Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Leistungssport*, 38 (3), 17-22.
- Hartmann, U. (2002). Zum Stand der Entwicklung der Trainingsprinzipien aus der Sicht der Ausdauersportarten - Grundlegende Aspekte und Stellenwert der Trainingsprinzipien im Sport. In J. Krug & H.-J. Midow (Ed.), *Trainingsprinzipien - Fundamente der Trainingswissenschaft* (S. 49-64). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Hasegawa, H., Dziados, J., Newton, R. U., Fry, A. C., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (2002). Periodized training programmes for athletes. In W. J. Kraemer & K. Häkkinen (Ed.), *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport* (S. 69-134). Oxford u. a.: Blackwell Science Ltd.
- Hass, C. J., Garzarella, L., De Hoyos, D. & Pollock, M. L. (2000). Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 235-242.
- Hausswirth, C., Lehénaff, D., Dréano, P. & Savonen, K. (1999). Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (4), 599-604.
- Hedges, L. V. & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. New York, London u. a.: Academic Press.
- Heiduk, R., Preuss, P. & Steinhöfer, D. (2002). Die optimale Satzzahl im Krafttraining: Einsatz- versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*, 32 (4), 4-13.
- Heinemann, K. (1998). *Einführung in die Soziologie des Sports*. Schorndorf: Hofmann.
- Hempel, C. G. & Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15 (2), 135-175.
- Herrmann, T. (1976). *Die Psychologie und ihre Forschungsprogramme*. Göttingen: Hogrefe.
- Higgins, J. P. T. & Green, S. (2006). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.0.1 [updated September 2008]*: The Cochrane Collaboration. Available from [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org).
- Hoffman, J. R., Kraemer, W. J. & Fry, A. C. (1990). The effects of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (3), 76-82.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hohmann, A. (1999a). Anwendungs- und Grundlagenorientierung in der Trainings- und Bewegungsforschung. In J. Wiemeyer (Ed.), *Forschungsmethodische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport* (S. 37-54). Hamburg: Czwalina Verlag.

- Hohmann, A. (1999b). Feldforschung in der Trainingswissenschaft. In A. Hohmann, E. Wichmann & K. Carl (Ed.), *Feldforschung in der Trainingswissenschaft* (S. 13-35). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Hohmann, A. & Lames, M. (2002). Der propositionale Gehalt der Trainingsprinzipien und ihr Beitrag zu modernen Konzepten der Trainingssteuerung. In J. Krug & H.-J. Midow (Ed.), *Trainingsprinzipien - Fundamente der Trainingswissenschaft* (S. 29-42). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Hohmann, A. & Lames, M. (2007). Praxisberatung in der Trainingswissenschaft. *Leistungssport*, 37 (2), 4-8.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hohmann, A. & Rütten, A. (1995). Wissenschaftliche Trainingsberatung. Ein interdisziplinäres Konzept. *Sportwissenschaft*, 25 (2), 137-156.
- Hohmann, A., Wichmann, E. & Carl, K. (1999). *Feldforschung in der Trainingswissenschaft*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin - Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart, New York: Schattauer.
- Homann, K. & Suchanek, A. (2005). *Ökonomik. Eine Einführung*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Höner, O. (2008). Basiert die Sportwissenschaft auf unterschiedlichen "Sorten" von Theorien? *Sportwissenschaft*, 38 (1), 3-23.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (1), 3-12.
- Hultman, E., Sjöholm, H., Sahlin, K. & Edström, L. (1981). Glycolytic and oxidative energy metabolism and contraction characteristics of intact human muscle. In R. Porter & J. Whelan (Ed.), *Human muscle fatigue: physiological mechanisms* (S. 19-35). London: Pitman Medical.
- Hunter, J. E. & Schmidt, F. L. (2004). *Methods of meta-analysis: correcting error and bias in research*. Newbury Park: Sage.
- Janssen, J.-P., Carl, K., Schlicht, W. & Wilhelm, A. (1996). *Synergetik und Systeme im Sport*. Schorn-dorf: Hofmann.
- Janssen, J.-P., Schlicht, W., Rieckert, H. & Carl, K. (1992). *Belastung und Beanspruchung*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Joch, W. & Ückert, S. (1998). *Grundlagen des Trainierens*. Münster: Lit Verlag.
- Kelly, S. B., Brown, L. E., Coburn, J. W., Zinder, S. M., Gardner, L. M. & Nguyen, D. (2007). The effect of single versus multiple sets on strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (4), 1003-1006.
- Kennedy, R. (2008). *Encyclopedia of bodybuilding. The complete a-z book on muscle building*. Toronto: 21st century ed.
- Keogh, J. W. L., Wilson, G. J. & Weatherby, R. P. (1999). A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (3), 247-258.

- Kieser, W. (1998). Wieviele Sätze beim Krafttraining? *Leistungssport*, 28 (3), 50-51.
- Kirchgässner, G. (2000). *Homo Oeconomicus. Das ökonomische Modell individuellen Verhaltens und seine Anwendung in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Kirchgässner, G. (2006). Wertfreiheit und Objektivität in den Wirtschaftswissenschaften: Mythos oder Religion? In Z. Gebhard (Ed.), *Werte in den Wissenschaften* (S. 137-181). Tübingen: Mohr Siebeck.
- Knechtle, B. & Kohler, G. (2009). Running performance, not anthropometric factors, is associated with race success in a Triple Iron Triathlon. *British Journal of Sports Medicine*, 43 (6), 437-441.
- Kraemer, W. J. (1997). A series of studies - the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 131-142.
- Kraemer, W. J. (2002). Developing a strength training workout. In W. J. Kraemer & K. Häkkinen (Ed.), *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport* (S. 37-54). Oxford u. a.: Blackwell Science Ltd.
- Kraemer, W. J. (2008). Implementing a nonlinear resistance training program. In S. J. Fleck, W. J. Kraemer, L. E. Brown, J. Antonio, J. Weir, W. P. Ebben & J. Stout (Ed.), *6th International Conference on Strength Training* (S. 365-368). Colorado Springs: National Strength and Conditioning Association.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., Fleck, S. J., Franklin, B., Fry, A. C., R., H. J., Newton, R. U., Jeffrey, P., Stone, M. H., Ratamess, N. A. & Triplett-McBride, T. (2002). Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (2), 364-380.
- Kraemer, W. J. & Fleck, S. J. (2007). *Optimizing strength training*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Kraemer, W. J. & Fry, A. C. (1995). Strength Testing: Development and Evaluation of Methodology. In P. J. Maud & C. Foster (Ed.), *Physiological assessment of human fitness* (S. 115-138). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., Nindl, B. C., Ratamess, N. A., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Fleck, S. J., Newton, R. U. & Häkkinen, K. (2004). Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (4), 697-708.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (4), 674-688.
- Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Fry, A. C., Triplett-McBride, T., Koziris, L. P., Bauer, J. A., Lynch, J., M. & Fleck, S. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *American Journal of Sports Medicine*, 28 (5), 626-633.
- Kramer, J. B., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Conley, M. S., Johnson, R. L., Nieman, D. C., Honeycutt, D. R. & Hoke, T. P. (1997). Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 143-147.
- Kreider, R., Fry, A. C. & O'Toole, M. (1998). Overtraining in sport: terms, definitions, and prevalence. In R. Kreider, A. C. Fry & M. O'Toole (Ed.), *Overtraining in sport* (S. vii-ix). Champaign, Illinois: Human Kinetics.

- Krug, J., Carl, K. & Starischka, S. (2002). Der Einfluss der Trainingslehre von Harre auf die Trainingswissenschaft. In J. Krug & H.-J. Midow (Ed.), *Trainingsprinzipien - Fundamente der Trainingswissenschaft* (S. 15-28). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Kurucz, J. (1980). *Das Zeitlose an der Kerntechnischen Spekulation - Beitrag zur Theorie der Gegenwart*. Saarbrücken: Verlag "Die Mitte".
- Kurucz, J. (1986). *Ideologie, Betrug und naturwissenschaftliche Erkenntnis. Eine wissenssoziologische Untersuchung*. Saarbrücken: Verlag d. Reihe. Saarländische Beiträge zur Soziologie 6.
- Lambert, M. I., Viljoen, W., Bosch, A., Pearce, A. J. & Sayers, M. (2008). General principles of training. In M. P. Schwellnus (Ed.), *The olympic textbook of medicine in sport* (S. 1-48). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Lames, M. (1999). Evaluationsforschung in der Trainingswissenschaft. In A. Hohmann, E. Wichmann & K. Carl (Ed.), *Feldforschung in der Trainingswissenschaft* (S. 49-64). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Lames, M. & Hohmann, A. (2003). Trainingswissenschaft. In H. Haag & B. Strauß (Ed.), *Theoriefelder der Sportwissenschaft. Grundlagen zum Studium der Sportwissenschaft*. (S. 55-75). Schorndorf: Hofmann.
- Lames, M., Hohmann, A. & Letzelter, M. (2003). Trainingswissenschaft und Trainingslehre - Popper und die Russen. *Leistungssport*, 33 (1), 5-10.
- Landers, G. J., Blanksby, B. A., Ackland, T. R. & Monson, R. (2008). Swim positioning and its influence on triathlon. *International Journal of Exercise Science*, 1 (3), 96-105.
- Landin, D. & Nelson, A. G. (2007). Early phase strength development: A four-week training comparison of different programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (4), 1113-1116.
- Leonhart, R. (2004). Effektgrößenberechnung bei Interventionsstudien. *Rehabilitation*, 43, 241-246.
- Letzelter, M. (1978). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch.
- Liu, Y., Gampert, L., Prokopchuk, O. & Steinacker, J. (2007). Satellitenzellaktivierung beim Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 6-11.
- Liu, Y., Heinichen, M., Wirth, K., Schmidtbleicher, D. & Steinacker, J. M. (2008). Response of growth and myogenic factors in human skeletal muscle to strength training. *British Journal of Sports Medicine*, 42 (12), 989-993.
- MacDougall, J. D., Gibala, M. J., Tarnopolsky, M. A., MacDonald, J. R., Interisano, S. A. & Yarasheski, K. E. (1995). The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 20 (4), 480-486.
- MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Chesley, A. & Atkinson, S. A. (1992). Changes in muscle protein synthesis following heavy resistance exercise in humans: a pilot study. *Acta Physiologica Scandinavica*, 146 (3), 403-404.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (2), 40-58.
- Maier-Riehle, B. & Zwingmann, C. (2000). Effektstärkevariation beim Eingruppen-Prä-Post-Design: Eine kritische Betrachtung. *Rehabilitation*, 39, 189-199.

- Mankiw, G. N. (2004). *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Martin, D. (1977). *Grundlagen der Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D. & Weigelt, S. (1993). *Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze*. Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Marx, J. O., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Harman, F. S., Dohi, K., Bush, J. A., Fleck, S. J., Häkkinen, K. & Kraemer, W. J. (1998). The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women. In K. Häkkinen (Ed.), *International conference on weightlifting and strength training* (S. 167-168). Lathi, Finland: Gummerus Printing.
- Matwejew, L. P. (1981). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Maynard, J. & Ebben, W. (2003). The effects of antagonist prefatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (3), 469-474.
- McLester, J. R., Bishop, J. P. & Guiliams, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 273-281.
- McLester, J. R., Bishop, P. A., Smith, J., Wyers, L., Dale, B., Kozusko, J., Richardson, M., Nevett, M. E. & Lomax, R. (2003). A series of studies – a practical protocol for testing muscular endurance recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (2), 259-273.
- Meeusen, R. (2008). The overtraining syndrome: diagnosis and management. In M. P. Swellnus (Ed.), *The olympic textbook of medicine in sport* (S. 138-159). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Meeusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *European Journal of Sport Science*, 6 (1), 1-14.
- Menger, C. (1968 [1871]). *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre. Erster allgemeiner Teil*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Merton, R. K. (1983). *Auf den Schultern von Riesen. Ein Leitfaden durch das Labyrinth der Gelehrsamkeit*. Frankfurt am Main: Suhrkamp taschenbuch wissenschaft 426.
- Merton, R. K. (1985). *Entwicklung und Wandel von Forschungsinteressen. Aufsätze zur Wissenschaftssoziologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Meyer, T., Auracher, M., Heeg, K., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2006). Does cumulating endurance training at the weekends impair training effectiveness? *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation* 13 (4), 578-584.
- Meyer, T., Auracher, M., Heeg, K., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2007). Effectiveness of low-intensity endurance training. *International Journal of Sports Medicine*, 28 (1), 33-39.
- Meyer, T., Faude, O., Urhausen, A., Scharhag, J. & Kindermann, W. (2004). Different effects of two regeneration regimens on immunological parameters in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (10), 1743-1749.
- Millet, G. P. & Bentley, D. J. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 191-197.

- Millet, G. P., Bentley, D. J. & Vleck, V. E. (2007). The relationship between science and sport: application in triathlon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2 (3), 315-322.
- Millet, G. P., Candau, R. B., Barbier, B., Busso, T., Rouillon, J. D. & Chatard, J. C. (2002). Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 23, 55-63.
- Millet, G. P. & Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British Journal of Sports Medicine*, 34, 384-390.
- Miura, H., Kitagawa, K. & Ishiko, T. (1997). Economy during a simulated laboratory test triathlon is highly related to Olympic distance triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 18 (4), 276-280.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 6 (7), 1-5.
- Moher, D., Schulz, K. F. & Altman, D. G. (2001). The CONSORT statement: revised recommendations for improving the quality of reports of parallel-group randomised trials. *Lancet*, 357 (April 14), 1191-1194.
- Monteiro, A. G., Aoki, M. S., L., E. A., Alveno, D. A., Monteiro, G. A., Picarro, I. d. C. & Ugri-nowitsch, C. (2009). Nonlinear periodization maximizes strength gains in split resistance training routines. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (4), 1321-1326.
- Moritani, T. (1992). Time course of adaptations during strength and power training. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (S. 266-278). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Morris, S. B. (2008). Estimating effect sizes from pretest-posttest-control group designs. *Organizational Research Methods*, 11 (2), 364-386.
- Müller, H. & Blischke, K. (2009). Motorisches Lernen. In W. Schlicht & B. Strauß (Ed.), *Grundlagen der Sportpsychologie* (S. 159-228). Göttingen: Hogrefe.
- Mulligan, S., Fleck, S. J., Gordon, S. E., Koziris, L. P., Triplett-McBride, T. N. & Kraemer, W. J. (1996). Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (4), 256-262.
- Niknafs, S. & Kok, L.-Y. (2008). A comparison of linear and undulating periodization for improving maximal strength and strength endurance in untrained men. In S. J. Fleck, W. J. Kraemer, L. E. Brown, J. Antonio, J. Weir, W. P. Ebben & J. Stout (Ed.), *6th International Conference on Strength Training* (S. 143-144). Colorado Springs: National Strength and Conditioning Association.
- Olivier, N. (2001). Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft*, 31 (4), 437-453.
- Olivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre*. Schorn-dorf: Hofmann.
- Paris, R. (2001). Machtfreiheit als negative Utopie. Die Hochschule als Idee und Betrieb. In E. Stölting & U. Schimank (Ed.), *Die Krise der Universitäten* (S. 194-222). Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.

- Party, J.-L. & Perrez, M. (1982). Entstehungs-, Erklärungs- und Anwendungszusammenhang technologischer Regeln. In J.-L. Patry (Ed.), *Feldforschung. Methoden und Probleme sozialwissenschaftlicher Forschung unter natürlichen Bedingungen* (S. 389-412). Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber.
- Peeling, P. D., Bishop, D. J. & Landers, G. J. (2005). Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 960-964.
- Perl, J., Lames, M. & Glitsch, U. (2002). *Modellbildung in der Sportwissenschaft*. Schorndorf: Hofmann.
- Perrez, M. (2005). Wissenschaftstheoretische Grundlagen: Klinisch-psychologische Intervention. In M. Perrez & U. Baumann (Ed.), *Lehrbuch. Klinische Psychologie - Psychotherapie* (S. 68-88). Bern: Hans Huber.
- Perrez, M. & Patry, J.-L. (1982). Nomologisches Wissen, technologisches Wissen, Tatsachenwissen - drei Ziele sozialwissenschaftlicher Forschung. In J.-L. Patry (Ed.), *Feldforschung. Methoden und Probleme sozialwissenschaftlicher Forschung unter natürlichen Bedingungen* (S. 45-66). Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber.
- Petermann, F. (1978). *Veränderungsmessung*. Stuttgart u. a.: Kohlhammer.
- Peterson, M. D., Dodd, D. J., Alvar, B. A., Rhea, M. R. & Favre, M. (2008). Undulation training for development of hierarchical fitness and improved firefighter job performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (5), 1683-1695.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R. & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 377-382.
- Philipp, M. (1999a). Ein Satz genügt! - Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafttraining. *Leistungssport*, 29 (1), 26-28.
- Philipp, M. (1999b). Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*, 29 (4), 27-34.
- Poliquin, C. (1988). Five steps to increasing the effectiveness of your strength training program. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 10 (3), 34-39.
- Pommerehne, W. W. & Frey, B. S. (1993). *Musen und Märkte*. München: Verlag Vahlen.
- Popper, K. (2000). *Vermutung und Widerlegung. Das Wachstum der wissenschaftlichen Erkenntnis*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Popper, K. (2002). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Prestes, J., De Lima, C., Frollini, A. B., Donatto, F. F. & Conte, M. (2009). Comparison of linear and reverse linear periodization effects on maximal strength and body composition. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (1), 266-274.
- Raastad, T. & Hallén, L. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82 (3), 206-214.
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, T. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J. & Triplett, N. T. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (3), 687-708.



- Rhea, M. R. (2004a). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 918-920.
- Rhea, M. R. (2004b). Synthesizing strength and conditioning research: the meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 921-923.
- Rhea, M. R. & Alderman, B. (2004). A meta-analysis of periodized versus nonperiodized strength and power training programs. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75 (4), 413-422.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Ball, S. D. & Burkett, L. N. (2002). Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16 (4), 525-529.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N. & Ball, S. D. (2003). A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (3), 456-464.
- Richmond, S. R. & Godard, M. P. (2004). The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 846-849.
- Rietjens, G. (2002). *Preparing for the olympic games*. Maastricht: Datawyse Universitaire Pers.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38 (4), 193-200.
- Rohmert, W. & Rutenfranz, J. (1983). *Praktische Arbeitsphysiologie*. Stuttgart, New York u. a.: Thieme Verlag.
- Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvalme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F. & Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (1), 157-163.
- Rosenthal, R. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86 (3), 638-641.
- Rosenthal, R. (1991). Meta-analysis: a review. *Psychosomatic Medicine*, 53, 247-271.
- Rosenthal, R. & DiMatteo, M. R. (2001). Meta-analysis: recent developments in quantitative methods for literature reviews. *Annual Review of Psychology*, 52, 59-82.
- Rosnow, R. L. & Rosenthal, R. (1996). Computing contrasts, effect sizes, and counternulls on other people's published data: general procedures for research consumers. *Psychological Methods*, 1 (4), 331-340.
- Rothschild, K. W. (2001). The reluctant rebel or glamour and poverty of the homo oeconomicus. *Kyklos*, 54 (2-3), 445-452.
- Rustenbach, S. J. (2003). *Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Rutherford, O. M. & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 100-105.
- Sandig, D., Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E. & Gießing, J. (2008). Consequences of swim, cycle, and run performance on the overall result in Olympic-distance triathlon. In J.

- Cabri, F. Alves, D. Araújo, J. Barreiros, J. Diniz & A. Veloso (Ed.), *Book of Abstracts of the 13th Annual Congress of the European College of Sport Science – 9.-12.07.2008* (S. 450-451). Estoril, Portugal.
- Sarris, V. (1992). *Methodologische Grundlagen der Experimentalpsychologie: Bd. 2 Versuchsplanung und Studien des psychologischen Experiments*. München, Basel: Ernst Reinhardt.
- Schlicht, W. (1992). Das sportliche Training: Überlegungen auf dem Wege zu einem integrierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In J.-P. Janssen, W. Schlicht, H. Rieckert & K. Carl (Ed.), *Belastung und Beanspruchung* (S. 31-44). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Schlicht, W. & Lames, M. (1993). Wissenschaft und Technologie: Ideen zu einer Forschungskonzeption in der Trainingswissenschaft. In D. Martin & S. Weigelt (Ed.), *Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze* (S. 78-94). Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Schlumberger, A. & Schmidbleicher, D. (1999). Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative - Möglichkeiten und Grenzen. *Leistungssport*, 29 (3), 9-11.
- Schlumberger, A., Stec, J. & Schmidbleicher, D. (2001). Single- vs. multiple-set strength training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (3), 284-289.
- Schmidt, F. L. (1992). What do data really mean? *American Psychologist*, 47 (10), 1173-1181.
- Schmidt, R. F. & Thews, G. (1995). *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer.
- Schmidbleicher, D. (1989). Zum Problem der Definition des Begriffs Kraftausdauer. In K. Carl, S. Starischka & H.-M. Storck (Ed.), *Kraftausdauertraining* (S. 10-30). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Schmidbleicher, D. (1996). Die Entwicklung der Sportwissenschaft im Spiegel der naturwissenschaftlichen Forschungsschwerpunkte. *dvs-Informationen*, 11 (4), 25-30.
- Schmidbleicher, D. (1997). Fitnesstraining - Zielkonflikt zwischen Effektivität und Motivation. In W. Brehm, P. Kuhn, K. Lutter & W. Wabel (Ed.), *Leistung im Sport - Fitness im Leben* (S. 26-29). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Schmidbleicher, D. & Frick, U. (1998). Kurzfristige und langfristige Regeneration nach Krafttraining. In (Ed.), *BISp Jahrbuch 1997* (S. 221-226). Köln: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.
- Schmidbleicher, D. & Fröhlich, M. (2008). Comparison of 2 vs 3 days per week of strength training - a meta-analysis. In S. J. Fleck, W. J. Kraemer, L. E. Brown, J. Antonio, J. Weir, W. P. Ebben & J. Stout (Ed.), *6th International Conference on Strength Training* (S. 123-124). Colorado Springs: National Strength and Conditioning Association.
- Schnabel, G. (1998). Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Entwicklung - Stand - Perspektiven. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 10 (1), 7-23.
- Schnabel, G., Harre, D. & Borde, A. (1997). *Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schöllhorn, W., Beckmann, H. & Michelbrik, M. (2005). System(at)ische Betrachtung von Trainingsprinzipien. In R. Burger, D. Augustin, N. Müller & W. Steinmann (Ed.), *Trainingswissenschaft. Facetten in Lehre und Forschung* (S. 39-53). Niederhausen/Ts.: Schors-Verlag.
- Schwellnus, M. P. (2008). *The olympic textbook of medicine in sport*. Oxford: Wiley-Blackwell.

- Sedlmeier, P. (1996). Jenseits des Signifikanztest-Rituals: Ergänzungen und Alternativen. *Methods of Psychological Research Online*, 1 (4), 41-63.
- Sedlmeier, P. & Gigerenzer, G. (1989). Do studies of statistical power have an effect on the power of studies? *Psychological Bulletin*, 105 (2), 309-316.
- Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2008). *Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie*. München: Pearson Studium.
- Silberer, V. (1900). *Handbuch der Athletik nebst einer Anleitung zum Boxen*. Wien: Verlag der allgemeinen Sport-Zeitung.
- Simao, R., Farinatti, P. d. T. V., Polito, M. D., Maior, A. S. & Fleck, S. J. (2005). Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (1), 152-156.
- Smith, D. J. (2003). A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Medicine* 33 (15), 1103-1126.
- Spreuwenberg, L. P., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., Vingren, J. L., Fragala, M. S., Hakkinen, K., Newton, R. U., Maresh, C. M. & Fleck, S. J. (2006). Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (1), 141-144.
- Stachowiak, H. (1995). Systematischer Neopragmatismus. In H. Stachowiak (Ed.), *Pragmatik. Handbuch pragmatischen Denkens* (S. 249-304). Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Stadler, L. V., Stubbs, N. B. & Vukovich, M. D. (1997). A comparison of a 2-day and 3-day per week resistance training program on strength gains in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5), suppl. 254.
- Starischka, S. (1996). "Prinzipien" und Trainingssteuerung - exemplarische Bestandsaufnahme, Diskussionsanregungen, Perspektiven. In H.-A. Thorhauer, K. Carl & U. Türck-Noack (Ed.), *Trainingswissenschaft. Theoretische und methodische Fragen in der Diskussion* (S. 101-123). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Starischka, S. & Carl, K. (1989). Perspektiven in der Weiterentwicklung von Praxis und Theorie des Kraftsdauertrainings. In K. Carl, S. Starischka & H.-M. Storck (Ed.), *Kraftausdauertraining* (S. 135-148). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Stark, R., Mandl, H. & Herzmann, P. (2007). Ein integrativer Forschungsansatz zur Überbrückung der Kluft zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung. In G. Reinmann & J. Kahlert (Ed.), *Der Nutzen wird vertagt ...* (S. 117-133). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Starkey, D. B., Pollock, M. L., Ishida, Y., Welsch, M. A., Brechue, W. F., Graves, J. E. & Feigenbaum, M. S. (1996). Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (10), 1311-1320.
- Stehr, N. (2001). *Wissen und Wirtschaften. Die gesellschaftlichen Grundlagen der modernen Ökonomie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Steinmann, W. (2005). Aspekte zur Problematik von Veränderungsmessungen im Sport. In R. Burger, D. Augustin, N. Müller & W. Steinmann (Ed.), *Trainingswissenschaft. Facetten in Lehre und Forschung* (S. 54-73). Niederhausen/Ts.: Schors-Verlag.
- Stone, M. & O'Bryant, H. (1987). *Weight Training: A scientific approach*. Minneapolis, MN: Bellwether Press.

- Stone, M. H., O'Bryant, H., Schilling, B. K., Johnson, R. L., Pierce, K. C., Haff, G. G., Koch, A. J. & Stone, M. (1999a). Periodization: Effects of manipulating volume and intensity. part 1. *Strength & Conditioning Journal*, 21 (2), 56-62.
- Stone, M. H., O'Bryant, H., Schilling, B. K., Johnson, R. L., Pierce, K. C., Haff, G. G., Koch, A. J. & Stone, M. (1999b). Periodization: Effects of manipulating volume and intensity. part 2. *Strength & Conditioning Journal*, 21 (3), 54-60.
- Stone, M. H., Potteiger, J. A., Pierce, K. C., Proulx, C. M., O'Bryant, H. S., Johnson, R. L. & Stone, M. E. (2000). Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 332-337.
- Stoppani, J. (2006). Defining periodization. *IDEA Fitness Journal*, 3 (9), 1-5.
- Szubski, C. (1999). Der Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training-Dogmatismus - Ein Beispiel für Glaubenslehren in der Trainingswissenschaft? *Leistungssport*, 29 (4), 35.
- Tan, B. (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (3), 289-304.
- Tesch, P. A. (1992). Short- and long term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (S. 239-248). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Tew, G. A. (2005). The effect of cycling cadence on subsequent 10km running performance in well-trained triathletes. *Journal of Sports Science and Medicine* (4), 342-353.
- Thienes, G. (2008). Zur Einordnung des Wettkampfes in den Gegenstands- und Objektbereich der Trainingswissenschaft. *E-Journal Bewegung und Training*, 2, 37-42.
- Thienes, G. & Kauert, C. (2002). Beratung als Aufgabe der Trainingswissenschaft und Beitrag zur Verknüpfung von Theorie und Praxis. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 43 (2), 45-64.
- Thorhauer, H.-A., Carl, K. & Türck-Noack, U. (1996). *Trainingswissenschaft. Theoretische und methodische Fragen in der Diskussion*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Thorhauer, H.-A., Carl, K. & Türck-Noack, U. (2001). *Muskel-Ermüdung*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Tschiene, P. (2006). Streit um die Superkompensation. *Leistungssport*, 36 (1), 5-15.
- Turgot, A. R. J. (1990 [1769/70]). *Réflexions sur la formation et la distribution des richesses*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Verchoshanskiy, J. & Viru, A. (1990). Einige Gesetzmäßigkeiten der langfristigen Adaptation des Organismus von Sportlern an körperliche Belastungen. *Leistungssport*, 20 (3), 10-13.
- Vleck, V. E., Brügi, A. & Bentley, D. J. (2006). The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite Olympic distance triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 43-48.
- von Thünen, J. H. (1966 [1875]). Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie In W. Braeuer & E. E. A. Gerhardt (Ed.). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft

- Wathen, D., Baechle, T. R. & Earle, R. W. (2008). Periodization. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Ed.), *Essentials of strength training and conditioning* (S. 507-522). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Weber, M. (2002 [1919]). Wissenschaft als Beruf. In D. Kaesler (Ed.), *Max Weber Schriften 1894-1922* (S. 474-511). Stuttgart: Kröner.
- Weed, M. (2005). "Meta interpretation": A method for the interpretive synthesis of qualitative research. *Forum: Qualitative Sozialforschung* 6(1), Art 37.
- Weed, M. (2006). Interpretive qualitative synthesis in the sport & exercise sciences: The meta-interpretation approach. *European Journal of Sport Science*, 6 (2), 127-139.
- Weicker, H. (1992). Metabolische Regulation unter Belastung. In J.-P. Janssen, W. Schlicht, H. Rieckert & K. Carl (Ed.), *Belastung und Beanspruchung* (S. 65-90). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Weineck, J. (2003). *Optimales Training*. Balingen: Spitta.
- Weingart, P. (1998). Ist das Wissenschaftsethos noch zu retten? *Gegenworte - Zeitschrift für den Disput über Wissen*, 2, 13-17.
- Weingart, P. (2001). *Die Stunde der Wahrheit? Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft*. Göttingen: Velbrück Wissenschaft.
- Wernbom, M., Augustsson, J. & Thomeé, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Medicine*, 37 (3), 225-264.
- Willimczik, K. (2001a). Die Perspektive der Sportwissenschaft auf der Grundlage der reinen und der praktischen Vernunft. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 42 (1), 43-64.
- Willimczik, K. (2001b). *Sportwissenschaft interdisziplinär. Ein wissenschaftstheoretischer Dialog*. Hamburg: Czwalina Verlag.
- Willimczik, K. (2003). *Sportwissenschaft interdisziplinär. Ein wissenschaftstheoretischer Dialog*. Hamburg: Czwalina.
- Willimczik, K. (2007). Die Vielfalt des Sports. Kognitive Konzepte der Gegenwart zur Binnendifferenzierung des Sports. *Sportwissenschaft*, 37 (1), 19-37.
- Willoughby, D. S. (1993). The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7 (1), 2-8.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Wirth, K. (2007). *Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Wirth, K., Atzor, K. R. & Schmidtbleicher, D. (2007). Veränderungen der Muskelmasse in Abhängigkeit von Trainingshäufigkeit und Leistungsniveau. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (6), 178-183.
- Wirth, K. & Schmidtbleicher, D. (2007). Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 2: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktischen Anwendungen im Schnellkrafttraining. *Leistungssport*, 37 (2), 16-20.

- Wohlgefahrt, K. & Michel, S. (2006). *Beiträge zur Speziellen Trainingswissenschaft Leichtathletik*. Hamburg: Czwalina Verlag.
- Wolfe, B. L., LeMura, L. M. & Cole, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (1), 35-47.
- Wottawa, H. & Thierau, H. (2003). *Lehrbuch Evaluation*. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Wydra, G. (1996). *Gesundheitsförderung durch sportliches Handeln*. Schorndorf: Hofmann.
- Zatsiorsky, V. M. & Kraemer, W. J. (2008). *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.

## Anhang

### Anhang 1: Exemplarische Kodierliste<sup>79</sup>

| Variable mit entsprechender Merkmalsausprägung                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Studienart (1 = Gesamtstudie; 2 = Teilstudie)                                                                                                                                                                                         |
| Autor(en) (Freifeld)                                                                                                                                                                                                                  |
| Jahr der Publikation (numerisch)                                                                                                                                                                                                      |
| Art der Publikation (1 = Zeitschriftenartikel; 2 = Herausgeberwerk; 3 = Monographie; 4 = Internetressource; 5 = Abstract)                                                                                                             |
| Name der Zeitschrift (Freifeld)                                                                                                                                                                                                       |
| Review im Begutachtungsprozess der Publikation (1 = ja; 0 = nein; 2 = nicht bekannt)                                                                                                                                                  |
| Impact Factor der Zeitschrift im Jahr 2006, 2007 oder 2008 (numerisch)                                                                                                                                                                |
| Sprache der Publikation (1 = englisch; 2 = deutsch)                                                                                                                                                                                   |
| Studien-Design (1 = randomisierte Studie ohne Kontrollgruppe; 2 = Crossoverdesign; 3 = Metaanalyse; 4 = Einzelfalluntersuchung; 5 = randomisierte Studie mit Kontrollgruppe; 6 = Quasiexperimentelles Design; 7 = Literaturübersicht) |
| Anzahl der Probanden (numerisch)                                                                                                                                                                                                      |
| Durchschnittliches Alter der Probanden (numerisch)                                                                                                                                                                                    |
| Geschlecht der Probanden (1 = männlich; 2 = weiblich; 3 = beide Geschlechter beteiligt; 4 = keine Angabe)                                                                                                                             |
| Charakteristik der Probanden (1 = trainiert; 2 = untrainiert; 3 = beides; 4 = keine Angabe)                                                                                                                                           |
| Anzahl der Test-Übung(en) im Kraftbereich (numerisch)                                                                                                                                                                                 |
| Art der Testübung (Freifeld)                                                                                                                                                                                                          |
| Anzahl der Trainings-Übung(en) (numerisch)                                                                                                                                                                                            |
| Angabe der verwendeten Übung(en) (Freifeld)                                                                                                                                                                                           |
| Direkter Vergleich block- vs. wellenförmige Periodisierung im Design (1 = ja; 0 = nein)                                                                                                                                               |
| Angabe von Belastungsnormativa (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                     |
| Angabe der Intensität (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                              |
| Angabe des Volumen (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                                 |
| Angabe der Serienpause (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                             |
| Angabe der Trainingshäufigkeit (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                     |
| Häufigkeit des Trainings pro Woche im Mittel (numerisch)                                                                                                                                                                              |
| Dauer Hypertrophie Block in Wochen (numerisch)                                                                                                                                                                                        |
| Dauer IK Block in Wochen (numerisch)                                                                                                                                                                                                  |
| Dauer der Studie in Wochen (numerisch)                                                                                                                                                                                                |
| Angabe der verwendeten Testmethodik (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                |
| Dynamische Maximalkraft (1-RM) (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                     |
| Isometrische Maximalkraft (0 = nein; 1 = ja)                                                                                                                                                                                          |

<sup>79</sup> Je nach thematischer Ausrichtung der Metaanalyse wurde die Kodierliste entsprechend der zusätzlich zu erheben Variablen erweitert bzw. modifiziert.

---

Bewegungsgeschwindigkeit (0 = nein; 1 = ja)  
Isometrische Explosivkraft (0 = nein; 1 = ja)  
Angabe Muskelmasse (0 = nein; 1 = ja)  
Angabe Hormoneller Werte (0 = nein; 1 = ja)  
Angabe Körperfettanteil (0 = nein; 1 = ja)  
Festgelegte submaximale Wiederholungszahl (0 = nein; 1 = ja)  
Anthropometrische Daten wie BMI, Körperfettmessung etc. (0 = nein; 1 = ja;  
2 = keine Angaben)  
Benotung der Methodik (0 = gering; 1 = mittel; 2 = hoch)  
Benotung der Ergebnisse (0 = gering; 1 = mittel; 2 = hoch)  
Bewertung der internen Validität (0 = gering; 1 = mittel; 2 = hoch)  
Bewertung der externen Validität (0 = gering; 1 = mittel; 2 = hoch)  
Bewertung der Konstruktvalidität (0 = gering; 1 = mittel; 2 = hoch)  
Bewertung der statistischen Validität (0 = gering; 1 = mittel; 2 = hoch)  
Signifikanter Unterschied zwischen z. B. linearer und wellenförmiger Periodisierung  
(0 = nein; 1 = ja; 2 = nicht direkt untersucht)  
Statistisches Prüfverfahren Angegeben (1 = parametrische Verfahren;  
2 = nonparametrische Verfahren; 3 = parametrische und nonparametrische Verfahren;  
4 = keine Angaben)  
Angabe der statistischen Prüfgröße (0 = nein; 1 = ja)  
Mittlere Effektstärke der Berechnung (ES) (numerisch)  
Einschätzung der Ergebnisse durch die Autoren (Fazit) (kategorisiert)  
Sonstiges

---



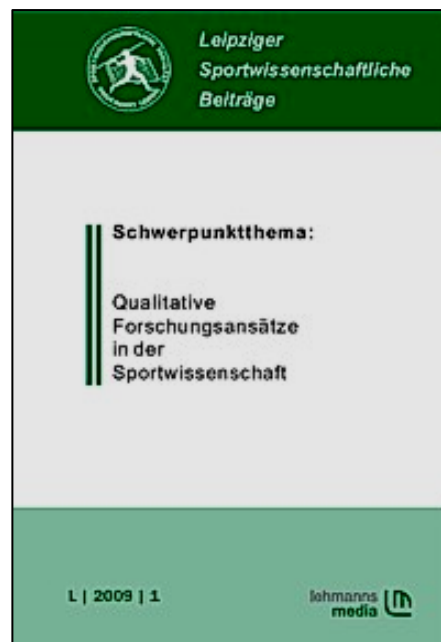
**Anhang 2: PEDro Kriterien zur Bewertung methodischer Qualität (modif. n. den Richtlinien des Centre for Evidence Based Physiotherapy, 1999)**

| Nr. | Kriterien                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert.                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2.  | Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet.                                                                                                                                                                                                                                |
| 3.  | Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen.                                                                                                                                                                                                                                         |
| 4.  | Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich.                                                                                                                                                                                |
| 5.  | Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen.                                                                                                                                                                     |
| 6.  | Alle Probanden, welche für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine, 'intention to treat' Methode analysiert. |
| 7.  | Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet.                                                                                                                                                                                    |
| 8.  | Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome.                                                                                                                                                                                           |

## **Beiträge I bis XIII in thematischer Reihenfolge**

## Beitrag I

Fröhlich, M. (2009). Überlegungen zum Trainingsbegriff und zur Theorie des Trainings aus ökonomischer Perspektive. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 51 (2), 8-35.



**Michael Fröhlich**

## Überlegungen zum Trainingsbegriff und zur Theorie des Trainings aus ökonomischer Perspektive

### Summary

The usual definitions of training generally focus on performance brought about by systematical, planned, and fact-oriented interventions. Since the colloquial understanding of the term "training" is completely different, we introduce a definition of training that is based on an economic perspective. This definition of training is suggested as part of an economic model of marginal return and will be discussed in detail.

### Zusammenfassung

Gängige Trainingsdefinitionen rekurren in der Regel auf Leistungsverbesserungen, welche durch systematische, planbare und sachorientierte Einwirkungen erzielt werden sollen. Davon entkoppelt ist das Trainingsbegriffsverständnis der Alltagssprache. Daher wird ein relativ offener Trainingsbegriff aus der Perspektive der Ökonomie neu eingeführt. Im Weiteren wird dieser Trainingsbegriff in ein ökonomisches Modell zur Grenzertragsbetrachtung integriert und zur Diskussion gestellt.

**Schlagworte:** Training, Begriffe, Modell, Ökonomie, Definition

## 1. Einleitung und Problemexplikation

„In der Alltagssprache sind viele Begriffe unklar, ungenau und mehrdeutig. Die Sprache der Trainingslehre als einer wissenschaftlichen Disziplin muß dagegen knapp, klar und eindeutig sein. Den Forderungen nach eindeutigen und unmissverständlichen Formulierungen kommt die Trainingslehre aber nur teilweise nach.“ Letzelter (1978, S. 18)

Zur Konstituierung und Legitimierung einer jeden Wissenschaft oder wissenschaftlichen Forschungsdisziplin als Institution gehört u. a. neben der Systematik und Akkumulation von Erkenntnissen, eines eigenen Methodenspektrums bzw. eines Komplexes spezifischer Methoden mit deren Hilfe Wissen zu erheben und zu sichern ist, ein objektspezifischer *Forschungsgegenstand*<sup>1</sup> (Herrmann, 1976). Neben diesen „klassischen“ Kriterien für die Anerkennung als Wissenschaft werden zusätzlich die Verwendung einer exakten Wissenschaftssprache, im Sinne einer Vereinheitlichung der verwendeten Begrifflichkeiten, die explizite Definition von gebrauchten Termini sowie die systematische Dokumentation jeglicher Begriffsänderung gefordert (Wedekind, 1985). Dies trifft sowohl auf die Sportwissenschaft als interdisziplinäre Wissenschaft per se (Willimczik, 2001), als auch auf die Trainingswissenschaft<sup>2</sup> als Teildisziplin im Besonderen zu (Letzelter, 1978; 1996). Während eine historische Aufarbeitung des Gegenstandes der Sportwissenschaft – Abgrenzung als auch Strukturierung und Differenzierung nach innen – in Teilen zu konstatieren ist (u. a. Hägele, 1996; 2007; Haverkamp & Willimczik, 2005; Heinemann, 1998; Willimczik, 2007), scheint der Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft<sup>3</sup> unterformalisiert, da, so ist zu vermuten, der Objektbereich nicht hinreichend spezifiziert ist. Während Lames

---

<sup>1</sup> Der Autor dankt den Gutachtern für konstruktive Hinweise und Anmerkungen.

<sup>2</sup> Der Beitrag fokussiert den Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft, das sportliche Training. Aspekte des Selbstverständnisses, der zugrunde liegenden Forschungsmethoden, zur historischen Entwicklung, zum Stand und Perspektiven sowie zur wissenschaftstheoretischen Verortung und Abgrenzung müssen ebenso ausgeklammert werden, wie die Bereiche Leistung und Wettkampf als weitere Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft (u. a. Hohmann, Lames & Letzelter, 2007; Krüger, 2003; Lames, Hohmann & Letzelter, 2003; Martin & Weigelt, 1993; Schnabel, 1998; Schnabel, Harre, Krug & Borde, 2003; Thorhauer, Carl & Türck-Noack, 1996).

<sup>3</sup> Die wissenschaftlichen Disziplinen, welche sich mit dem Konstrukt Training auseinandersetzen, werden bzw. wurden verschiedenartig differenziert und mit unterschiedlichen Termini versehen. Die gängigsten Bezeichnungen lauten „Trainingslehre“, „Trainingswissenschaft“ sowie „Theorie und Methodik des Trainings“ (Martin, Carl & Lehnertz, 1993, S. 17). Daus, Olivier, Wiemeyer und Panzer (1999, S. 15) verweisen darauf, dass die Sportbiomechanik, die Sportmotorik und die Trainingswissenschaft keinen eigenständigen, klar abgrenzbaren oder gar disjunkten Objektbereich haben und somit wohl nicht als jeweils eigenständige Wissenschaftsdisziplinen anzusehen sind. Bereits 1900 verweist Silberer darauf, dass Training nicht allein ein höchst wichtiges sportliches, sondern auch ein leider viel zu wenig genutztes wissenschaftliches Hilfsmittel sei.

und Hohmann (2003, S. 59) als Gegenstandsbereiche für die Trainingswissenschaft die Komplexe Training, Leistungsfähigkeit und Wettkampf annehmen (Carl, 2003b; Hohmann et al., 2007; Martin et al., 1993; Schnabel et al., 2003) sehen Olivier, Marschall und Büsch (2008, S. 17) den Begriff „Training“ als zentralen Gegenstand der Trainingswissenschaft an. Nach Hohmann (1999, S. 37) versteht sich die Trainingswissenschaft als *Wissenschaft vom Training* und somit über den Objektgegenstand per se als angewandte Wissenschaft. Durch die Strukturierung, Analyse und Erklärung des sportlichen Trainings greift die interdisziplinär ausgerichtete Trainingswissenschaft in obigem Verständnis über die jeweiligen Disziplingrenzen hinweg auf die Erkenntnisse all jener sportwissenschaftlichen und/oder mutterwissenschaftlichen Disziplinen zurück, die objektspezifisch Aussagen hierzu treffen können (Hohmann, 1999). Die jeweilige engere bzw. weitere Betrachtung des Gegenstandes „Training“ ist dabei einerseits historischen, gesellschaftspolitischen, weltanschaulichen, ideologischen Gegebenheiten und Rahmenbedingungen sowie andererseits disziplinspezifischen Zugängen und wissenschaftstheoretischen Paradigmen geschuldet. Joch und Ückert (1998, S. 11ff.) differenzieren in diesem Zusammenhang drei Varianten des Trainingsbegriffs: erstens, den monokausalen versus multiplen Trainingsbegriff, zweitens, den offenen versus geschlossenen und drittens, den engen versus weiten Trainingsbegriff. Hinzu kommt, dass Training im Rahmen trainingswissenschaftlicher Fundierung, neben der Begriffsexplikation, den Kriterien logisch rationalen Handelns zu folgen hat, was Planung, Festlegung von Erfolgskriterien, planungsgemäße Realisierung und letztlich Erfolgskontrolle betrifft (Daugis et al., 1999; Eisenführ & Weber, 2003). Der vorliegende Beitrag versucht hierzu Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen sowie einen ökonomisch orientierten Fokus in die Diskussion einzuführen.

## **2. Verortung, Begriffsverständnis und Definition des Trainingsbegriffs**

Hohmann et al. (2007) halten den Trainingsbegriff<sup>4</sup> für die Trainingswissenschaft als essentiell, da er einerseits für die Namensgebung der sportwissenschaftlichen Disziplin steht und andererseits die dynamische Entwicklung der

---

<sup>4</sup> Sprachanalytisch könnte der Trainingsbegriff entweder aus einer formalsprachlichen (Aspekte der Widerspruchsfreiheit, Differenziertheit, semantischen Geschlossenheit, rekursiven Struktur und Verwendbarkeit zum Aufbau axiomatischer Theorien) oder einer normalsprachlichen Richtung (im Sinne einer Alltagssprache) interpretiert werden (Lenk, 1980, S. 417), was ein lohnendes Unterfangen sein könnte. Weiterhin könnte Training im Alltags-Denken als integriertes Element der konkreten Lebenswelt wahrgenommen werden, in dem Sinne, dass Training denjenigen Trainingsbegriff subsumiert, welcher als Training verstanden wird (Berger & Luckmann, 2004). Im Rahmen dieses Beitrages geht es jedoch darum, eine ökonomische Perspektive auf den Gegenstand „sportliches Training“ anzuwenden.

Disziplin in den letzten 40 Jahren widerspiegelt. Während die integrative Trainingswissenschaft als Wissenschaftsdisziplin das Konstrukt Training<sup>5</sup> einer ganzheitlichen Betrachtung unterzieht, wählen andere Disziplinen (Mutterwissenschaften) eine eher disziplinäre Perspektive wie die Biomechanik, Medizin und Psychologie etc. (Lames & Hohmann, 2003, S. 55).

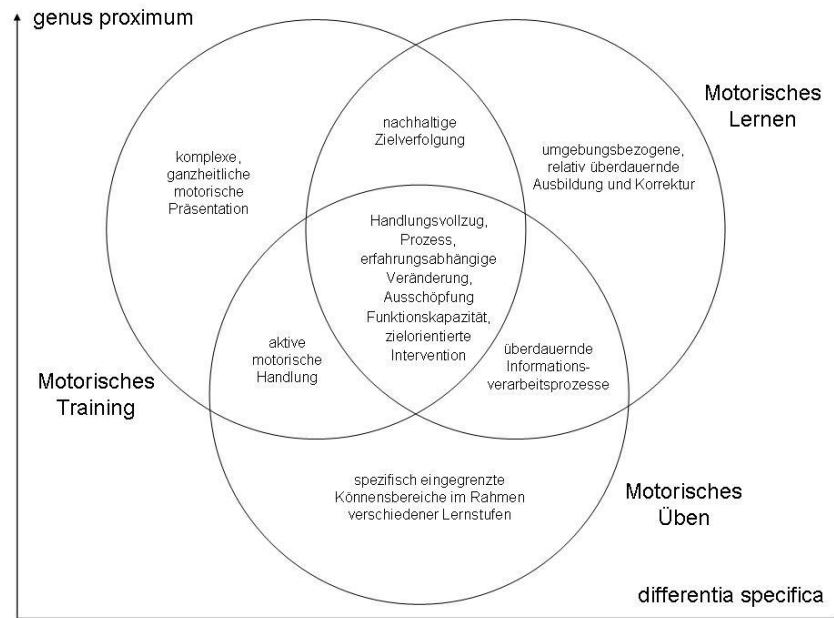


Abb. 1. Exemplarische Darstellung von konjunkten und disjunkten Bestandteilen der Begriffe motorisches Training, motorisches Lernen und motorisches Üben

<sup>5</sup> Auf eine inhaltliche Differenzierung der Begriffe „motorisches“ Trainieren, Üben und Lernen soll an dieser Stelle nur in Teilen eingegangen werden, wohl wissend, dass eher konjunkte, denn disjunkte Bestandteile enthalten sind (zur Differenzierung des Begriffs siehe bereits Silberer, 1900, S. 406; Carl, 1983, S. 19). Während auf der Ebene des *genus proximum* die drei Begriffe durch motorische Aktivität gekennzeichnet sind, gestaltet sich auf der Ebene der *differentia specifica* eine Unterscheidung deutlich schwieriger (Seiffert, 1996, S. 38). Prinzipiell müssten hierbei Endpole die Kategoriengrenzen markieren (zum Problem der Vagheit von natürlichen Sprachen siehe Wolski, 1980, S. 69ff.). So verstehen bspw. Müller und Blischke (in Dr.) motorisches Lernen als einen Prozess der zeitlich relativ überdauernden erfahrungsabhängigen Veränderung der motorischen Kompetenz (koordinative Funktionskapazität einer Person). Überschneidungen mit dem Begriff Training oder Trainieren sind hierbei nicht auszuschließen. Froböse und Fiehn (2003, S. 11) verweisen darauf, dass die Begriffe Üben und Trainieren in der Rehabilitation und Therapie nahezu synonym verwendet werden (Abbildung 1). Auch Alltagssprachlich werden die Begriffe synonym verwendet (Çetin & Flock, 1991, S. 54).

In diesem Zusammenhang hat bereits 1993 Martin im Einleitungsbeitrag zum 1. Symposium der dvs-Sektion Trainingswissenschaft angemahnt, dass ein additives Modell der Trainingswissenschaft, indem die Probleme und Erkenntnisse von Training und sportlicher Leistungsfähigkeit nur auf der Grundlage der Mutterwissenschaften erörtert werden, einem autonom eigenständigen Wissenschaftsprofil der Trainingswissenschaft entgegen steht. Andererseits wird von Perl, Lames und Glitsch (2002, S. 9) angemahnt, dass ein eigenständiger Bereich theoretischer Sportwissenschaft – somit auch der Trainingswissenschaft – bislang nicht aufgezeigt wurde, und die betreffenden Mutter- bzw. Basiswissenschaften praktisch die einzigen Lieferanten eines theoretischen Wissenstransfers darstellen. Der im nachfolgenden Beitrag verwendete Trainingsbegriff bezieht sich explizit auf bewegungsbezogene, motorische Zusammenhänge. Begriffsverständnisse anderer Kontexte und Betrachtungsebenen, wie Autogenes Training, Motivationstraining, Stressverarbeitungstraining, Kommunikationstraining, Verkaufstraining, Mitarbeitertraining, Kleingruppentraining, psychoedukatives Training usw. wie sie in der Psychologie, der Betriebswirtschaftslehre oder der Pädagogik verwendet werden, sind bewusst ausgeklammert (Carl, 1983; Lange, 2004).

## 2.1 Betrachtungsebenen und disziplinäre Zugänge des Trainingsbegriffs

Etymologisch leitet sich der Begriff Training aus dem englischen Begriff „to train“ ab und kann entweder als *transitives* Zeitwort im Sinne „jemanden abrichten“, „jemanden ausbilden“, „jemanden unterweisen“ (Tätigkeit zielt auf ein Objekt ab) oder als *intransitives* Zeitwort im Sinne „sich ausbilden“, „üben“, „sich ertüchtigen“ (Tätigkeit zielt auf die eigene Person ab) verstanden werden. Alleine durch die etymologische Betrachtung wird deutlich, dass Training immer prozesshaft zu verstehen ist und kein punktuelles Ereignis darstellt, sondern eine Veränderung in der Zeit bewirkt, somit sind bereits implizit die Kriterien von Effektivität und Effizienz berührt. Zielt der Prozesscharakter des Trainings dabei nur auf eine Dimension, beispielsweise Entwicklung der maximalen Leistungsfähigkeit für den Spitzensport ab, so sprechen Joch und Ückert (1998, S. 11) von einem *monokausalen* Trainingsbegriff (vorrangig geeignet für den Hochleistungssport im Erwachsenenalter). Vertreter dieser frühen Sichtweise waren u. a. Harre<sup>6</sup> (1986) und Nett (1964). Sollen jedoch mehrere Perspektiven (ganzheitlich und persönlichkeitsorientiert) und unterschiedliche Zielgruppen wie Schüler, Senioren, Gesundheits- und Freizeitsportler, Rehabilitanten, Patienten usw. eingeschlossen werden, so ist ein *multipler* Trainingsbegriff zu verwenden. Bereits an dieser Stelle wird deutlich, dass verschiedenste Ziele und Inhalte durch Trai-

---

<sup>6</sup> „Das Training ist immer auf das Erreichen der individuell möglichen Höchstleistung in einer Sportart oder sportlichen Disziplin ausgerichtet“ (Harre, 1986, S. 20).



ningsinterventionen anvisiert werden. Innerhalb dieses multiplen<sup>7</sup> Verständnisses werden individuelle Bedürfnisse, Interessen und Eigenschaften nicht bloß als Voraussetzung für die maximale sportliche Leistungsfähigkeit berücksichtigt, sondern ihnen wird allgemein eine Ziel- bzw. Zweckfunktion zugeschrieben (Joch & Ückert, 1998, S. 12). Ballreich und Kuhlowl (1975) waren in diesem Kontext u. a. die Ersten, die dieses Begriffsverständnis propagiert und somit den Trainingsbegriff geöffnet haben. Der *offene* Trainingsbegriff wird dabei verwendet, wenn alle trainingsrelevanten Erkenntnisse und Hinweise aus verschiedenen Wissenschaften wie Psychologie, Pädagogik, Biomechanik, Gerontologie, Arbeitswissenschaft etc. verknüpft werden – die Trainingswissenschaft wäre somit eine Querschnittswissenschaft – und müsste in der Praxis ihre Wirksamkeit unter Beweis stellen (siehe bereits Letzelter, 1978). Der offene Trainingsbegriff erfährt u. a. bei Hohmann et al. (2007) im Weiteren eine Extension, indem Ziele *im* Sport (z. B. Erfolg im Wettkampf, aufstellen persönlicher Bestleistungen etc.) und *durch* Sport (z. B. Gewichtsreduktion, Stressverarbeitung etc.) erreicht werden können.

Nach Frey und Hildenbrandt (2002, S. 43) können die Ziele des Trainings in der Maximierung der Leistungsfähigkeit und in der Verbesserung des sportlichen Könnens, in der Prävention von Bewegungsmangelercheinungen und in der Rehabilitation von Leistungsdefiziten gesehen werden. Im Gegensatz dazu rekurriert der *geschlossene* Trainingsbegriff nach Joch und Ückert (1999, S. 13) auf eine genau „abgrenzbare Theorie des sportlichen Trainings“. Werden innerhalb eines sportlichen Trainings die physischen, psychischen und technisch-taktischen Bereiche explizit durch körperliche, motorische Übungen, im Sinne physischer Belastungen angesprochen, so liegt ein *enges* Begriffsverständnis vor (u. a. Carl, 2003a; Grosser, 1993; Hollmann & Hettinger, 2000; Marées, 2002; Matwejew, 1981; Stegemann, 1984). Zum Ausdruck kommt dies u. a. in den Bezeichnungen Krafttraining, Intervalltraining, Übertraining usw. Addiert sich zum eigentlichen sportlichen Training eine pädagogische, erzieherische – in Teilen auch Selbsterziehung im Sinne von Enrichment und Empowerment – Komponente, so sprechen Joch und Ückert (1998, S. 14) von einem *weiteren* Trainingsbegriff (u. a. Harre, 1986; Schnabel & Thieß, 1986; Thieß, Schnabel & Baumann, 1980). Bereits an dieser Stelle wird deutlich, dass eine Überschneidung bzw. Ambiguität mit dem offenen Begriffsverständnis von Hohmann et al. (2007, S. 14f.) entsteht, welche Training wie folgt definieren:

---

<sup>7</sup> Joch und Ückert (1998) sprechen vom multiplen Trainingsbegriff, wenn es u. a. darum geht, verschiedene Zielkategorien wie motorische, kognitive und affektive zu subsumieren und individuelle Leistungen sowie vielseitig-differenzierte und entwicklungsgemäße Trainingsreize anzusprechen (bereits Letzelter, 1978, S. 16f.). Ballreich und Kuhlowl (1975) verwendeten hierzu den „offenen“ Trainingsbegriff. Silberer (1900, S. 406ff.) spricht von leichtem bzw. halbem Training – die Aufgabe besteht darin, den Körper von den überflüssigen Fetten zu befreien – und dem schweren bzw. ganzem Training, bei dem es neben der Entfettung und Entwässerung auch darum geht, jene solide Muskelsubstanz zu beseitigen, die für den ins Auge gefassten Zweck überflüssig und entbehrlich ist.

„Training ist die planmäßige und systematische Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte und Trainingsmethoden) zur nachhaltigen Erreichung von Zielen (Trainingszielen) im und durch Sport.“

Bezogen auf den offen formulierten Trainingsbegriff wird von Lames und Hohmann (2003, S. 57) konstatiert, dass der Terminus einerseits nicht dem verbreiteten Begriffsverständnis von Training entspricht, die Aufnahme von sportexternen, nicht-körperlichen Zielen von einigen Fachvertretern innerhalb der Scientific Community nicht nachvollzogen werden kann und andererseits die Offenheit als Beliebigkeit missdeutet werden kann sowie schließlich die Ausweitung auf andere Anwendungsfelder, wie Schule, Therapie usw. Überschneidungen mit weiteren Disziplinen erwarten lässt.

## 2.2 Integrations- und Destinktionsaspekte des Trainingsbegriffs

Bevor inhaltlich hierzu Stellung genommen wird, sollen weitere disziplinspezifische Begriffsbenennungen bzw. -definitionen<sup>8</sup> (Tabelle 1) vorgestellt und auf ihre Begriffs*intension* (Inhalt) und -*extension* (Umfang) (Seiffert, 1996, S. 58ff.) untersucht werden. Im Sinne der Carnapschen Begriffsextension, dem Bedeutungsumfang, besitzt der Trainingsbegriff eine Einschluss-, Ausschluss- und eine Vagheitskomponente<sup>9</sup> bzw. Unschärfekomponente (Carnap, 1972, S. 294). Während beispielsweise das Prädikat „Mensch“ nach Carnap (1972, S. 295) einen relativ niedrigen Grad an extensionaler Vagheit besitzt, dürfte sowohl in der Normalsprache als auch in der Wissenschaftssprache die extensionale Vagheit des Begriffs „Training“ relativ groß sein. Das bedeutet, der Trainingsbegriff (notwendige *und* hinreichende Bedingungen) per se ist unscharf und als Folge unterschiedlicher Situationen, interpersonell verschiedenartiger Erfahrungen und variierender Kontexte mit verschiedensten Bedeutungen aufgeladen (Schneider, 1988, S. 124ff.). So schwingt in der Alltags- als auch in der Wissen-

---

<sup>8</sup> Die betrachteten Trainingsdefinitionen können dem Bereich der Realdefinitionen zugeordnet werden. Mit ihrer Hilfe wird versucht, historisch deskriptive Aussagen über ein Objekt oder einen Sachverhalt zu formulieren, wobei empirische Gültigkeit beansprucht wird. Realdefinitionen müssen jedoch ständig dem Stand der Forschung angepasst werden (z. B. Ausweitung des frühen Trainingsbegriffs auf den Gesundheitssport), d. h. erweitert und modifiziert werden (Wedekind, 1985). In der Praxis sind Nominal- und Realdefinition jedoch nicht klar von einander zu trennen, was alleine auf semantischer Ebene viele Missverständnisse erklären dürfte. Seiffert (1996, S. 66) erörtert in diesem Zusammenhang, dass uns Realdefinitionen wie sie uns in Lexika, Lehrbüchern etc. präsentiert werden, eigentlich gar nicht interessieren, da wir die Bedeutung ja bereits schon kennen, sondern weil wir wissen wollen, wie ein Autor den Begriff beschreibt.

<sup>9</sup> Bertrand Russell (1923, S. 84) geht davon aus, dass a) jede Sprache vage ist, b) sich Vagheit in der Sprache nicht beseitigen lässt und c) selbst die Logik als präzise Wissenschaft das Ideal der Präzision nur annähernd erreicht.

schaftssprache jeweils eine ideologische bzw. derivate Vorannahme bzw. Wertannahme, nämlich diejenige der Leistungssteigerung, der Planmäßigkeit, der Steuerbarkeit und der Zielgerichtetheit mit. Wollen wir jedoch exakte wissenschaftliche Begrifflichkeiten<sup>10</sup>, so sind diese ideologischen Vorannahmen zu beseitigen und logische Exaktheit anzustreben. Das bedeutet, der Grad der Vagheit ist zu minimieren und die Einschluss- und Ausschlussbereiche sind kategorial<sup>11</sup> zu definieren, was beim Trainingsbegriff<sup>12</sup> große Schwierigkeiten bereitet. Generell sollte die Wissenschaftssprache, also auch die Sprache des Trainingswissenschaftlers, einen niedrigeren Grad an Vagheit und somit einen höheren Grad an Genauigkeit zum Ausdruck bringen (Carnap, 1972, S. 302).

Daher operiert der im folgenden Text eingeführte, ökonomisch betrachtete Trainingsbegriff zunächst mit einem hohen Grad an begrifflicher Extension und versucht in der konkreten Situation sodann begriffliche Präzision zu erlangen.

Analysiert man die Vielzahl an Trainingsdefinitionen so können drei verschiedene Betrachtungsebenen unterschieden werden: a) *Disziplinärer Zugang*, b) *Ziele und Inhalte* von Training sowie c) *Anwendungsfelder* des Trainings.

Der Trainingsbegriff wird bzw. wurde aus verschiedenen disziplinären Betrachtungen unterschiedlich ausgelegt und differenziert: Einerseits aus einer eher sportmedizinisch-leistungsphysiologischen Perspektive (u. a. Sportmedizin, Biomechanik, Physiologie) und andererseits aus einer erweiterten eher psychophysischen, pädagogischen Disziplinperspektive<sup>13</sup> (Psychologie, Pädagogik). Typische Vertreter für die einzelnen Zugänge sind in Tabelle 1 im Überblick dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Betrachtungen – explizit der frühen Definitionen – auf dem sportmedizinisch-leistungsphysiologischen Aspekt.

---

<sup>10</sup> Opp (2005, S. 131ff.) weist Begrifflichkeiten die Minimalkriterien „Präzision“ und „Eindeutigkeit“ zu. Ein weiteres Kriterium wird in der *Zweckmäßigkeit* einer Definition, d. h. in den Zielen und Zwecken im jeweiligen Kontext gesehen.

<sup>11</sup> Kategorial nimmt Russell (1923, S. 87) für Wörter folgende Dreigliederung vor: einen Bereich klar positiver Anwendungsfälle, einen Bereich klar negativer Anwendungsfälle und einen dazwischen liegenden Bereich unsicherer Anwendungsfälle (Halbschatten). Bezogen auf den Begriff des Spiels siehe Wolski (1980, S. 128ff.).

<sup>12</sup> Jeder komplexe Definitionsversuch in den Sozialwissenschaften – dieser Sachverhalt bezieht sich auch auf die eigene vorgelegte Definition – tangiert diese Schwierigkeit. Durch die Angabe von expliziten Definitionsmerkmalen (Merkmalsklassen) kann jedoch empirisch geprüft werden, inwieweit die Definition trägt (Opp, 2005, S. 119ff.).

<sup>13</sup> Während Fachvertreter der Sportpädagogik und Sportpsychologie sowie die entsprechenden Mutterwissenschaften Pädagogik und Psychologie sich diskursiv mit dem sportlichen Training sowie dem Trainingsbegriff auseinander gesetzt haben, steht eine soziologische Betrachtung in weiten Teilen auf dieser Ebene noch aus.

Tab. 1. *Verschiedene Definitionen des Begriffs Training (die Markierungen wurden vom Autor eingefügt, um entsprechende übergeordnete Aspekte zu verdeutlichen)*

| Autor(en)                                                         | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anshel, Freedson, Hamill, Haywood, Horvat & Plowman, 1991, S. 154 | Training: Any program of exercise designed to <b>improve</b> the skills and increase the energy capacities of an individual for particular activity; adaptations that occur are <b>specific</b> to the systems overloaded.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Carl, 1983, S. 17                                                 | Sportliches Training ist ein <b>komplexer Handlungsprozeß</b> mit dem Ziel der <b>planmäßigen</b> und <b>sachorientierten</b> Einwirkung auf die sportliche Leistungsentwicklung.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Carl, 2003a, S. 606                                               | Training ist ein <b>komplexer Handlungsprozess</b> (→ Handlung) mit dem Ziel der <b>planmäßigen</b> und <b>sachorientierten</b> Einwirkung auf den sportlichen → <b>Leistungszustand</b> und auf die Fähigkeit zur bestmöglichen <b>Leistungspräsentation</b> in Bewährungssituationen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Deschka, 1961, S. 6                                               | Training ist die <b>planmäßige Vervollkommnung</b> bestimmter Bewegungsabläufe einer Sportart unter weitgehender Automatisierung dieser. <b>Systematische</b> Steigerung der körperlichen und seelischen Reize bis zur Erreichung der optimalen Funktionstüchtigkeit des Organismus. Allseitige Schulung der Organe, Nerven und Muskeln zum spätest möglichen Eintreten der Ermüdung und zur raschen Erholungsfähigkeit. Anpassung der Lebensführung an Weg und Ziel.                                                                                                                                        |
| Frey & Hildenbrandt, 2002, S. 35                                  | Als Training werden alle längerfristigen <b>planbaren</b> Maßnahmen verstanden, die ein bestimmtes körperliches Ausgangsniveau in allen Altersstufen auf eine höhere Stufe zu heben vermögen, sie erhalten oder wiederherstellen bzw. einen altersbedingten Rückschritt verhindern.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Grosser, 1993, S. 12                                              | Training ist ganz allgemein ein Sammelbegriff aller Maßnahmen des <b>Prozesses</b> zur <b>Steigerung</b> , Stabilisierung und teilweise auch Reduktion (>>Abtrainieren<<) der sportlichen <b>Leistung</b> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Harre, 1986, S. 17f.                                              | Sportliches Training ist der nach wissenschaftlichen Erkenntnissen geführte pädagogische <b>Prozeß</b> der sportlichen <b>Vervollkommnung</b> , der durch <b>systematisches</b> Einwirken auf die psychophysische <b>Leistungsfähigkeit</b> und die Leistungsbereitschaft darauf hinzielt, Sportler zu hohen und höchsten sportlichen <b>Leistungen</b> <sup>14</sup> zu führen. Durch aktive, bewusste Auseinandersetzung mit den im sportlichen Training gestellten Anforderungen entwickelt sich die Persönlichkeit des Sportlers entsprechend den Normen und Maßstäben der sozialistischen Gesellschaft. |

|                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hehlmann,<br>1964, S. 510                             | Training (engl.), <b>planmäßige Funktionsübung</b> auf körperlichem oder geistigem Gebiet mit dem Ziel der individuellen <b>Bestleistung</b> , bes. im Sport. Zweckmäßiges Training und harmonische Gesamterziehung können sich ergänzen.                                                                                                           |
| Hohmann,<br>Lames &<br>Letzelter,<br>2007,<br>S. 14f. | Training ist die <b>planmäßige</b> und <b>systematische</b> Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte und Trainingsmethoden) zur nachhaltigen Erreichung von <b>Zielen</b> (Trainingszielen) im und durch Sport.                                                                                                                                  |
| Hollmann &<br>Hettinger,<br>2000, S. 116              | Gemeinhin wird heute unter >>Training<< die Summe aller Maßnahmen verstanden, die zur <b>planmäßigen Steigerung</b> der körperlichen <b>Leistungsfähigkeit</b> führen.                                                                                                                                                                              |
| Hollmann &<br>Hettinger,<br>2000, S. 117              | Wir bezeichnen daher Training als <b>systematische</b> Wiederholung gezielter überschwelliger Muskelanspannungen mit morphologischen und funktionalen Anpassungserscheinungen zum Zwecke der <b>Leistungssteigerung</b> .                                                                                                                           |
| Joch & Ückert,<br>1998, S. 15                         | Ihr Gegenstandsbereich (gemeint ist die Trainingswissenschaft, Anmerkung des Autors), das Training (einschließlich Wettkampf) ist bestimmt durch die Kriterien <b>zielgerichtet</b> , <b>systematisch</b> und <b>planmäßig</b> , <b>leistungsorientiert</b> , aber nicht an ein Leistungsniveau gebunden, maximierend, präventiv und rehabilitativ. |
| Jonath, 1988,<br>S. 278                               | Training als einen auf Grundlage der allgemeinen Trainingsprinzipien <b>geplanten Prozeß</b> zur Entwicklung und <b>Verbesserung</b> funktioneller und morphologischer Anpassungen an spezifische Belastungen.                                                                                                                                      |
| Kirsch, 1973,<br>S. 267                               | Beim Training handelt es sich um einen <b>komplexen</b> körperlichen und geistigen <b>Prozeß</b> , der von → Kondition, Technik, Taktik, → Motivation und ihren Beziehungen zu sportlicher → Begabung, intellektuellen → Fähigkeiten und psychischen → Eigenschaften bestimmt wird.                                                                 |
| Letzelter,<br>1978, S. 16                             | Verfahren zur Optimierung oder Stabilisierung der konditionellen Eigenschaften und koordinativen Fähigkeiten, der technischen und taktischen Fertigkeiten sowie taktischen Fähigkeiten.                                                                                                                                                             |

<sup>14</sup> Wedekind (1985, S. 54) zeigt am Ausdruck „Leistung“, das gilt natürlich auch für Leistungsfähigkeit, -zustand, -steigerung, die Inkonsistenz von Begriffen. Inkonsistent wird demnach ein Begriff, wenn nicht alle Ereignisse in gleicher Weise dem Begriff zugeordnet werden können. So wird Leistung von verschiedenen Personen unterschiedlich bewertet (Opp, 2005, S. 131ff.).

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Marées, 2002,<br>S. 175                           | Unter Training wird allgemein das <b>planmäßige</b> wiederholte Ausführen von Übungen bzw. Bewegungsabläufen verstanden, mit dem Ziel, entweder die körperliche <b>Leistungsfähigkeit</b> durch überschwellige und ansteigende dosierte Belastungen zu steigern, ein erworbenes höheres Niveau zu konservieren oder aber alterungsbedingten Leistungsminderungen entgegenzuwirken. |
| Martin, 1977,<br>S. 21                            | Sportliches Training ist ein <b>planmäßiger</b> gesteuerter <b>Prozeß</b> , bei dem mit inhaltlichen, methodischen und organisatorischen Maßnahmen, entsprechend einer Zielvorstellung, Zustandsänderungen der <b>komplexen</b> sportmotorischen <b>Leistung</b> , Handlungsfähigkeit und des Verhaltens entwickelt werden sollen.                                                 |
| Martin, Carl &<br>Lehnertz,<br>1993, S. 16        | Sportliches Training ist ein <b>komplexer</b> Handlungs <b>prozeß</b> , der auf die <b>planmäßige</b> Entwicklung bestimmter sportlicher <b>Leistungszustände</b> und deren Präsentation in sportlichen Bewährungssituationen, speziell im sportlichen Wettkampf, ausgerichtet ist.                                                                                                |
| Matwejew,<br>1981, S. 23                          | Das sportliche Training ist die Grundform (Realisierungsweise) der Vorbereitung des Sportlers; es ist eine Vorbereitung, die mit Hilfe von Übungsmethoden <b>systematisch</b> aufgebaut ist und dem Wesen nach einen pädagogisch organisierten <b>Steuerungsprozeß</b> der Entwicklung des Sportlers (seiner sportlichen <b>Vervollkommnung</b> ) darstellt.                       |
| Olivier, Marschall & Büsch,<br>2008, S. 17        | Sportliches Training ist ein <b>planmäßiger</b> Belastungs-Bearbeitungs- <b>Prozess</b> mit dem Ziel der Einwirkung auf Ressourcen.                                                                                                                                                                                                                                                |
| Schnabel &<br>Thieß, 1986,<br>S. 158              | Wissenschaftlich fundierter und pädagogisch organisierter <b>Prozeß</b> , der durch <b>systematisches</b> Einwirken auf die → <b>Leistungsfähigkeit</b> und → Leistungsbereitschaft, die → sportliche <b>Vervollkommen</b> und Leistungssteigerung sowie den Vergleich im → sportlichen Wettkampf zum Ziel hat.                                                                    |
| Schnabel, Harre, Krug &<br>Borde, 2003,<br>S. 190 | <b>Komplexe planmäßige</b> und <b>zielorientierte</b> Einwirkung auf die sportliche <b>Leistungsfähigkeit</b> und Leistungsbereitschaft durch Trainingstätigkeit des Sportlers und Führungs- und Lenkungsmaßnahmen von Trainern mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit zu steigern bzw. zu stabilisieren.                                                                            |
| Silberer, 1900,<br>S. 405                         | Unter >>Training<< versteht man die <b>systematische</b> Vorbereitung eines lebenden Wesens für eine hervorragende körperliche <b>Leistung</b> , die Kunst, einen Körper organisch so vollkommen umzugestalten, dass er im Stande ist, an einem gegebenen Tage die grösste physische Arbeit zu vollbringen, denen er, nach seiner natürlichen Anlage, überhaupt fähig ist.         |

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stegemann,<br>1984, S. 304                      | Training ist das Bemühen, durch <b>gezielte</b> körperliche Aktivität die <b>Leistungsfähigkeit</b> über längere Zeit zu erhalten oder zu verbessern.                                                                                                                                                                                                                   |
| Thieß, Schnabel & Bau-<br>mann, 1980,<br>S. 233 | Nach wissenschaftlichen, insbesondere pädagogischen Prinzipien gelenkter <b>Prozeß</b> der sportlichen Vervollkommnung, zielt durch <b>planmäßiges</b> und <b>systematisches</b> Einwirken auf die <b>Leistungsfähigkeit</b> und die Leistungsbereitschaft darauf ab, Sportler zu hohen und höchsten Leistungen in einer Sportart oder sportlichen Disziplin zu führen. |

Werden die Inhalte und Ziele von Trainingsinterventionen als Differenzierungsmerkmal berücksichtigt, so können die Bereiche Leistungsverbesserung, Leistungserhalt und Leistungsreduktion, physiologische, morphologische, kognitive, psychische und pädagogische Ziele (ohne konkrete Charakterisierung), Spaß, Freude, Ablenkung, Stressreduktion u. v. a. unterschieden werden. Die dritte Ebene der Trainingsdefinitionen beschäftigt sich explizit mit den verschiedenen Anwendungsfeldern wie Schule, Gesundheits- und Rehabilitationsbereich, Freizeit- und Breitensport, Spitzen- und Hochleistungssport etc.

### 2.3 Inhaltsanalytische Betrachtungsebene des Trainingsbegriffs

Betrachtet man die verschiedenen Begriffsdefinitionen, wie sie in Tabelle 1 wiedergegeben sind inhaltsanalytisch, so fallen genuin drei Bereiche<sup>15</sup> auf: *Zielgerichtetheit*<sup>16</sup> (*Sachorientiertheit*), *Planmäßigkeit* und *Systematik*. Die Zielgerichtetheit sportlichen Trainings sollte sich u. a. darin äußern, dass das gesamte Training bzw. der gesamte Trainingsprozess sowie jede einzelne Anforderung des Trainings, jede Aufgabe, jede Maßnahme und jede angewendete Methode auf ein Ziel, in der Regel die Steigerung der physischen Leistungsfähigkeit, gerichtet ist (Schnabel et al., 2003). Carl (1983, S. 17) spricht in diesem Zusammenhang von *sachorientiert*, dies bedeutet alle Handlungen sind so auszuführen, dass sie auf direktem Wege zu den angestrebten Zielen, einem bestimmten Leistungszustand bzw. einer bestimmten Leistung führen. Wissenschaftstheoretisch tangiert diese Betrachtung den Bereich der sogenannten „*technologischen Regeln*“ und die Trainingswissenschaft würde innerhalb dieser Betrachtung einer „*technologischen Wissenschaft*“ zugeordnet werden (Patry &

<sup>15</sup> Viele Begriffsdefinitionen rekurren zusätzlich noch auf die Komplexität des Handlungsprozesses, welcher darauf ausgerichtet ist, angemessene Wirkungen in Bezug auf alle personalen leistungsbestimmenden Merkmale zu erzielen (Carl, 1983, S. 17).

<sup>16</sup> Zielgerichtetheit subsumiert im vorliegenden Verständnis auch die Bereiche der Zweck- und Sachorientiertheit (vgl. zum Verständnis der Zweck-Mittel-Relation bzw. zur Interdependenz von Zielen und Mitteln, Homann, 1980).

Perrez, 1982). Im Unterschied zum nomologischen Wissen bildet technologisches Wissen in Form von technologischen Regeln jedoch nicht das Wahrheitskriterium, sondern das Effektivitätskriterium ab. Des Weiteren liefern technologische Theorien konkrete Handlungsanweisungen zur praktischen Umsetzung wissenschaftlicher Theorien. Nach Bortz und Döring (2006, S. 101f.) fallen technologische Theorien und Regeln in den Aufgabenbereich der angewandten Wissenschaft sowie in die Interventions- bzw. Evaluationsforschung, was dem Selbstverständnis vieler Trainingswissenschaftler entspricht.

Im Weiteren werden von Schnabel et al. (2003) die jeweiligen Leistungsziele in der Zeitdimension differenziert und entsprechend in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Zeiträume unterschieden. Darüber hinaus muss unter dem Primat der Zielgerichtetheit oder Sachorientiertheit, jede Trainingseinheit zielgebunden realisiert werden. Ökonomisch betrachtet ist hierbei implizit bereits die *Effektivität* des Trainings, definiert als das Verhältnis von erreichtem und definiertem Ziel, d. h. der Grad der Zielerreichung, angesprochen. Ein Training oder eine Trainingsintervention wäre sodann effektiv, wenn das vorgegebene – hinreichend operationalisierte – Ziel erreicht wurde, der Mitteleinsatz hierfür wäre zunächst zu vernachlässigen. Der hierfür benötigte Aufwand im Sinne einer Kosten-Nutzen-Funktion bzw. Aufwand-Nutzen-Relation wäre idealtypisch ebenfalls nicht relevant<sup>17</sup>. Die Zielgerichtetheit des sportlichen Trainings im obigen Verständnis stellt somit die Voraussetzung für die Planmäßigkeit und Systematik dar. Hohmann et al. (2007) verstehen unter planmäßig, dass ausgehend von einer Auflistung aller Ziele die Maßnahmen zur Zielerreichung offen gelegt werden. Planmäßigkeit impliziert hierbei eine begründete Vorgehensweise für die gewählte Handlung (Lames & Hohmann, 2003, S. 56). Die begründeten Handlungen bzw. dadurch legitimierten Maßnahmen können dabei auf wissenschaftlichen Annahmen (Hypothesen), erfahrungsgestützten vorwissenschaftlichen Plausibilitäten sowie auf explorativen Erkundungen bzw. Explikationsstudien basieren. Die zu Grunde liegenden genuinen Wissensbestände tangieren dabei die Trainingswissenschaft, die Trainingslehre und die Sportpraxis. Weiterhin subsumiert Planmäßigkeit im Verständnis von Hohmann et al. (2007), dass die Vorgehensweise über längere Zeit hinweg festgelegt wird (ohne jedoch eine Spezifizierung vorzunehmen) und entsprechende Trainingssteuerungsprozesse berücksichtigt werden (i. d. R. Kybernetischer Steuerungsprozess). Durchfüh-

---

<sup>17</sup> Während in weiten Teilen von Trainingsinterventionen bewusst Kosten-Nutzen-Funktionen ausgeklammert werden (demonstrativer Konsum von Zeit und Ressourcen zur Nutzenbefriedigung wie beispielsweise Walking, Beachvolleyballspielen ohne Leistungsanspruch u. v. a. m., siehe Veblen, 1899), spielen im Leistungs- und Spitzensport sowie im Wettkampfsport Input-Output-Relation eine entscheidende Rolle, also die Frage nach der Effizienz, d. h. des Verhältnisses von investierter Leistung zu anfallenden Kosten und/oder anderen Nachteilen oder entgangenen Alternativen (Opportunitäten), und zwar auf individueller (Zeitverwendung für Sport angesichts hoher Opportunitätskosten) wie auf kollektiver Ebene.



rungskontrolle, Steuerung und Regelung des Trainingsvollzugs im Hinblick auf das angestrebte Ziel sind weitere Aspekte welche mit Planmäßigkeit in Verbindung gebracht werden (Carl, 1983, S. 17).

Systematik im Trainingsprozess, so Lames und Hohmann (2003, S. 56) impliziert, dass die jeweiligen Trainingsziele umfassend auf der Basis einer Modellvorstellung über die Struktur der Leistungsfähigkeit im spezifischen Anwendungsfeld formuliert werden. Welche Modelle hierfür in Frage kommen sollen, wird jedoch nicht erwähnt. Bezüglich der beiden Bedingungen für sportliches Training – Sachorientiertheit (Zielgerichtetheit) und Planmäßigkeit verweist Carl (1983, S. 17) darauf, dass *seine* Trainingsdefinition – „Sportliches Training ist ein komplexer Handlungsprozeß mit dem Ziel der planmäßigen und sachorientierten Einwirkung auf die sportliche Leistungsentwicklung“ – gegenüber bisherigen, in Bedeutungsumfang und Bedeutungsinhalt ähnlichen, Definitionen vor allem dadurch einen Vorteil besitzt, indem durch die Präzisierung der Begriffe Planmäßigkeit und Sachorientiertheit objektive Kriterien vorliegen, anhand derer bestimmt werden kann, inwieweit eine „bestimmte Art des Sporttreibens“ als Training zu definieren<sup>18</sup> ist. Mögliche Konsequenzen, die sich daraus ergeben können, werden im Folgenden diskutiert.

### 3. Antezedensbedingungen für gängige Trainingsdefinitionen

Gängige Trainingsdefinitionen rekurren auf komplexe Handlungsprozesse,<sup>19</sup> welche zielgerichtet, planmäßig und systematisch zu absolvieren sind, und werden oftmals mit einer Vervollkommenung, Steigerung der Leistung bzw. Leistungsfähigkeit in Verbindung gebracht (Tabelle 1). Inhalts- und Strukturanalytisch ist einerseits zu fragen, inwieweit diese Antezedensbedingungen in den verschiedensten Anwendungsfeldern zutreffen und inwieweit eine Entkopplung des Begriffs Training und der sportlichen Praxis, der sportlichen Tätigkeit stattfindet. Andererseits ist zu eruieren, inwieweit eine ökonomische Betrachtung des Trainingsbegriffs einer Präzisierung und Begriffsklärung dient und inwieweit sich ein ökonomisch orientierter Trainingsbegriff in eine bewährte ökonomische Modellbetrachtung (Grenzertragsbetrachtung bzw. -funktion; Turgot, 1769/70; von Thünen, 1875) im Sinne von Trainingsanpassungen und Trainingsveränderungen integrieren lässt.

---

<sup>18</sup> Nach dem Thomas-Theorem (Thomas, 1928, S. 572) "If men define situations as real, they are real in their consequences" bestimmt die Interpretation der Situation das Handeln. Auf den vorliegenden Definitionsbegriff Training übertragen bedeutet dies, dass Training so verstanden wird, wie in der jeweiligen Situation Trainingshandeln durchgeführt und interpretiert wird (Merton, 1995).

<sup>19</sup> Nach Eisenführ und Weber (2003, S. 3) wächst die Komplexität von Entscheidungssituationen, wenn mehrere Faktoren zu berücksichtigen sind, mehrere unsichere Einflüsse auf das Ergebnis einwirken und mehrere Ziele zu beachten sind. Zur möglichen Lösung solcher komplexer Situationen wird die deskriptive Entscheidungstheorie favorisiert.

Systematisiert man die verschiedenen Anwendungsfelder (z. B. Schule, Präventions- und Rehabilitationsbereich, Fun- und Trendsport etc.), innerhalb derer die Trainingsdefinitionen zur Anwendung gelangen, so kann konstatiert werden, dass in spezifischen Bereichen einerseits das Training, als aktive Handlung auf individueller Ebene, in Teilen weder zielgerichtet, planmäßig noch systematisch im expliziten Sinne der Steigerung der Leistung bzw. der Leistungsfähigkeit durchgeführt wird und andererseits, als Steuerungsprozess in der Interaktion Trainer und Athlet obigen Kategorien ebenfalls nur in Teilen entspricht. Man denke nur an die zahlreichen Gesundheits-, Fitness-, Freizeit- und Breitensportler, welche aus Freude an der Bewegung selbige Tätigkeiten ausführen ohne implizit oder explizit Trainingssteuerungsprozesse<sup>20</sup> (siehe Kybernetisches Regelungsmodell mit Ist-Soll-Wertabgleich und entsprechenden Messgrößen und Stellgliedern) zu verfolgen. Des Weiteren spielen Aspekte der Leistungssteigerung und Leistungsverbesserung hierbei ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle. Vielmehr treten spezifische Motive außerhalb des Leistungsmotivs in den Vordergrund. Somit scheint für einen Großteil der Sporttreibenden eine Entkopplung von individuellen Zielen (u. a. Spaß, Freude, Ablenkung, Stressbewältigung etc.) *im* und *durch* Trainingshandeln und der zahlreichen Begriffsdefinitionen zu bestehen (vgl. *multiple*, *weite* Begriffsdefinition). Frey und Hildenbrandt (2002, S. 42) konstatieren in diesem Zusammenhang:

„Ein Büroangestellter, der seiner Gesundheit zu liebe abends 20 Minuten im Wald läuft, kann seine Tätigkeit mit der gleichen Berechtigung „Training“ nennen wie ein Langstreckenläufer, der in der Woche 200 Laufkilometer absolviert, auch wenn er sich geringer belastet und einen viel niedrigeren Trainingszustand aufweist.“

Im Bereich des Leistungs- und Spitzensports bzw. im wettkampforientierten Breiten- und Freizeitsport, welche auf die Realisierung von Leistungen, Leistungsverbesserungen und Erfolgen abzielt, geht man davon aus, dass hier die Kategorien von Planmäßigkeit, Sachorientiertheit und Systematik vorherrschen.-

---

<sup>20</sup> Es sei ausdrücklich herausgestellt, dass entsprechende Trainingssteuerungsprozesse, in den beschriebenen Anwendungsfeldern bzw. Bereichen des Sports, in weiten Teilen zu Grunde liegen können und planmäßig, systematisch und zielgerichtet, spezifische Ziele (z. B. Wiederherstellung im Rahmen der Prävention, Vermittlung von Anreizmotiven zur lebenslangen Sportpartizipation, Integrationsaspekte durch Sport mit Aussiedlern usw.) anvisiert werden. So folgt z. B. der Gesundheits- und Breitensport oftmals tradierten und aus dem Leistungssport transferierten Empfehlungen. Aktuelle empirische Studien zeigen jedoch, dass in Teilen diese Handlungsempfehlungen überdacht werden sollten (Auracher, 2007; Meyer, Faude, Urhausen, Scharhag & Kindermann, 2004). Des Weiteren die Gewichtung in Relation zum Leistungsmotiv jedoch anderen Logiken folgt und somit die zahlreichen explizit im Sinne der Leistungssteigerung bzw. Verbesserung orientierten sportmedizinisch-leistungsphysiologisch ausgerichteten Trainingsdefinitionen an dieser Stelle zu Kurz greifen (vgl. *mononkausale*, *enge* Begriffsdefinition).

herrschen<sup>21</sup>. In großen Teilen und über verschiedene Phasen der Trainingsplanung hinweg mag dies auch zutreffen, doch kaum jemand wird bestreiten, dass Trainingsinterventionen und realisierte Resultate ebenfalls auf nicht Planbarkeit, wenig Systematik in der Anwendung der Inhalte sowie Zielorientiertheit beruhen. Auf Programm- und Individualebene liegen hierzu erste empirische Ergebnisse vor (Auracher, 2007; Emrich, Pitsch, Güllich, Klein, Fröhlich, Flatau, Sandig & Anthes, 2008; Meyer et al., 2004). Somit können die drei Bedingungen innerhalb der meistverwendeten Trainingsdefinitionen als mögliche Bedingungen angesehen werden, hinreichend sind sie jedoch nicht. Das bedeutet, Training im Sinne obigen leistungsphysiologischen Begriffsverständnisses kann planmäßig, systematisch und zielorientiert durchgeführt werden, muss jedoch nicht den selbigen Prämissen entsprechen. Inhaltlich davon losgelöst bleibt die Frage, was überhaupt unter zielorientiert<sup>22</sup> (Welches Ziel wird angestrebt?), planmäßig (Welche Teilziele [z. B. eher Verbesserung der Maximalkraft oder eher der Ausdauer im Rudersport], welche Trainingsinhalte und -methoden sind wann und wie umzusetzen und wie interagieren diese etc.?) und sachorientiert (da innerhalb der Humanwissenschaften deterministische Aussagensysteme nur bedingt zielführend sind, führen Handlungen nur in den seltensten Fällen zu den direkt angestrebten Zielen) zu verstehen ist. Somit scheint zwischen zahlreichen in der Trainingswissenschaft vorherrschenden Begriffsverständnissen und realen Handlungsvollzügen Divergenz zu bestehen. Als möglicher Lösungsansatz zur Begriffsexplikation „*Training*“ wird folgende ökonomisch orientierte Definition<sup>23</sup> vorgeschlagen:

„Motorisches – sportliches – Training – ist ein Belastungs-Beanspruchungsprozess unter Ge-(Ver-)brauch von Ressourcen zur Nutzenbefriedigung in Abhängigkeit von Potentialen.“

---

<sup>21</sup> Je kürzer die geplanten Trainingszyklen, -phasen und -perioden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass entsprechende Steuerungsprimare zielführend wirken. Mittel- und langfristig können sich die Effekte jedoch umkehren.

<sup>22</sup> Ein festgelegtes Ziel wird dabei durch die Komponenten „Inhalt“ (Was will ich erreichen?), „Ausmaß“ (Wie viel will ich erreichen?) und „Zeit“ (Bis wann will ich es erreichen?) charakterisiert (Büch, 1976, S. 163). Durch die Mehrdimensionalität sportlicher Tätigkeiten und somit sportlichen Trainings wird die Zielfestlegung bereits bei einfachen Tätigkeiten und möglichen Opportunitäten hochgradig komplex. Homann (1980, S. 4) versteht unter einem Ziel die erwünschte Wirkung bewussten menschlichen Handelns.

<sup>23</sup> Die vorgeschlagene ökonomisch orientierte Definition steht nicht in Konkurrenz zu anderen Definitionen, sondern erweitert das Spektrum und eröffnet die Integration in bestehende Modellansätze der Ökonomie und somit zum Wesen des sportlichen Trainingsprozesses. Die Definition ist explizit offen gehalten und unterliegt den gleichen Problemen wie bisherige Definitionsansätze. Durch die genaue Bedeutungsanalyse – ein Begriff der Alltagssprache wird auf seine Bedeutung hin analysiert – (Opp, 2005, S. 112) kann die empirische Aussage, jedoch auf *wahr* oder *falsch* sein hin, untersucht werden (zu komplexen Definitionen siehe Opp, 2005, S. 119ff.). Zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (-prozess) sei u. a. auf Willimczik, Dausgs und Olivier (1991), Fröhlich (2003) sowie Olivier (2001) verwiesen.

Nutzenbefriedigung zielt dabei in der Regel auf eine „Optimierung“ des individuellen Gesamtnutzens ab (Wottawa & Thierau, 2003). In speziellen Fällen wird eine Nutzenmaximierung in einzelnen Teilbereichen angestrebt. Gleichwohl die Definition an den Rändern keine strikte Trennung<sup>24</sup> zu anderen Tätigkeiten zulässt, bei denen ebenfalls Ressourcen ge-(ver-)bracht werden und Nutzenbefriedigung herbeigeführt wird bzw. ein Ziel erreicht werden soll, ist aus trainingswissenschaftlicher Perspektive – durch hinreichende Operationalisierung des angestrebten Nutzens, z. B. zusätzlicher Energieverbrauch um ein ärztlich empfohlenes Körpergewicht anzustreben – die Definition klar und wird durch die weiterführenden Konkretisierungen verdeutlicht. Bevor die beschriebene Trainingsdefinition in ein entsprechendes Rahmenmodell integriert wird, sollen zunächst die einzelnen Definitionsbestandteile erläutert werden.

*Ressourcen* (lat. *resurgere*, „hervorquellen“) stellen allgemein Mittel dar, welche einen Prozess, eine Handlung oder einen Vorgang bedingen. Ressourcen können grob in persönliche, natürlich vorkommende, technisch hergestellte und sozial organisierte eingeteilt werden (Schönpflug, 1987, S. 151). Im ressourcentheoretischen Ansatz von Schönpflug (1987) werden weiterhin *permanente* von *konsumptiven* Ressourcen unterschieden. Während permanente Ressourcen nur einer langsamen Abnutzung unterliegen und sich wenig mit der Dauer und Intensität ihres Einsatzes verändern, erfolgt die Abnahme der konsumptiven Ressourcen relativ schnell und der Grad der Abnahme ist von der Dauer und Intensität der Nutzung abhängig (Schönpflug, 1987, S. 151). Darüber hinaus wird von Schönpflug (1986) zwischen *inneren* (persönliche Leistungsvoraussetzungen) und *äußeren* (natürliche, technische und soziale Helfer bzw. Hilfsmittel) Ressourcen differenziert. In der Kombination und auf den Bereich des Krafttrainings übertragen, resultieren beispielsweise die folgend wiedergegebenen Ressourcenarten (u. a. Olivier, 2001, 446f; Olivier et al., 2008, S. 28): a) *innere permanente* Ressourcen wie Anzahl, Querschnitt und Art der Muskelfasern, b) *innere konsumptive* Ressourcen wie muskulärer Glykogen-, KP- bzw. ATP-Speicher, c) *äußere permanente* Ressourcen wie Krafttrainingsgerät, -gewichte, Krafttrainingspartner und d) *äußere konsumptive* Ressourcen wie Einweißriegel, Magnesia für die Hände usw. Der jeweilige Einsatz, Ge-(Ver-)brauch der verschiedenen Ressourcen ist dabei jedoch nicht unabhängig zu betrachten und die Zuordnung von Ressourcen zu einzelnen Arten ist auch nicht absolut zu verstehen (Olivier, 2001, S. 447). Durch die explizite Ressourcenangabe und deren jeweiliger Operationalisierung wird Training auf der Zieldimension jedoch manifest.

---

<sup>24</sup> Homann (1980, S. 22) verteidigt das Hilfsmittel der Typologie mit dem Beispiel, dass Baum und Strauch an den Grenzen oft nicht eindeutig festgelegt sind, zumal ein Strauch zu einem Baum werden kann und aus den Wurzeln eines geschlagen Baumes ein Strauch erwachsen kann.

*Nutzen* und *Nutzenbefriedigung* stellen subjektive Dimensionen dar. Woll (1993, S. 121) versteht unter Nutzen die Befriedigung, die ein Gut einem Individuum beim Konsum stiftet. Als Gut kann im Weiteren alles bezeichnet werden, was geeignet ist, einen Bedarf zu befriedigen. Zur empirischen Validierung entsprechender Trainingsmethodischer Konzepte ist auch bei der Nutzenfunktion die Operationalisierung, das bedeutet die Explikation des jeweiligen Nutzens, eminent wichtig (Fröhlich, Emrich & Büch, 2007, S. 302). Nutzen kann sich beispielsweise darin äußern, dass ein bestimmtes Leistungsniveau gehalten, gesteigert oder sogar reduziert wird. Des Weiteren ist zu unterscheiden, auf welchen physischen, psychischen oder sozialen Bereich der Nutzen abzielt. Durch die Angabe des Nutzens oder der Nutzenfunktion wird Training auf der Begriffsebene somit trennscharf (i. d. R. hinreichende Operationalisierung der abhängigen Variablen). So könnte beispielsweise der Nutzen eines „Krafttrainings“ darin bestehen, eventuellen Rückenschmerzen durch gezieltes Muskelaufbautraining vorzubeugen, Figurformungsaspekten zu dienen, die Wettkampfleistung im Kugelstoßen zu verbessern usw. Der Zusammenhang von Kriteriumsausprägung und Nutzen ist dabei in der Regel jedoch keine monotone lineare Funktion – im Sinne von mehr Krafttraining entspricht größerer Wettkampfleistung im Kugelstoßen bzw. prozentual weniger Rückenschmerzen etc. –, sondern kann verschiedene Formen aufweisen (Fishburn, 1967) und negative Wirkungen (z. B. Transaktions- und Opportunitätskosten) miteinfassen (das in Abbildung 2 vorgestellte Funktionsmodell von Anpassungskapazität und Grenzertrag, geht davon aus, dass zu Beginn eines Trainingsprozesses der realisierte Ertrag größer ausfällt als in weiteren Trainingsetappen, vgl. auch Hohmann et al., 2007, S. 164). So ist das applizierte Krafttraining eben auch zeit- und arbeitsaufwändig und kostet eventuell Geld für den Besuch einer entsprechenden Einrichtung. Zur Bestimmung der Nutzenfunktion bei mehrdimensionalem Nutzen und alternativen Handlungsmöglichkeiten kann u. a. auf die *multi-attributive Nutzentechnik* (MAUT), rekuriert werden (Wottawa & Thierau, 2003, S. 104f.). Unabhängig von der Vorgehensweise der Nutzenbestimmung muss jedoch beachtet werden, dass ein numerisch bestimmter Nutzenwert eine subjektive Setzung erfordert und somit immer *subjektiv* zu betrachten ist.

Last but not least versteht man unter einem *Potenzial*<sup>25</sup> die einem System oder einer Person innewohnende Fähigkeit, Erträge zur Erledigung von Aufgaben zu generieren. Dabei können Potenziale prinzipiell zueinander in Relation gestellt werden (*Transferabilität*) und erlauben so Vergleiche zwischen verschiedenen Potenzialen als auch über die Zeit. Durch die qualitative und quantitative Angabe der zu gebrauchenden bzw. verbrauchenden Ressource, des zu erzielenden Nutzens (der Nutzenfunktion einschließlich der Opportunitätskosten) sowie der individuellen Potenziale (Ist-Zustandsbeschreibung) wird die abstrakte Definition

---

<sup>25</sup> Potenziale können in weiten Teilen synonym zu Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften im Rahmen des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts verstanden werden (Fröhlich, 2003).

Training transparent und operationalisierbar und somit im Sinne von Hypothesen prüfbar.

#### **4. Ökonomisches Begriffsverständnis von Training und theoretische Einbindung**

Theoretische Annahmen in der Trainingswissenschaft fußten und/oder fußen i. d. R. auf dem Modell bzw. auf dem Prinzip der *Superkompensation* (u. a. Martin et al., 1993; Tschiene, 2006; Weineck, 2003). Insgesamt verkürzt die verallgemeinerte Modellannahme der Superkompensation jedoch die Komplexität von Belastung und Beanspruchung, langfristiger Trainingsanpassung, aktuellem Ausgangsniveau und zukünftig zu erwartender Anpassungen. Zu den Kritikpunkten der Superkompensation wie fehlender experimenteller Nachweis, überzogener Geltungsbereich, Heterochronizität, Linearität und Kontinuität wird auf Friedrich und Moeller (1999) sowie Olivier (2001) verwiesen.

Weitere Erklärungsmodelle für Trainingsprozesse und Leistungsveränderungen formieren in der Trainingswissenschaft unter den Bezeichnungen „*Modell der antizipativen Verhaltenskontrolle*“, „*Kybernetische Modelle*“, „*Systemdynamische Modelle*“, „*Belastungs-Beanspruchungs-Konzept*“ und „*Modell der Funktionskapazität*“ (u. a. Haken, 1996; Hoffmann, 1993; Janssen, Carl, Schlicht & Wilhelm, 1996; Janssen, Schlicht, Rieckert & Carl, 1992; Mader, 1990; Rohmert, 1984; Rohmert & Rutenfranz, 1983; Schlicht, 1992; Verchoshanskij & Viru, 1990; Weicker, 1992). Nachdem das Superkompensationsmodell zunehmend kritisch betrachtet wurde, erfuhren verstärkt das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Olivier et al., 2008) sowie das Modell der Anpassungskapazität (u. a. Mader, 1990; Martin et. al., 1993) als Rahmenkonzepte für Trainingsinterventionen Beachtung. Nachfolgend wird aufbauend auf dem Modell der Anpassungskapazität ein Rahmenmodell für Training vorgestellt, das einerseits in der Ökonomie hohe Erklärungskraft besitzt und andererseits eine Integration eines ökonomischen Trainingsbegriffs zulässt und durch explizite Operationalisierung weite Teile von Trainingsinterventionen abdeckt. Ein erster empirischer Zugang für die Sportart Olympischer Triathlon ist in Fröhlich, Klein, Pieter, Emrich und Gießing (2008) beschrieben.

Müller und Blischke (2009) explizieren, dass die Verbesserungen der Leistung sowohl beim motorischen Training, dem motorischen Lernen und dem motorischen Üben nicht linear erfolgt, sondern, dass zu Beginn der Leistungszuwachs pro Zeit- bzw. Übungseinheit stärker ausfällt, als dies in späteren Zeit- bzw. Übungsstadien der Fall wäre (Frey & Hildenbrandt, 2002; Newell & Rosenbloom, 1981). Übertragen auf das Modell der Anpassungskapazität bedeutet dies, dass sich mit steigendem Leistungsniveau die aktuelle Funktionskapazität immer mehr in Richtung maximaler Funktions- bzw. Adaptationskapazität verschiebt und somit die Differenz zwischen aktueller und maximaler Funktionska-

pazität geringer wird. Hohmann et al. (2007, S. 164) teilen diese Sichtweise indem sie ausführen:

„Nach dem *Quantitätsgesetz des Trainings* [Hervorhebung im Original] besteht über die Dauer eines langfristigen Trainingsprozesses betrachtet zwischen der Belastung und der Leistungsfähigkeit kein linearer Zusammenhang: Während auf niedrigem Leistungsniveau geringe Belastungssteigerungen hohe Leistungszuwächse bewirken, sind auf höherem Leistungsniveau immer größere Belastungssteigerungen notwendig, um noch Verbesserungen zu erzielen (asymptotischer Zusammenhang). Die biologische Adaptation, und damit vor allem die konditionelle und konstitutionelle Seite der Leistungsentwicklung, nähert sich langfristig einem Grenzwert, der von der genetisch festgelegten *Adaptationskapazität* [Hervorhebung im Original] [...] des Sportlers abhängig ist.“

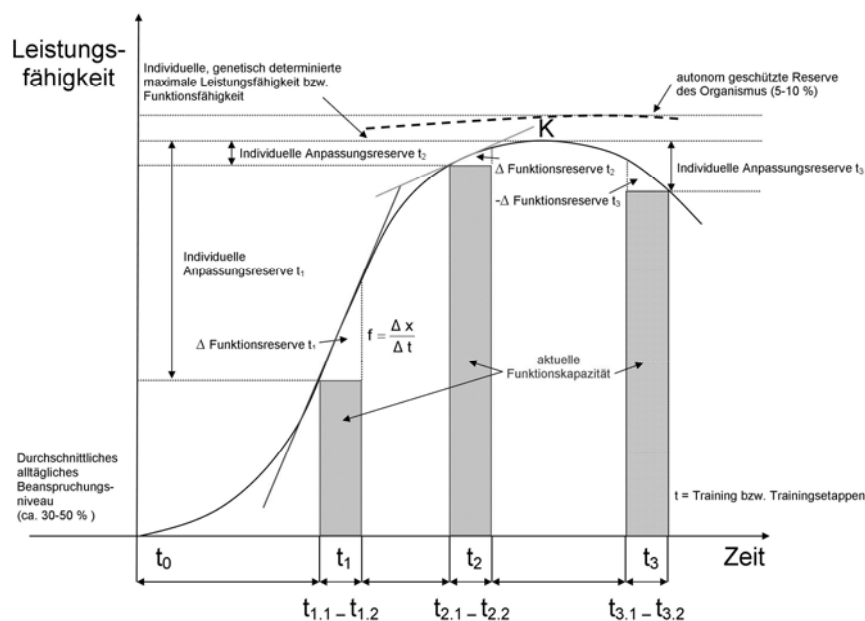


Abb. 2. Funktionsmodell von Anpassungskapazität und Grenzertrag (modifiziert nach Fröhlich, Klein, Pieter & Emrich, 2008, S. 43).

Wie in Abbildung 2 zu erkennen, ist zu Beginn eines sportlichen Trainings zum Zeitpunkt  $t_1$  (eigentlich Intervall von  $t_{1.1}$  zu  $t_{1.2}$ ) der Betrag der Funktionsreserve  $\Delta t_1$  in Abhängigkeit vom individuellen Potential relativ groß (große individuelle Anpassungsreserve zu  $t_1$ ). Im weiteren Trainingsprozess nimmt dieser Ertrag

( $\Delta$ ) über die Zeit  $t_2$  (im Modell) ab (individuelle Anpassungsreserve zu  $t_2$  wird geringer; Prinzip des abnehmenden Grenzertrags) (Frey & Hildenbrandt, 2002, S. 52f.). Zum Zeitpunkt  $t_3$  ist im Modell ein negativer Ertrag ausgewiesen. Dies bedeutet, die maximale individuelle Anpassungsreserve wurde überschritten und das System reagiert mit Abnahme der Leistung bzw. der Leistungsfähigkeit beispielsweise im Rahmen von Übertrainings- und Überbelastungszuständen. Überträgt man die Modellannahmen auf die Zielstellung des leistungsorientierten Trainings gilt es, den Ertrag ( $\Delta$  Funktionsreserve) von jeweils aktueller Funktionskapazität und maximaler Funktionskapazität zu minimieren und dies soweit, bis der jeweilige individuelle genetisch determinierte Kulminationspunkt erreicht wird (Fröhlich et al., 2007). Addiert man am Kulminationspunkt die autonom geschützte Reserve des Organismus von 5 bis 10 % (dem Autor sind keine empirischen Belege für die Prozentangaben bekannt), so erhält man die individuell, genetisch determinierte maximale Leistungsfähigkeit bzw. Funktionsfähigkeit.

Tab. 2. Phasenstruktur des Adaptationsprozesses an Trainingsbelastungen

| Phase                       | Adaptationsprozess                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_0$ bis $t_1$             | Eine Zunahme des Leistungsniveaus bzw. der Leistungsfähigkeit ist noch wenig ausgeprägt, da das durchschnittliche alltägliche Beanspruchungsniveau (aktuelle Funktionskapazität) nur gering überschritten wird und der Organismus zeitlich noch keinen Anpassungsprozess zeitigen kann. |
| $t_1$ bis $t_2$             | In dieser Phase finden pro Zeiteinheit die größten relativen und absoluten Leistungszuwächse statt. Das Integral der Funktionskurve hat den größten Betrag.                                                                                                                             |
| $t_2$ bis Kulminationspunkt | Pro Zeiteinheit finden relativ und absolut gesehen nur noch geringe Leistungssteigerungen statt. Das Integral der Funktionskurve wird geringer. Trotz hoher und höchster Trainingsbelastungen resultiert nur noch ein geringer Leistungszuwachs.                                        |
| Kulminationspunkt bis $t_3$ | Übertraining, Überlastung, d. h. in dieser Phase werden keine positiven Erträge mehr erzielt. Die Leistung bzw. Leistungsfähigkeit geht zurück.                                                                                                                                         |

Die Bestimmung der Leistung bzw. der Leistungsverbesserungen ( $\Delta$  Ertrag) kann entweder bei konstantem oder variablem Ressourceneinsatz und/oder bei minimalem oder maximalem Ressourceneinsatz vorgenommen werden. Während im Spitzen- und Leistungssport der Ressourceneinsatz (Gebrauch bzw. Verbrauch) in der Regel maximal (z. B. in Form von Zeit, Energie, technologischem Aufwand etc.) erfolgt, werden in anderen sportspezifischen Settings minimale oder subjektiv optimale Ressourceneinsätze erfolgen.



Überträgt man die Überlegungen des Funktionsmodells aus Abbildung 2 auf den individuellen Trainingszustand, so resultieren in Anlehnung an die Überlegungen von Frey und Hildenbrandt (2002, 52f.) folgende Adaptationsprozesse, wie sie in Tabelle 2 wiedergegeben sind.

## **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Der Trainingsbegriff, wie er in zahlreichen Definitionen zu Grunde gelegt wird, scheint einerseits auf der Ebene der Antezedensbedingungen in verschiedenen Anwendungsfeldern nur in Teilen die Realität widerzuspiegeln und andererseits eine Entkopplung von Begriff und sportlicher Praxis erfahren zu haben. Eine explizite Ausrichtung des Trainingsbegriffs auf die Ziele Leistungsverbesserung und Steigerung der Leistungsfähigkeit trägt in zahlreichen Anwendungsfeldern und Bereichen des Sports nur unzureichend. Die ökonomische Begriffsbetrachtung umschifft diese Klippen, indem durch genaue Operationalisierung der einzelnen Begriffsbestandteile jeweils eine taugliche Prüfung von Trainingsinterventionen vorgelegt wird, und somit die extensionale Begriffsbedeutung in ihrer Vagheit minimiert wird. Hinzu kommt die Einbettung in ein theoretisches Modell, welches sich in anderen Wissenschaftsdisziplinen als tragfähig erwiesen hat. Durch eine möglichst breite extensionale Begriffsdefinition wie sie hier Allgemein vorgeschlagen wird, wäre der Forderung von Frey und Hildenbrandt (2002, S. 36) nachgekommen:

„Wir brauchen eine Definition des Trainings, die niveaueffen und disziplinübergreifend integrativ ist. Die Trainingsforschung hat diesem Begriff von Training zu entsprechen.“

Durch konkrete Operationalisierung und Angabe von Effektivitätsmaßen könnten bereits bei der Hypothesenformulierung und anschließenden Prüfung Trainingseffekte in spezifischen Settings, sowohl auf der Ebene von Gruppenexperimenten als auch bei Einzelfallstudien und im Rahmen von Evaluationsstudien, wichtige Hinweise zur Theorieentwicklung liefern.

Durch systematische Prüfung und Anpassung des Grenzertragsmodells gilt es zu eruieren inwieweit dieses Modell für die Trainingswissenschaft im Sinne von Trainingsadaptation einen alternativen Ansatz zu anderen Modellvorstellungen darstellt. Somit lag das Anliegen des Beitrages darin, eine offene, multiple Begriffsdefinition unter einer ökonomischen Perspektive in die Trainingswissenschaft einzuführen und zur Diskussion zu stellen, sowie die Modellierung der Leistungsentwicklung anhand des Funktionsmodells zur Anpassungskapazität und Grenzertragsbetrachtung einem erweiterten Leserkreis bekannt zu machen.

## Literatur

- Anshel, M. H., Freedson, P., Hamill, J., Haywood, K., Horvat, M. & Plowman, S. A. (1991). *Dictionary of the sport and exercise sciences*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Auracher, M. (2007). *Die Effektivität präventiver Ausdauertrainingsprogramme: Eine kontrollierte Längsschnittstudie zur Problematik der "Weekend Warrior" und der Intensitätswahl*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.
- Ballreich, R. & Kuhlow, A. (1975). Trainingswissenschaft – Darstellung und Begründung einer Forschungs- und Lehrkonzeption. *Leistungssport*, 5 (2), 95-103.
- Berger, P. L. & Luckmann, T. (2004). *Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit*. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer.
- Büch, M.-P. (1976). *Zu Bestimmung der Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit im öffentlichen Haushalt der Bundesrepublik Deutschland* (Schriftenreihe Annales Universitatis Saraviensis, Bd. 85). Köln u. a.: Heymann.
- Carl, K. (1983). *Training und Trainingslehre in Deutschland*. Schorndorf: Hofmann.
- Carl, K. (2003a). Training. In P. Röthig & R. Prohl u. a. (Hrsg.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 606-607). Schorndorf: Hofmann.
- Carl, K. (2003b). Trainingswissenschaft. In P. Röthig, R. Prohl u. a. (Hrsg.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 616-617). Schorndorf: Hofmann.
- Carnap, R. (1972). *Bedeutung und Notwendigkeit*. Wien, New York: Springer-Verlag.
- Çetin, N. H. & Flock, Th. (1991). *Leistungssteuerung im Sport*. Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Daug, R., Olivier, N., Wiemeyer, J. & Panzer, S. (1999). Wissenschaftstheoretische und methodische Probleme bei der sportwissenschaftlichen Erforschung von Bewegung, Motorik und Training. In J. Wiemeyer (Hrsg.), *Forschungsmethodische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 105, S. 13-36). Hamburg: Czwalina.
- Deschka, K. (1961). *Trainingslehre*. Wien: Österreichischer Bundesverlag für Unterricht, Wissenschaft und Kunst.
- Eisenführ, F. & Weber, M. (2003). *Rationales Entscheiden*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Fishburn, P. C. (1967). Methods of estimating additive utilities. *Management Science*, 13 (7), 435-453.

- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (2002). *Einführung in die Trainingslehre. Teil 1: Grundlagen*. Schorndorf: Hoffmann.
- Friedrich, W. & Moeller, H. (1999). Zum Problem der Superkompensation. *Leistungssport*, 29 (5), 52-55.
- Froböse, I. & Fiehn, R. (2003). Das Training in der Therapie – Grundlagen. In I. Froböse, G. Nellesen & C. Wilke (Hrsg.), *Training in der Therapie* (S. 11-26). München und Jena: Urban & Fischer.
- Fröhlich, M. (2003). *Kraftausdauertraining. Eine empirische Studie zur Methodik*. Göttingen: Cuvillier.
- Fröhlich, M., Emrich, E. & Büch, M.-P. (2007). Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft*, 37 (3), 296-311.
- Fröhlich, M., Klein, M. Pieter, A., Emrich, E. & Gießing, J. (2008). Consequences of the three disciplines on the overall result in Olympic-distance triathlon. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2 (4), 204-210.
- Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A. & Emrich, E. (2008). Ökonomische Betrachtungen zur Wettkampfstruktur im olympischen Triathlon – ein explorativer Ansatz. *Leistungssport*, 38 (5), 42-46.
- Grosser, M. (1993). *Theorie und Praxis aller Sportarten*. München: BLV Sportwissen.
- Hägele, W. (1996). *Reflexionen zur Sportwissenschaft. Eine wissenschaftssoziologische Studie*. München: Homo Ludens.
- Hägele, W. (2007). Inklusion vs. Exklusion der Individualität im Sport. *Sportwissenschaft*, 37 (2), 172-185.
- Haken, H. (1996). Chaos und Ordnung: Zur Selbstorganisation komplexer Systeme in Physik, Biologie und Soziologie. In J.-P. Janssen, K. Carl, W. Schlicht & A. Wilhelm (Hrsg.), *Synergetik und Systeme im Sport*. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft Band 84, (S. 23-38). Schorndorf: Hofmann.
- Harre, D. (1986). *Trainingslehre: Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Haverkamp, N. & Willimczik, K. (2005). Vom Wesen zum Nicht-Wesen des Sports. Sport als ontologische Kategorie und als kognitives Konzept. *Sportwissenschaft*, 35 (3), 271-290.
- Hehlmann, W. (1964). *Wörterbuch der Pädagogik*. Stuttgart: Alfred Kröner Verlag.
- Heinemann, K. (1998). *Einführung in die Soziologie des Sports*. Schorndorf: Hofmann.
- Herrmann, T. (1976). *Die Psychologie und ihre Forschungsprogramme*. Göttingen: Hogrefe.

- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hohmann, A. (1999). Anwendungs- und Grundlagenorientierung in der Trainings- und Bewegungsforschung. In J. Wiemeyer (Hrsg.), *Forschungsmethodische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport*. (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 105, S. 37-54). Hamburg: Czwalina.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart, New York: Schattauer.
- Homann, K. (1980). *Die Interdependenz von Zielen und Mitteln*. Tübingen: Mohr.
- Janssen, J.-P., Carl, K., Schlicht, W. & Wilhelm, A. (Hrsg.) (1996). *Synergetik und Systeme im Sport*. Schorndorf: Hofmann.
- Janssen, J.-P., Schlicht, W., Rieckert, H. & Carl, K. (Hrsg.) (1992). *Belastung und Beanspruchung*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Joch, W. & Ückert, S. (1998). *Grundlagen des Trainierens*. Münster: Lit Verlag.
- Jonath, U. (1986): *Lexikon Traininglehre*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch.
- Kirsch, A. (1973). *Training*. In P. Röthig, *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 267). Schorndorf: Hofmann.
- Krüger, A. (2003). Popper, Dewey und die Theorie des Trainings – oder entscheidend ist auf'n Platz. *Leistungssport*, 33 (1), 11-16.
- Lames, M. & Hohmann, A. (2003). Trainingswissenschaft. In H. Haag & B. Strauß (Hrsg.), *Theoriefelder der Sportwissenschaft. Grundlagen zum Studium der Sportwissenschaft*. Bd. IV, (S. 55-75). Schorndorf: Hofmann.
- Lames, M., Hohmann, A. & Letzelter, M. (2003). Trainingswissenschaft und Trainingslehre - Popper und die Russen. *Leistungssport*, 33 (1), 5-10.
- Lange, H. (2004). Was ist "Training" – wie wird Training gestaltet. In V. Scheid & R. Prohl (Hrsg.), *Trainingslehre. Kursbuch Sport Band 2*, (S. 11-53). Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Lenk, H. (1980). Auf dem Wege zu einer analytischen Sportphilosophie. *Sportwissenschaft*, 10 (4), 417-436.
- Letzelter, M. (1978). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch.
- Letzelter, M. (1996). Trainingswissenschaft als Disziplin der Sportwissenschaft – eine Betrachtung aus der Sicht der allgemeinen Wissenschaftstheorie. In H.-A. Thorhauer, K. Carl & U. Türck-Noack (Hrsg.), *Trainingswissenschaft. Theoretische*

- und methodische Fragen in der Diskussion. (Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 9, S. 27-45). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (2), 40-58.
- Marées, H. de (2002). *Sportphysiologie*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Martin, D. & Weigelt, S. (Hrsg.) (1993). *Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze*. Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Martin, D. (1977). *Grundlagen der Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D. (1993). Zum Selbstverständnis der Trainingswissenschaft. In D. Martin & S. Weigelt (Hrsg.), *Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze*. (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 53, S. 9-22). Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Matwejew, P. (1981). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Merton, R. K. (1995). The Thomas Theorem and the Matthew Effect. *Social Forces*, 74 (2), 379-424.
- Meyer, T., Faude, O., Urhausen, A., Scharhag, J. & Kindermann, W. (2004). Different effects of two regeneration regimens on immunological parameters in cyclists. *Medicine and Science and Sports and Exercise*, 36 (10), 1743-1749.
- Müller, H. & Blischke, K. (2009). Motorisches Lernen. In B. Strauß & W. Schlicht (Hrsg.), *Grundlagen der Sportpsychologie* (S. 159-228). [Enzyklopädie der Psychologie – Serie Sportpsychologie, Bd.1] Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe.
- Nett, T. (1964). *Das Training des Leichtathleten. Hürdenlauf, Sprung, Wurf, Mehrampf*. Berlin: Bartels & Wernitz.
- Newell, A. & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 1-55). Hillsdale: Erlbaum.
- Olivier, N. (2001). Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft*, 31 (4), 437-453.
- Olivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Opp, K.-D. (2005). *Methodologie der Sozialwissenschaften*. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Party, J.-L. & Perrez, M. (1982). Entstehungs-, Erklärungs- und Anwendungszusammenhang technologischer Regeln. In J.-L. Patry (Hrsg.), *Feldforschung. Methoden und Probleme sozialwissenschaftlicher Forschung unter natürlichen Bedingungen* (S. 389-412). Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber.

- Perl, J., Lames, M. & Glitsch, U. (2002). *Modellbildung in der Sportwissenschaft*. Schorndorf: Hofmann.
- Rohmert, W. & Rutenfranz, J. (Hrsg.) (1983). *Praktische Arbeitsphysiologie*. Stuttgart, New York u. a.: Thieme Verlag.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38 (4), 193-200.
- Russell, B. (1923). Vagueness. *Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, 1, 84-92.
- Schlicht, W. (1992). Das sportliche Training: Überlegungen auf dem Wege zu einem integrierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In J.-P. Janssen, W. Schlicht, H. Rieckert & K. Carl (Hrsg.), *Belastung und Beanspruchung* (S. 31-44). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Schnabel, G. & Thieß, G. (1986). *Grundbegriffe des Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Schnabel, G. (1998). Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Entwicklung - Stand - Perspektiven. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 10 (1), 7-23.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (Hrsg.) (2003). *Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schneider, E. W. (1988). *Variabilität, Polysemi und Unschärfe der Wortbedeutung*. Tübingen: Max Niemeyer Verlag.
- Schönpflug, W. (1986). Effort regulation and individual differences in effort expenditure. In G. R. Hockey, A. W. Gaillard & M. G. H. Coles (Eds.), *Energetics and human information processing* (pp. 271-283). Dordrecht: Nijhoff.
- Schönpflug, W. (1987). Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In U. Kleinbeck & J. H. Rutenfranz (Hrsg.), *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie* Bd. 1, (S. 130-184). Göttingen: Hogrefe.
- Seiffert, H. (1996). *Einführung in die Wissenschaftstheorie 1*. München: Verlag C.H. Beck.
- Silberer, V. (1900). *Handbuch der Athletik nebst einer Anleitung zum Boxen*. Wien: Verlag der allgemeinen Sport-Zeitung.
- Stegemann, J. (1984). *Leistungsphysiologie*. Stuttgart, New York: Thieme.
- Thieß, G., Schnabel, G. & Baumann, R. (1980). *Training von A bis Z*. Berlin: Sportverlag.
- Thomas, W. I. (1928). The methodology of behavior study. In W. I. Thomas & D. S. Thomas, *The child in America: Behavior problems and programs*. Chapter 13, (S. 553-576). New York: Alfred A. Knopf.

Thorhauer, H.-A., Carl, K., Türck-Noack, U. (Hrsg.) (1996). *Trainingswissenschaft. Theoretische und methodische Fragen in der Diskussion*. Köln: Sport und Buch Strauß.

Tschiene, P. (2006). Streit um die Superkompensation. *Leistungssport*, 36 (1), 5-15.

Turgot, A. R. J. (1990 [1769/70]). *Réflexion sur la formation et la distribution des richesses*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Veblen, T. (2007 [1899]). *Theorie der feinen Leute. Eine ökonomische Untersuchung der Institutionen*. Frankfurt am Main: Fischer Verlag.

Von Thünen, J. H. (1966 [1875]). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Hrsg. W. Braeuer, E. u. E. A. Gerhardt. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Wedekind, S. (1985). *Trainingswissenschaftliche Grundbegriffe – zur Terminologie konditioneller Leistungskomponenten*. Berlin: Bartels & Wernitz.

Weicker, H. (1992). Metabolische Regulation unter Belastung. In J.-P. Janssen, W. Schlicht, H. Rieckert, & K. Carl (Hrsg.), *Belastung und Beanspruchung* (S. 65-90). Köln: Sport und Buch Strauß.

Weineck, J. (2003). *Optimales Training*. Balingen: Spitta.

Willimczik, K. (2001). *Sportwissenschaft interdisziplinär. Ein wissenschaftstheoretischer Dialog*. Band 1: Geschichte, Struktur und Gegenstand der Sportwissenschaft. Hamburg: Czwalina Verlag.

Willimczik, K. (2007). Die Vielfalt des Sports. Kognitive Konzepte der Gegenwart zur Binnendifferenzierung des Sports. *Sportwissenschaft*, 37 (1), 19-37.

Willimczik, K., Daus, R. & Olivier, N. (1991). Belastung und Beanspruchung als Einflussgrößen der Sportmotorik. In N. Olivier, R. Daus (Editors), *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung*, (S. 2-28). Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll.

Woll, A. (1993). *Allgemeine Volkswirtschaftslehre*. München: Verlag Vahlen.

Wolski, W. (1980). *Schlechtbestimmtheit und Vagheit – Tendenzen und Perspektiven*. Tübingen: Max Niemeyer Verlag.

Wottawa, H. & Thierau, H. (2003). *Lehrbuch Evaluation*. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber

## **Verfasser**

**Michael Fröhlich**, Dr., Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes

## Beitrag II

Fröhlich, M., Emrich, E. & Büch, M.-P. (2007). Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft*, 37 (3), 296-311.





---

MICHAEL FRÖHLICH, EIKE EMRICH, MARTIN-PETER BÜCH  
*Universität des Saarlandes, Sportwissenschaftliches Institut*

## **Grenzerträge auch im Sport!**

Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung  
trainingswissenschaftlicher Probleme

Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft

### **Einleitung**

POPPER (2002, S. 31) bemühte in seiner *Logik der Forschung* ein Bild, um die Funktion der Entwicklung wissenschaftlichen Wissens zu verdeutlichen: „Die Theorie ist das Netz, das wir auswerfen, um ‚die Welt‘ einzufangen, – sie zu rationalisieren, zu erklären und zu beschreiben. Wir arbeiten daran, die Maschen des Netzes immer enger zu machen.“ Nachfolgend wird der Versuch unternommen, die Maschen des theoretischen Netzes in der Trainingswissenschaft enger zu knüpfen. Zu diesem Zweck wird eine Übertragung von ökonomischen Methoden in die Sportwissenschaft, explizit in die Trainingswissenschaft, versucht und hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit zur Diskussion gestellt.<sup>1</sup>

Des Weiteren kann der Beitrag als Versuch verstanden werden, das von PERL, LAMES und GLITSCH (2002, S. 109) formulierte theoretische Defizit in der Trainingswissenschaft zu vermindern: „Ein eigenständiger Bereich theoretischer Sportwissenschaft kann bislang nicht aufgezeigt werden. In diesem Bereich sind die betreffenden Basiswissenschaften praktisch die einzigen Lieferanten eines theoretischen Wissenstransfers.“

Leitlinie eines solchen Versuches muss es unseres Erachtens sein, wissenschaftliche Aussagen zu ermöglichen, die Erkenntnisfortschritte begünstigen, aber prinzipiell falsifizierbar sind. Der Beitrag ist somit implizit und explizit als Diskussionsgrundlage zur Generierung von überprüfbarem Wissen in der Trainingswissenschaft zu verstehen, indem er Aussagen als Prädikatorensystem (SEIFERT, 1996, S. 68 ff.) einer

---

<sup>1</sup> Eine Übertragung von nutzentheoretischen Annahmen der Ökonomik in die Trainingswissenschaft, wie sie in diesem Beitrag vorgestellt werden, sind so nach Meinung der Autoren weder in nationalen noch in internationalen Beiträgen vorgenommen worden. Insofern kann man von einem Beitrag zur Ökonomie der Trainingswissenschaft sprechen (zur Anwendung der ökonomischen Methode auf weitere gesellschaftliche Fragestellungen vgl. BECKER, 1993; FREY, 1990). Dabei sollte auch bewusst sein, dass ökonomisches Denken auf Kostenminimierung oder auf Nutzenmaximierung und nicht auf Ziele per se gerichtet ist; das bedeutet: es gilt, ein vorgegebenes Ziel mit den geringsten Kosten zu erreichen, oder es gilt, mit den vorgegebenen Ressourcen ein Ziel mit maximalem Ertrag zu erreichen. Im Weiteren möchten sich die Autoren bei Herrn Werner PITTSCH für konstruktive Diskussionsbeiträge bedanken.

kritischen Prüfung unterwirft, darunter Aussagen mit einem normativen Hintergrund (vgl. POPPER, 1975, S. 26; 2000, S. 51 f.). Auch normative Aussagen, was sein soll, können POPPER zufolge einer kritischen – *empirischen* – Prüfung unterzogen werden.

Der Ausgangspunkt unserer Überlegungen basiert auf aktuellen empirischen Studien. Beispielsweise konnte AURACHER (2006) den Nachweis erbringen, dass eine massierte Trainingshäufigkeit (zwei Trainingseinheiten à 75 Minuten an aufeinanderfolgenden Tagen) sich entgegen gängiger Lehrmeinungen in den physiologisch nachgewiesenen Wirkungen (u. a.  $VO_{2max}$ , HF- und Laktatleistungskurve,  $HF_{Ruhe}$ ) nicht von einer verteilten Trainingshäufigkeit (fünf Trainingseinheiten zu je 30 Minuten Training pro Woche) im Ausdauersport unterscheidet. FAUDE (2006) konnte belegen, dass sich eine niedrig-intensive sportartspezifische Belastung von täglich einer Stunde Dauer positiv auf das Regenerationsverhalten im Anschluss an eine 13-tägige Phase intensiven Trainings auswirkt, während dreistündiges regeneratives Training eher zu einem beginnenden Überlastungszustand führt. Beide Studien tangieren auf kollektiver Ebene die Ökonomik der Zeit, die ein wesentlicher Produktionsfaktor (Ressource) im Trainingsprozess ist und die „bewirtschaftet werden muss“, betreffen also die Frage, wie setze ich Trainingszeit effizient ein (vgl. BECKER, 1993, S. 97 ff.).

Weiterhin liegen erste empirische Ergebnisse zur Ökonomik der Zeit im Rahmen der Nachwuchsleistungssportförderung sowie zu den Erfolgsperspektiven von Eliteschülern des Sports vor (vgl. EMRICH & GÜLLICH, 2005; EMRICH, GÜLLICH & PITSCH, 2005; EMRICH, FRÖHLICH, KLEIN & PITSCH, i. Dr.). In den Studien konnte aufgezeigt werden, dass eine rein quantitative Ausweitung von Trainingszeiten auf Kosten des für andere Bereiche verbleibenden Zeitbudgets keineswegs erfolgsbegünstigend ist, sondern dass es vielmehr die Spezifik der Verwendung (z. B. Vielseitigkeit versus frühe Spezialisierung) und damit ein individuelles Optimum in der Zeitverwendung sind, die mit sportlichem Erfolg korrelieren. Den Studien ist gemein, dass individuelle Entwicklungsverläufe nicht mit linearen chronologischen Zeitverläufen korrespondieren müssen. Auch hier scheint eine Ökonomie der Zeit im Sinne eines dynamischen Modells evident (vgl. BECKER, 1993). Abgeleitet daraus versucht der Beitrag einen ersten Zugang zur Ökonomik der Zeit in der Trainingswissenschaft, allerdings zunächst auf der kollektiven Datenebene, zu liefern, wohl wissend, dass eine individuell formalisierte Zugangsweise in einem zweiten Schritt notwendig ist. Die explizite Spezifikation der Modellextension einerseits und am konkreten Fall andererseits ist noch zu leisten.

## Ökonomische Prinzipien der Entscheidungsfindung

### Grundlegende Überlegungen

Analog den Überlegungen in der Ökonomik, auf welche Produkte die knappen Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital (einschl. Boden) verteilt werden, steht auch die „Produktion“ sportlicher Leistungen unter dem „kalten Stern der Knappheit“ (SCHNEIDER, 1969, S. 13). Knappheit im Sportbereich bezieht sich etwa auf die verfügbare und nutzbare Trainingszeit, den Mitteleinsatz von Geräten, Dienstleistungen und infrastrukturelle Zugänge, auf Humankapital wie Talente, ausgebildete

Trainer und Sportlehrer, die Verfügbarkeit von Trainingsstätten u. v. a. m. Somit dient die Ökonomik der Lösung äußerer Konflikte. Produktionsfaktoren werfen generell Erträge ab und stiften so Nutzen. Deshalb steht man schnell vor der Frage, wie diese Produktionsfaktoren oder Potentiale möglichst *optimal* genutzt werden können. Die optimale Nutzung der individuellen Potentiale oder Ressourcen folgt dabei in Anlehnung an die österreichische Grenznutzenschule MENGERS (1871, S. 153 ff.) vier grundlegenden Annahmen der Ökonomik:

1. *Menschen stehen ständig vor Entscheidungen.*
2. *Jede Entscheidung verursacht Kosten. Eine Entscheidung für etwas ist zugleich die Entscheidung gegen etwas.*
3. *Rationales Handeln ist marginalorientiert. Rational entscheidende Menschen denken in Grenzbetrachtungen.*
4. *Die Menschen reagieren auf (materielle und immaterielle) Anreize<sup>2</sup> und wägen sie gegen die Kosten (materielle und immaterielle) ab.*

Diese Prämissen werden im Sinne des *homo oeconomicus*<sup>3</sup> als generell verbreitet angenommen und müssten insofern auch im Leistungssport nachweisbar sein (KIRCHGÄSSNER, 2000). An dieser Stelle wird deutlich, dass das trainingsmethodische Handeln auf Ansätzen des *homo oeconomicus* (Individuum als Kosten-Nutzen abwägender Akteur, der sein Handeln an der Maximierung des subjektiven Nutzens ausrichtet) fußt und eine rationale Wahl zwischen mehreren Handlungsalternativen im Sinne des Rational-Choice-Ansatzes (in einer Wahlsituation wird diejenige Handlung ausgeführt, bei der das subjektive Produkt aus dem Nutzenwert und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses am größten ist) getroffen wird.

Als weiteres Primat gilt, dass die Suche, Entwicklung und Umsetzung von Potentialen möglichst effizient zu gestalten sind, also eine alternative Verwendung der Ressourcen keinen höheren Nutzen stiftet (Ressourcenallokation). BÜCH (2005) wendete erstmalig diese einleitenden Gedanken auf den Prozess der Entwicklung von Potentialen für Sporteliten im Sinne der Talentfindung, -entwicklung und -förderung an. Bevor nachfolgend eine mögliche theoretische Modellüberlegung<sup>4</sup> für die Sportwissenschaft, explizit für die Trainingswissenschaft<sup>5</sup>, entwickelt werden

<sup>2</sup> Anreize können dabei sowohl extrinsischer als auch intrinsischer Art sein. Zuweilen können sich die Anreize überlagern, verstärken und/oder löschen (vgl. ZIMBARDO & GERRIG, 1999, S. 319 ff.).

<sup>3</sup> Den Autoren ist bewusst, dass es auf der individuellen Ebene den reinen *homo oeconomicus* realtypisch so nicht gibt. Vielmehr sind die Informationen zum zweckrationalen Handeln begrenzt und die intendierten und nicht intendierten Folgen in der Kurz-, Mittel- und Langsicht nicht immer abzuschätzen und/oder divergent (vgl. EBERS & GOTSCH, 2002; KIRCHGÄSSNER, 2000). Der *homo oeconomicus* soll hier nicht als Menschenbild, sondern eher als „ökonomische Methode“, als Leitbild, aus dem erfolgreich menschliches Verhalten eines „mittleren Menschen“ abgeleitet werden kann (MAENNIG, 2002), verstanden werden (KIRCHGÄSSNER, 2000, S. 25 ff.).

<sup>4</sup> Modell, verstanden als ein abstraktes Abbild eines Systems, welches der Diagnose des Systemzustandes und der Prognose des Systemverhaltens dient (vgl. PERL et al., 2002, S. 15).

<sup>5</sup> Im Beitrag wird von Trainingswissenschaft (praktisches Handeln, welches wissenschaftlich fundiert ist) im Sinne von technologischem Wissen gesprochen (vgl. PATRY & PERREZ, 1982, S. 402 ff.).

soll, muss zur Klärung inhaltlicher Bezugssysteme und Annahmen eine definitorische Abgrenzung verwendeter Begriffe vorgenommen werden.

### **Definitorische Abgrenzung, theoretische Verortung und modellhafte Überlegungen**

Die oben skizzierte Vorgehensweise wurde einerseits gewählt, um im Sinne einer Heuristik eine Problembeschreibung vornehmen zu können, andererseits um im Sinne einer Interdisziplinarität Modelle und Theorien der Ökonomik in den Kontext der Trainingswissenschaft transferieren und auf den vorliegenden Gegenstand anwenden zu können (vgl. BÜCH, 2005, S. 369). Bei der Anwendung solcher Überlegungen spielen naturgemäß immer – zumindest implizit – Kosten-Nutzen-Relationen eine entscheidende Rolle (vgl. MAENNIG, 1998), d. h. in unserem Fall speziell das Verhältnis von aufgewandter Zeit und leistungsmäßigem Ertrag. Dabei wird *Effektivität* (effectiveness) definiert als das Verhältnis von erreichtem zu definiertem Ziel, d. h., der Grad der Zielerreichung bzw. der Wirksamkeit. Ein Verhalten, eine Handlung oder eine Intervention, war und ist dann effektiv, wenn ein vorgegebenes Ziel<sup>6</sup> erreicht wurde. Hierbei ist der benötigte Aufwand zur Zielerreichung *idealtypisch* nicht relevant.<sup>7</sup> Zunehmend spielen jedoch im sportlichen Handeln im Allgemeinen sowie im Leistungssportsystem im Speziellen Betrachtungen der Input-Output-Relation eine entscheidende Rolle, also die Frage nach der *Effizienz* (efficiency), d. h. des Verhältnisses von investierter Leistung zu anfallenden Kosten und/oder anderen Nachteilen oder entgangenen Alternativen (*Opportunitäten*), und zwar auf individueller (Zeitverwendung für Sport angesichts hoher Opportunitätskosten) wie auf kollektiver Ebene (keine sportbezogene Ansehensmehrung mehr im mittlerweile entschiedenen Wettkampf der politischen Systeme).

Effektiv arbeiten, handeln und trainieren bedeutet somit, dass unter dem Einsatz möglichst aller gegebenen Mittel und Ressourcen ein Ziel erreicht werden soll; effizient ist auf individueller Ebene ein Zustand dann, wenn durch Reallokation keine weiteren Erträge mehr möglich sind; auf kollektiver Ebene entspricht dieser Zustand dem Paretokriterium, nach dem kein Akteur mehr besser gestellt werden kann, ohne dass ein anderer Akteur schlechter gestellt wird.

Für das Training im Allgemeinen sowie speziell für das Training im Leistungs- und Hochleistungssport kann davon ausgegangen werden, dass Trainingshandeln, also planmäßig, systematisch und nachhaltig Ziele zu verfolgen, effektiv<sup>8</sup> gestaltet

<sup>6</sup> Ein festgelegtes Ziel wird dabei durch die Komponenten „Inhalt“ (was will ich erreichen?), „Ausmaß“ (wie viel will ich erreichen?) und „Zeit“ (bis wann will ich es erreichen?) charakterisiert (vgl. BÜCH, 1976, S. 163).

<sup>7</sup> RÖHLICH (2006) hat im Rahmen der Einsatz- bzw. Mehrsatztrainingsproblematik sowie der optimalen Trainingshäufigkeit (FRÖHLICH, SCHMIDTBLEICHER & EMRICH, i. Dr.) im Krafttraining die Effizienz- und Effektivitätsthematik diskutiert.

<sup>8</sup> Eine letztendliche Entscheidung, inwieweit wir die richtigen Dinge tun, kann im Trainingsprozess nicht vorgenommen werden. Mittels theoretischer und bewährter Lösungsstrategien (auch im Sinne sogenannter Meisterlehren) besteht jedoch die Möglichkeit, systematisch Einfluss zu nehmen. Das Abwägen von Alternativen, das kreative Einschlagen neuer Wege, das Verlassen bewährter Pfade ist letztendlich die „Kunst“ des Trainings

werden muss, wenn man in internationalen Konkurrenzen und ihrer Dynamik bestehen will. Da aber die Ressourcen nur beschränkt zur Verfügung stehen, müssen sie auch „effizient“ eingesetzt werden.

Einzelne Ressourcen und Potentiale sind nicht beliebig steigerbar und zeitlich begrenzt, weshalb die Zielstellung im Leistungssport gerade ein effizientes Trainingshandeln begründet. Man kann eben die für das Training nutzbare Zeit im Sinne der Zeitextension auch bei Zurückdrängen der Zeitanprüche anderer Systeme nicht beliebig ausweiten. Der Verzicht auf Schlaf etwa zugunsten des Trainings wäre in diesem Sinn ein ungeeignetes Mittel. Insofern ist man gezwungen, sich Wettbewerbsvorteile durch verbesserte Effizienz zu verschaffen, also die Relation von eingesetzter Zeiteinheit und daraus resultierendem Ertrag zu verbessern (Zeitintensität).

Ein *Potential*  $P$  (potential) kennzeichnet die einem System oder einer Person innewohnende Fähigkeit, Erträge zur Erledigung von Aufgaben zu generieren. Potentiale können prinzipiell zueinander in Relation gestellt werden (*Transferabilität*) und erlauben somit Vergleiche zwischen verschiedenen Potentialen. Ist Potential A höher einzuschätzen als Potential B, wird sich Potential A in der Regel eher durchsetzen oder einsetzen lassen und/oder entwickeln als Potential B. Idealtypisch wird sich beispielsweise unter sonst gleichen Umwelt-System-Bedingungen der Sportler mit dem größeren „Talentpotential“ mittel- und langfristig gegenüber dem Sportler mit dem geringeren Talentpotential in der Sportart durchsetzen. Geht man weiterhin davon aus, dass Potentiale Erträge abwerfen und so Nutzen stiften, so können durch den Ressourceneinsatz  $r_t$  des Potentials Erträge  $e$  durch das Potential erwartet werden (vgl. Abb. 1). Analytisch lässt sich beispielsweise Training auf diese Art und Weise beschreiben. Die Leistungsfähigkeit der Person A (Potential) zum Zeitpunkt  $t$  kann durch Ressourceneinsatz in Form von Trainingsbelastungen gesteigert werden, was in einem höheren Leistungsniveau als Ertrag  $e = p(t_2) - p(t_1)$  zum Tragen kommt. An dieser Stelle sind zwei prinzipielle Anmerkungen vorzunehmen:

1. Der Ressourceneinsatz (z. B. Zeit, energetische Kapazität) ist, wie schon angesprochen, nicht unendlich steigerbar.
2. Mit zunehmendem Ressourceneinsatz nimmt in der Regel zunächst der Ertrag über die Zeit zu. Relativ betrachtet kommt es jedoch durch zunehmenden Ressourceneinsatz zu einer Verringerung des Ertrages in der Zeiteinheit, das bedeutet, der Ertrag der einzelnen Ressource erreicht einen Grenzertrag.<sup>9</sup> Bei Überschreiten des Kulminationspunktes resultiert sogar ein negativer Ertrag. Mit jeder zusätzlichen eingesetzten zeitlichen Einheit im Training nimmt der zusätzliche Ertrag (Grenzertrag) jeder folgenden Einheit ab, er kann sogar, bei Überschreiten biologischer Grenzen, negative Werte annehmen. In der Ökonomik ist diese Beobachtung als das Gesetz vom abnehmenden Grenzertrag (TURGOT, 1990; VON THÜNEN, 1966) bekannt (vgl. Abb. 1).

---

und zeichnet den erfolgreichen innovativen Trainer vor dem weniger erfolgreichen Trainer aus. MESSING und LAMES (1991, S. 83) beschreiben übereinstimmend die Praxis als durchaus funktional diffus.

<sup>9</sup> Beim Begriff des Grenznutzens wird der Nutzenkomponente jeweils eine implizite individuelle Bewertung eines Ertrages unterstellt.

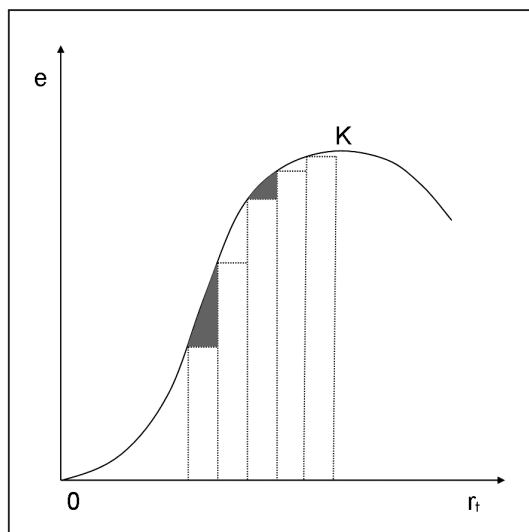


Abb. 1: Entwicklung eines Potentials über die Zeit  $t$  unter Einsatz zunehmender Ressourcen zur Steigerung des Potentials ( $e$  = Ertrag,  $r_t$  = Ressource zum Zeitpunkt  $t$ ,  $K$  = Kulminationspunkt)

Zur Verdeutlichung das folgende Beispiel: Die Leistungsfähigkeit einer Person A mit dem Potential  $P_1$  zum Zeitpunkt  $t_1$  erhöht sich durch den Ressourceneinsatz  $r_{t1}$  mittels geeigneter Trainingseinheiten zur Zielerreichung auf die Leistungsfähigkeit mit dem Potential  $P_2$  zum Zeitpunkt  $t_2$ . Wie hinlänglich bekannt, ist der Ressourceneinsatz beispielsweise in Form von noch mehr Trainingseinheiten nicht beliebig steigerbar. Nach Überschreiten eines Kulminationspunktes<sup>10</sup> führt der weitere Ressourceneinsatz  $r_{t2}$  sogar zu einem Abnehmen der Leistungsfähigkeit des Potentials. Als Beispiel für das Überschreiten des Kulminationspunktes in der Trainingswissenschaft möge das Übertraining oder die Überlastung<sup>11</sup> (stetiger Rückgang) des Individuums mit entsprechender Reduktion der Leistungsfähigkeit bzw. Verletzung und/oder Schädigung (abrunder Rückgang) des Organismus dienen (vgl. MEEUSEN, DUCLOS, GLEESON, RIETJENS, STEINACKER & URHAUSEN, 2006). Die Stressfraktur, der Muskelfaserriss, der Achillessehnenabriss sind Beispiele für das Überschreiten des Kulminationspunktes, hier des arthromuskulären Belastungsbeanspruchungs-Systems.

Da Potentiale prinzipiell Erträge abwerfen und so Nutzen stiften, werden die Konstrukte Nutzen, Gesamtnutzen, Grenznutzen vorab eingeführt und voneinan-

<sup>10</sup> Wird der Kulminationspunkt nicht überschritten, bleibt er prinzipiell unbekannt. Weiterhin muss beachtet werden, dass die statische Sichtweise auf das Modell der Entwicklung eines Potentials in der Realität zu kurz greift, da Training bekanntlich ein dynamischer Prozess von Belastung und Erholung ist. Zur temporären Verdeutlichung erscheint jedoch eine solche Betrachtung von Vorteil.

<sup>11</sup> Eine inhaltliche und strukturelle Differenzierung von Übertraining und Überlastung wird noch immer kontrovers diskutiert bzw. eindeutige Parameter zur Diagnostik stehen noch aus (vgl. MEEUSEN et al., 2006). Deshalb wird derzeit unter pragmatischen Gesichtspunkten eine sogenannte check list diskutiert.



der differenziert. WOLL (1993, S. 121) versteht unter *Nutzen*<sup>12</sup> die Befriedigung, die ein Gut einem Individuum beim Konsum stiftet. Als Gut kann alles bezeichnet werden, was geeignet ist, einen Bedarf zu befriedigen. Dass auch der aktive Sport im Allgemeinen, der rezeptive Sportkonsum im Speziellen sowie die im Sport erwirtschafteten und produzierten Güter und Dienstleistungen (vgl. BÜCH, MAENNIG & SCHULKE, 2004; WEBER, SCHNIEDER, KORTLÜKE & HORAK, 1995) für die Gesellschaft und das Individuum von Nutzen sein können, ist evident. Andererseits entstehen bei der Produktion und/oder beim Konsum eines Gutes Kosten in Höhe des entgangenen Nutzens für alternative Möglichkeiten, sogenannte *Opportunitätskosten*<sup>13</sup> (vgl. MAENNIG, 1998). Interessanter als der Gesamtnutzen dürfte jedoch die marginale Veränderung sein, die eine weitere (die jeweils letzte) Einheit<sup>14</sup> eines Gutes stiftet. Diesen Nutzen nennt man *Grenz- oder Marginalnutzen*.<sup>15</sup> Auf die Trainingspraxis übertragen, könnte man folgendes Beispiel anführen: Mit steigender Anzahl von Trainingseinheiten pro Woche sind in der Regel steigende Erträge, also eine erhöhte Leistungsfähigkeit zu erwarten. Eine Steigerung der Trainingshäufigkeit um zwei Trainingseinheiten pro Woche – von vier auf sechs Einheiten – liefert dabei prozentual einen größeren Leistungsertrag als eine Erhöhung der Trainingseinheiten von 18 auf 20 Einheiten. So ist seit langem bekannt, dass zu Beginn eines systematischen Trainings relativ unspezifische Belastungen zu gewünschten Anpassungseffekten führen. Je länger jedoch der kontinuierliche Trainingsprozess vonstatten geht, desto spezifischer müssen die Belastungsreize sein, damit noch marginale Adaptationen zu erwarten sind (vgl. VERCHOSHANSKIJ & VIRU, 1990, S. 10f.).

HOHMANN et al. (2002, S. 153) schreiben hierzu: „Nach dem *Quantitätsgesetz des Trainings* [Hervorhebung im Original] besteht über die Dauer eines langfristigen Trainingsprozesses betrachtet zwischen der Belastung und der Leistungsfähigkeit

<sup>12</sup> Zur empirischen Validierung entsprechender trainingsmethodischer Konzepte ist die operationale Definition des jeweiligen Nutzens (Konstrukt) eminent wichtig. Nutzen kann sich beispielsweise darin äußern, dass ein Leistungsniveau gehalten, gesteigert oder sogar reduziert (Abtraining) wird. Des Weiteren ist zu unterscheiden, auf welchen physischen, psychischen oder sozialen Bereich sich der Nutzen beziehen soll. Nutzen ist ein subjektiver Begriff, der stets auf die Sozialsituation abstellt.

<sup>13</sup> Opportunitätskosten können sich einerseits darin äußern, dass in einer bestimmten aktuellen Zeiteinheit nur ausgewählte Alternativen konsumiert werden können (Kinobesuch vs. Fußballstadion). Andererseits muss das Individuum langfristig Opportunitätskosten gegeneinander abwägen (Sportkarriere vs. berufliche Karriere) (vgl. BÜCH, 2005, S. 359). In der konkreten Untersuchungssituation muss eine Spezifikation und/oder Operationalisierung der Kosten stattfinden.

<sup>14</sup> In der Trainingswissenschaft im Speziellen und in den Humanwissenschaften im Allgemeinen dürfte die Abschätzung des Grenzertrags der letzten Einheit mit Schwierigkeiten verbunden sein, da hier in der Regel bisher die kumulative Wirkungsweise untersucht wurde.

<sup>15</sup> Im technokratischen Nachwuchssportprogramm des DSB von 1997 wird implizit versucht, den Grenznutzen bzw. den Grenzertrag möglichst frühzeitig maximal auszuprägen (hohe Erfolge in frühen Jahren). Formallogisch steigt dadurch die Wahrscheinlichkeit eines möglichen Dropouts, da die frühen Erfolge durch die frühen hohen Leistungen in die Zukunft nicht übertragen werden können. Im aktuellen Konzept des DOSB ist dieser Sachverhalt geändert, wird in der Praxis jedoch noch immer nicht durchgängig praktiziert (vgl. EMRICH et al., i. Dr.).

kein linearer Zusammenhang: Während auf niedrigem Leistungsniveau geringe Belastungssteigerungen hohe Leistungszuwächse bewirken, sind auf höherem Leistungsniveau immer größere Belastungssteigerungen notwendig, um noch Verbesserungen zu erzielen (asymptotischer Zusammenhang). Die biologische Adaptation, und damit vor allem die konditionelle und konstitutionelle Seite der Leistungsentwicklung, nähert sich langfristig einem Grenzwert, der von der genetisch festgelegten *Adaptationskapazität* [Hervorhebung im Original] [...] des Sportlers abhängig ist.“

VERCHOSHANSKIJ und VIRU (1990, S. 11) haben bereits indirekt diese Grenzertragsüberlegungen in einer Theorie bzw. Gesetzmäßigkeit der langfristigen Adaptation des Organismus von Sportlern an körperliche Belastungen mit folgenden Worten vorweggenommen: „[...] dass mit zunehmender Qualifikation der Sportler die Zuwachsraten in den Merkmalen der speziellen konditionellen Vorbereitung in jedem Jahr geringer wird [...]. Mit jeder Wiederholung verringert sich der Einfluss der kompensatorischen Adaptation auf das Niveau der spezifischen Leistungsfähigkeit.“ Die Autoren schließen daraus, dass die Dynamik der spezifischen Leistungsfähigkeit einer Exponentialfunktion folgt und dass die Kapazität der gesamten Adaptationsreserve des Organismus ihre Grenze hat und wahrscheinlich durch genetische Voraussetzungen determiniert ist (vgl. VERCHOSHANSKIJ & VIRU, 1990, S. 11 f.).

Darüber hinaus soll darauf hingewiesen werden, dass diese in Teilen statische und idealtypische Modellannahme in der Realität zu kurz greift. Vielmehr kann ein Gut verschiedene Bedürfnisse sowohl aktuell als auch langfristig, sowohl individuell als auch kollektivistisch gleichzeitig befriedigen. Formallogisch wird der Nutzen aus dem Konsum des Gutes dann am größten sein, wenn die Grenznutzen aus dem Konsum in jeder Verwendung gleich sind (WOLL, 1993, S. 124). In der Ökonomik spricht man vom Gesetz des Ausgleichs vom Grenznutzen (2. Gossensches Gesetz). Auf die Ressourcenseite bezogen kann beispielsweise eine bestimmte Trainingseinheit im Rudern mit Krafttraining oder mit Ausdauertraining ausgestaltet werden. Der Grenzertrag der Krafttrainingseinheit ist somit vom Grenzertrag der Ausdauerseinheit zu unterscheiden und im Kontext zum Gesamtertrag zu sehen. Darüber hinaus muss beachtet werden, dass das Gesetz vom Ausgleich des Grenzertrages sowohl aktuell in der spezifischen Situation als auch langfristig im Sinne eines Trainingsprozesses zur Anwendung kommen muss.

In der Praxis kommt es dabei zur Schwierigkeit, die einzelnen Grenzerträge zu bestimmen bzw. gegeneinander abzugrenzen und/oder in Relation zueinander zu setzen. Im Trainingsprozess kommt erschwerend hinzu, dass die Grenzerträge – auf Grund bisher nicht bekannter „Produktionsverläufe“ – oft erst retrospektiv zu bestimmen sind. EMRICH und GÜLLICH (2005, S. 163) fragen, bezogen auf die gesamte Spitzensportkarriere: „Welches zeitliche Investitionsvolumen bei welchen Intensitäten, also welcher Dichte, verteilt über welchen Gesamtzeitraum lässt welche Gesamterträge, also welche Höhen von Einzelerträgen mit welcher Häufigkeit und Dichte, über welchen Gesamtzeitraum mit welcher Wahrscheinlichkeit erwarten und unter Inkaufnahme welcher Opportunitätskosten und welcher Risiken (z. B. bildungs-, gesundheitsbezogen)?“

Neben der Schwierigkeit, die Grenzerträge zu bestimmen bzw. gegeneinander abzugrenzen und/oder in Relation zueinander zu setzen, besteht eine weitere Problematik darin, dass sich Potentiale bzw. Güter in ihrem zeitlichen Verlauf so-



wohl kurz- als auch langfristig überlagern bzw. neutralisieren und/oder verstärken können. Letztendlich sind eine operationale Abgrenzung und exakte Messung mit großen Schwierigkeiten verbunden. Je komplexer und umfangreicher die Handlung, desto schwieriger die exakte Bestimmung der einzelnen Potentiale im Grenzertrag. So ist beispielsweise die Grenzertragsbestimmung von hochgradig ausdauerdeterminierten Sportarten und Disziplinen durch die maximale Sauerstoffaufnahme leichter zu analysieren als z. B. komplexe Mannschafts- und Sportsportarten mit hochgradig variablen Determinanten der Leistung bzw. Leistungsfähigkeit.

### **Erste empirische Anhaltspunkte für die Ermittlung von Grenzerträgen in der Trainingswissenschaft am Beispiel olympischer Triathlon**

In der olympischen Sportart Triathlon setzt sich das Endergebnis, d. h. die Endzeit, additiv aus den Zeiten für die Disziplinen Schwimmen (1500 m), Radfahren (40 km), und Laufen (10 km), einschließlich der Wechsel, zusammen. Dabei ist es das Ziel, den Zeitverbrauch für alle Disziplinen zu minimieren. Es gewinnt derjenige, welcher als erster das Wasser verlässt, die schnellsten Wechsel realisiert, die Raddistanz in kürzester Zeit bewältigt und zum Schluss die schnellste Laufzeit bewältigt. Realtypisch dürfte diese Person in der Praxis nicht vorzufinden sein, vielmehr werden Stärken und Schwächen in den einzelnen Disziplinen sowie taktische Handlungsalternativen über den Sieg entscheiden. Somit müssen die Sportler unter „Grenzertragsüberlegungen“ trainieren und im Wettkampf handeln, um ihre Leistung im Schwimmen, Radfahren und Laufen in der individuellen Gesamtleistung möglichst optimal zu realisieren (vgl. VLECK, BRÜGI & BENTLEY, 2006). Durch die Einführung neuer Regelwerke (z. B. Aufhebung der Windschattenregel beim Radfahren, Prämiensystem für Zwischentappen) wurde die Trainings- und Wettkampfstruktur dahingehend geändert, dass nicht der beste Generalist, sondern der beste Spezialist in der Summe gewinnt. So sind die Disziplinen Schwimmen und Radfahren nur noch sogenannte Voraussetzungs- oder Zubringerleistungen (Minimalanforderungen müssen realisiert werden, z. B. erste oder zweite Schwimmgruppe und dann in der Regel erste oder zweite Radgruppe) für die abschließende Laufleistung, der eine Sieg entscheidende Funktion zukommt (PFÜTZNER, 1999; VLECK, BRÜGI & BENTLEY, 2006). Die nachfolgende Abb. 2 verweist auf diesen Zusammenhang (die Ergebnisse der WM 2003 und 2004 zeigen eine ähnliche Charakteristik; vgl. FRÖHLICH, 2007).

Wie in Tab. 1 dargestellt, korreliert der Rangplatz im Laufen am höchsten mit dem Gesamtrangplatz. Der Rangplatz im Schwimmen steht in keinem signifikanten Zusammenhang mit dem Endergebnis, Schwimmen und Radfahren korrelieren sogar negativ.

Die mittleren Zeiten<sup>16</sup> ( $N = 55$ ) für die drei Disziplinen betragen bei der WM 2005: Schwimmen:  $19:15 \pm 0:27$  min, Radfahren:  $59:07 \pm 1:14$  min und Laufen:  $34:40 \pm 2:02$  min, entsprechend 17,01 %, 52,46 % und 30,52 % der Wettkampfzeit. Der Ge-

<sup>16</sup> Die mittleren Zeiten der Disziplin entsprechen nicht der reinen Disziplinzeit, sondern sind durch die Wechselmodalitäten bestimmt. Da diese jedoch für alle Teilnehmer als mehr oder weniger konstant angenommen werden, haben sie keinen Einfluss auf die eigentliche Berechnung; es handelt sich um einen systematischen Messfehler.

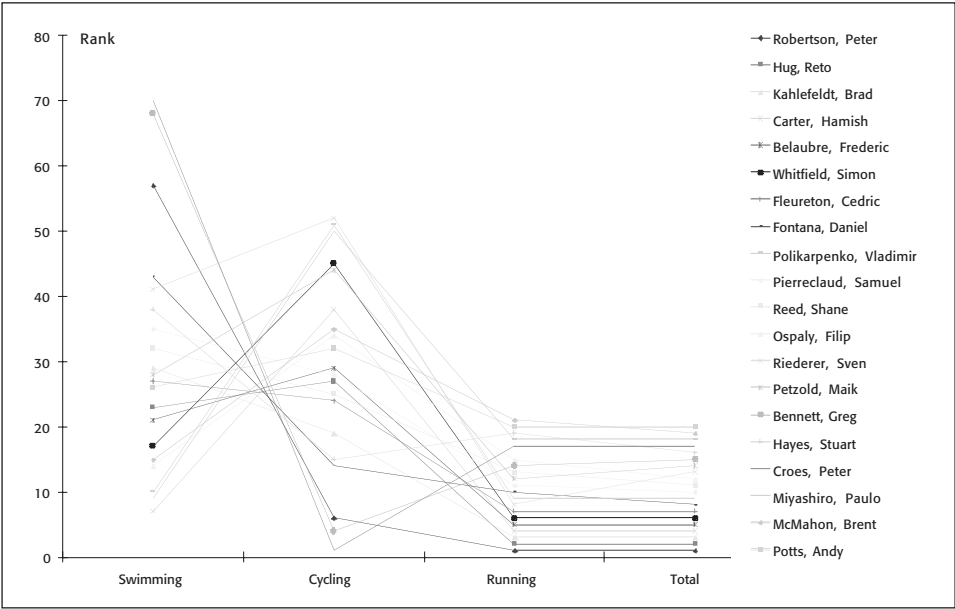


Abb. 2: Rangplatz nach den Disziplinen Schwimmen, Radfahren und Laufen sowie Gesamtrangplatz der ersten 20 Männer der WM im Triathlon 2005 in Japan

Tab. 1: Zusammenhang der Platzierung in den einzelnen Disziplinen mit dem Gesamtrangplatz (WM in Japan 2005 Männer Elite)

|                         | N  | R     | t(N-2) | p-level |
|-------------------------|----|-------|--------|---------|
| Total und Schwimmen     | 55 | 0,04  | 0,30   | 0,7624  |
| Total und Radfahren     | 55 | 0,36  | 2,81   | 0,0070  |
| Total und Laufen        | 55 | 0,96  | 24,23  | 0,0000  |
| Schwimmen und Laufen    | 55 | -0,04 | -0,31  | 0,7549  |
| Schwimmen und Radfahren | 55 | -0,57 | -5,05  | 0,0000  |
| Radfahren und Laufen    | 55 | 0,27  | 2,05   | 0,0451  |

winner Peter Robertson benötigte 19:30 min, 58:27 min und 31:35 min für die drei Disziplinen, was einer unterdurchschnittlichen Schwimm-, einer überdurchschnittlichen Rad- und einer ausgesprochen überdurchschnittlichen Laufleistung entspricht (vgl. Abb. 2). Unter Grenzertragsbetrachtungen müsste somit der Schwerpunkt des Trainings bzw. der Talentauswahlkriterien im neuen veränderten olympischen Triathlon in Richtung Laufleistung<sup>17</sup> ausgerichtet werden (vgl. BRÜGI, 2004; FRÖHLICH, 2007; PFÜTZNER, 1999). VLECK et al. (2006, S. 47) unterstreichen die-

<sup>17</sup> Durch das Streichen der „Drafting-Regel“ wurde Windschattenfahren erlaubt und die Struktur des olympischen Wettbewerbes dadurch geändert. Durch selektive und profilierte Radstrecken versucht man das Radfahren wieder mehr zu gewichten. Untersuchungsergebnisse von BRÜGI (2004, S. 45) zeigen, dass die Schwimmleistung und die Laufleistung die Gesamtplatzierung in Drafting-Rennen maßgeblich beeinflussen, wobei

se Sichtweise mit dem folgenden Zitat: „The results of this study indicate that performance level in swimming and running may be more important for overall elite triathlon performance than performance level in cycling. These results have implications for the race tactics of triathletes who compete in ITU elite events, as well for training specificity in swimming, cycling, and running as well as modelling of triathlon in laboratory simulations.“ Weiterhin ist weniger die absolute Platzierung in den einzelnen Disziplinen entscheidend, sondern vielmehr der Grenzertrag, den jede einzelne Disziplin zur Verbesserung des Gesamtertrages<sup>18</sup> leistet.

## **Modellannahme zum Zusammenhang von aktueller Funktions- und Anpassungskapazität**

MARTIN, CARL und LEHNERTZ (1993, S. 95 f.) entwickelten, aufbauend auf den Überlegungen von VERCHOSHANSKIJ und VIRU (1990) sowie MADER (1990) ein Modell für die These, dass Ausprägungen von Anpassungen weder kurz- noch langfristig unendlich fortsetzbar sind. MARTIN et al. (1993, S. 95 f.) schließen aus diesen Annahmen, dass die gesamte Anpassungskapazität des Organismus eine individuelle Grenze hat, welche genetisch bestimmt ist (vgl. HOHMANN et al., 2002, S. 153). MADER (1990, S. 55) bezeichnete diese individuelle Grenze der ausschöpfbaren Kapazität als Anpassungsreserve. Unabhängig von dieser individuellen Anpassungsreserve gibt es zu jedem Zeitpunkt eine bestimmte aktuelle Funktionskapazität. Diese bestimmt das aktuelle Leistungsniveau und spiegelt die bisherigen Anpassungsprozesse, z. B. Trainingseffekte, wider. Aktuelle Funktionskapazität und Anpassungsreserve zusammen bilden die maximale Funktionskapazität (vgl. Abb. 3).

Die Belastungsanforderungen (Trainingsbelastungen) sind nach diesem Modell dann optimal, wenn die aktuelle Funktionsreserve bis in die Nähe der aktuellen Funktionskapazität beansprucht wurde (MARTIN et al., 1993, S. 95). Resultiert aus den Belastungsanforderungen und der aktuellen Funktionskapazität ein negativer Grenzertrag oder wird sogar die aktuelle Funktionskapazität überschritten (Kulminationspunkt wird überschritten), so wird in der Regel der Trainings- bzw. Anpassungseffekt kleiner ausfallen und/oder sogar Schädigung/Verletzung eintreten. Diese Sichtweise zur Begründung von Übertraining und/oder Verletzung wurde bisher bei der Modellüberlegung zur Anpassungskapazität nicht berücksichtigt und stellt daher eine Erweiterung dar. HOHMANN et al. (2002, S. 154) unterscheiden dabei zwei unterschiedliche Wirkmechanismen:

1. Beim jüngeren oder leistungsschwächeren Sportler besteht einerseits die Gefahr, dass über einen längeren Zeitraum die aktuelle Funktionskapazität überschritten wird. Andererseits kann durch einen zu frühen Einsatz hochspezi-

die individuelle Radleistung eine wichtige Transferfunktion hat, die es möglichst ökonomisch zu bewältigen gilt.

<sup>18</sup> Die Spezifikation des ökonomischen Modells könnte in der olympischen Sportart Triathlon wie folgt aussehen: Protokollierung, Strukturierung und inhaltliche Analyse der verschiedenen Trainingsinhalte und Trainingsbelastungen in den einzelnen Disziplinen. Sodann Berechnung des Leistungsertrages der einzelnen Disziplin als Beitrag für den Gesamtertrag.

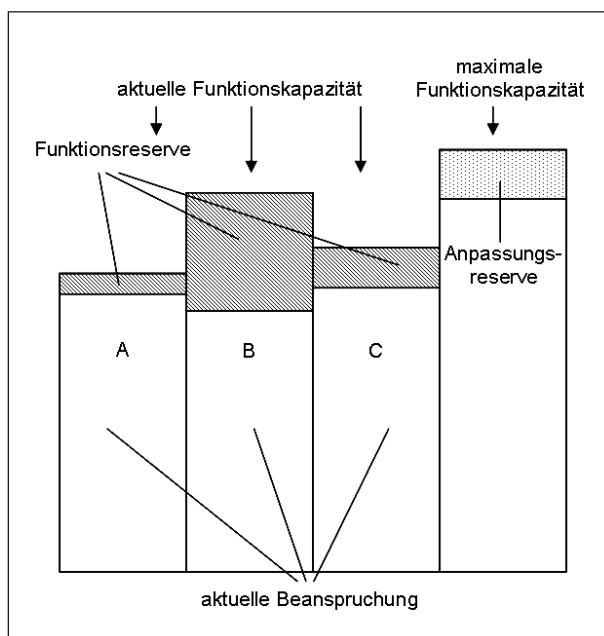


Abb. 3: Schematische Darstellung des Zusammenhangs von aktueller Funktionskapazität A, B und C der Funktionsreserve als Differenz von Funktionskapazität und aktueller Beanspruchung und der maximalen Funktionskapazität mit der Anpassungsreserve (modifiziert nach MARTIN et al., 1993, S. 96)

fischer Trainingsübungen die Adaptationsreserve vorschnell aufgebraucht werden.

2. Beim Hochleistungstraining liegt die Problematik darin, dass am Limit der Adaptationskapazität immer wieder neue trainingswirksame Reize gesetzt werden müssen.

Wie aus Abb. 3 ersichtlich, besteht die Schwierigkeit in dieser Modellannahme einerseits darin, dass z. B. Trainingsbelastungen eine unterschiedliche Beanspruchung in der Funktionskapazität bewirken und andererseits die Funktionsreserve nicht direkt abzuschätzen ist (zu weiteren Modellannahmen in der Trainingswissenschaft vgl. PERL et al., 2002). Zu den Erläuterungen dieser Modellannahme wird auf MARTIN et al. (1993, S. 95 ff.) verwiesen.

## **Verknüpfung ökonomischer Prinzipien mit trainingsmethodischen Implikationen**

Betrachtet man die Grenzertragsüberlegungen der Ökonomik sowie die modelltheoretischen Annahmen zur Funktionsreserve und Funktionskapazität der Trainingswissenschaft und Sportmedizin, so wird augenscheinlich, dass beide theoretischen Zugänge Parallelen aufweisen und Gemeinsamkeiten abbilden, der ökonomische Ansatz jedoch in der Extension weiter geht. Ausgangspunkt beider Annah-

men ist die aktuelle „Situation“, ausgedrückt als Potential oder als aktuelle Funktionskapazität zum Zeitpunkt  $t_1$ . Da Potentiale prinzipiell Erträge abwerfen und somit Nutzen stiften können und zur aktuellen Funktionskapazität noch die Funktionsreserve hinzuzurechnen ist, kann unter dem Einfluss zusätzlicher Ressourcen oder durch die Ausschöpfung der Funktionsreserve über eine bestimmte Zeitdauer ein höheres Potential oder eine höhere Funktionskapazität zum Zeitpunkt  $t_2$  erzielt werden. Dieser Vorgang ist über die Zeit mehrfach wiederholbar, woraus jeweils idealtypisch ein höheres Potential oder eine höhere Funktionskapazität resultieren. Im Gegensatz zur Modellannahme der Superkompensation ist dieser Ansatz jedoch nicht linear und unendlich steigerbar. Da die Ertragszunahme des Potentials auch bei weiterem Ressourceneinsatz abnehmen wird und die Funktionsreserve sich bis auf eine autonome Funktionsreserve<sup>19</sup> reduziert, wird der Grenzertrag über die Zeit geringer. Ab einem bestimmten Punkt ist die Zunahme des Grenzertrags dann so gering, dass keine weiteren Anpassungseffekte auf Seiten des Potentials oder der Funktionskapazität mehr zu erwarten sind. Das bedeutet, dass der Grenzertrag des Potentials gegen Null tendiert (asymptotischer Verlauf) bzw. die aktuelle Funktionskapazität die maximale Funktionskapazität erreicht hat. Weitere Steigerungen und zusätzlicher Ressourceneinsatz führen dann zu keiner oder sogar zu einer negativen Anpassung mit zum Teil irreversiblen Effekten. MADER (1990, S. 55) stellt auf der Proteinebene hierzu fest, „daß das System im Bereich der negativen Anpassung näher an der maximalen funktionellen Leistungsfähigkeit arbeitet und die verbleibende Funktionsreserve gegenüber dem Bereich aktiver Belastungsanpassung verringert ist oder im ungünstigsten Fall auch gleich Null werden kann.“

Beide Ansätze verfolgen das Ziel, einerseits die Potentiale und die aktuellen Funktionskapazitäten maximal zu steigern und andererseits die Differenz im Grenzertrag möglichst auf ein Minimum zu reduzieren und dies unter Effizienzaspekten. Bei zusätzlichen weiteren Potentialen mit eigenem Ressourceneinsatz oder weiteren Systemen von Funktionskapazitäten, d. h. sowohl bei *konvergenten* als auch *divergenten* Bezugssystemen, sollten die Potentiale bzw. die einzelnen Funktionskapazitäten nicht maximal, sondern *optimal* ausgeprägt werden, das bedeutet, dass im Optimum alle Grenzerträge gleich sind. Generell besteht jedoch die Schwierigkeit darin, dass die Differenzen in den Grenzerträgen bzw. die maximale Funktionskapazität, d. h. unter anderem das Überschreiten des Kulminationspunktes, erst retrospektiv festgestellt werden können. Dies bedingt, dass in der Praxis variable und kreative Lösungsmuster nach dem Trial und Error Prinzip gesucht werden müssen. Durch die Betrachtung von Grenzerträgen hätte man jedoch auf der aggregierten Datenebene ein Modell, welches einen Korridor aufzeigt, innerhalb dessen Potentiale auszuschöpfen sind (vgl. FRÖHLICH, SCHMIDTBLEICHER & EMRICH, i. Dr.), aber auch Hinweise auf die Kosten, mit denen notwendigerweise Erträge verbunden sind. Weiterhin scheint die Betrachtung von einzelnen und verbundenen Erträgen gerade für die Trainingswissenschaft evident.

<sup>19</sup> Die autonome Funktionsreserve ist hierbei als ein Konstrukt aufzufassen, welches für die Aufrechterhaltung funktionsspezifischer lebenserhaltender Systeme notwendig erscheint. Eine Bestätigung der autonomen Funktionsreserve auf Zellebene steht noch aus.

## Ausblick

Die zur Diskussion gestellten Überlegungen sollten weitergeführt werden, da sie aus Sicht der Autoren eine interessante Perspektive für die Trainingswissenschaft darstellen. Eine exakte Formalisierung der individuellen Rahmenbedingungen sowie zu erwartender Erträge (Wahrscheinlichkeitsaussagen), beispielsweise durch Angabe von Effektstärken durch Trainingsinterventionen, wäre als weiterer Schritt zu unternehmen. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass zwischen individualistischer und kollektivistischer Sichtweise zu unterscheiden ist und nur durch geschickte methodische und methodologische Verknüpfung beider Ansätze die Trainingswissenschaft insgesamt profitieren dürfte. Es geht somit um individuelles Entscheidungsverhalten bezüglich der für Training oder andere Bereiche eingesetzten Ressourcen unter Berücksichtigung des entgangenen Nutzens nicht gewählter Möglichkeiten und um die intendierten und nicht intendierten kollektiven Effekte individueller Entscheidungen z. B. im Wettbewerbssystem. Deutlich wurde, dass es sich bei der Übertragung von nutzentheoretischen Überlegungen der Ökonomik in die Trainingswissenschaft keineswegs um eine tautologische Transformation handelt. Das heißt, es werden nicht nur verschiedene Nomen dem gleichen Gegenstand zugeordnet, sondern es bestehen zwischen den in den Modellen verwandten Begriffen durchaus trotz aller Schnittmengen in der Extension auch Differenzen. So ist die Vorstellung des abnehmenden Grenznutzens bzw. des negativen Ertrages beim Überschreiten des Kulminationspunktes im Modell der Ökonomik wiederum so bisher nicht in der Trainingswissenschaft explizit verdeutlicht worden.

Letztendlich könnte die ökonomische Methode der Grenzertragsbetrachtung im Sinne einer Rahmentheorie für die Sportwissenschaft, explizit für die Trainingswissenschaft, nutzbringende Erkenntnisse liefern, da sie im POPPER'schen Sinne eine größere Reichweite besitzt als z. B. die Superkompensationstheorie. PERL et al. (2002, S. 109) sehen beispielsweise in den Basiswissenschaften – hier der Ökonomik – die einzigen Lieferanten eines theoretischen Wissenstransfers. Das aufgezeigte Forschungsfeld wäre in weiteren Beiträgen und auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen empirisch zu prüfen, gegeneinander abzugrenzen und inhaltlich auszubauen. Hierzu sind weitere Studien, z. B. Trainingsinterventionen im Sinne von rationalen Kosten-Nutzen-Überlegungen, durchzuführen.

## Literatur

- AURACHER, M. (2006). *Die Effektivität präventiver Ausdauerprogramme: Eine kontrollierte Längsschnittstudie zur Problematik der „Weekend Warrior“ und der Intensitätswahl*. Dissertation, Universität des Saarlandes: Saarbrücken.
- BECKER, G. S. (1993). *Ökonomische Erklärung menschlichen Verhaltens*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- BRÜGI, A. (2004). Die Wettkampfanalyse als leistungsdiagnostisches Verfahren zur Einschätzung der internationalen Entwicklungstendenzen, der individuellen Leistungsentwicklung und der Wirksamkeit des Trainings – am Beispiel des Triathlons in Lausanne vom 31. 8. 2002. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 11 (1), 35–46.



- BÜCH, M.-P. (1976). *Zur Bestimmung der Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und der Sparsamkeit im öffentlichen Haushalt der Bundesrepublik Deutschland* (Schriftenreihe Annales Universitatis Saraviensis, Bd. 85). Köln u. a.: Heymann.
- BÜCH, M.-P. (2005). Entwicklung von Potentialen für Sporteliten. Überlegungen zu einer Theorie des Talents. In E. EMRICH, A. GÜLLICH & M.-P. BÜCH (Hrsg.), *Beiträge zum Nachwuchsleistungssport* (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 113, S. 349–369). Schorndorf: Hofmann.
- BÜCH, M.-P., MAENNIG, W. & SCHULKE, H.-J. (Hrsg.). (2004). *Sport im Fernsehen – zwischen gesellschaftlichem Anliegen und ökonomischen Interessen*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- EBERS, M. & GOTSCH, W. (2002). Institutionenökonomische Theorien der Organisation. In A. Kieser (Hrsg.), *Organisationstheorien* (S. 199–251). Stuttgart: Kohlhammer.
- EMRICH, E. & GÜLLICH, A. (2005). Zur „Produktion“ sportlichen Erfolges. *Organisationsstrukturen, Förderbedingungen und Planungsannahmen in kritischer Analyse*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- EMRICH, E., FRÖHLICH, M., KLEIN, M. & PITSCH, W. (i. Dr.). Eliteschulen des Sports – erste Ergebnisse einer Pilotstudie. *Zeitschrift für Evaluation* (erscheint in Heft 2/2007).
- EMRICH, E., GÜLLICH, A. & PITSCH, W. (2005). Zur Evaluation des Systems der Nachwuchsförderung im deutschen Leistungssport. In E. EMRICH, A. GÜLLICH & M.-P. BÜCH (Hrsg.), *Beiträge zum Nachwuchsleistungssport* (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 113, S. 75–138). Schorndorf: Hofmann.
- FAUDE, O. (2006). *Regeneration im leistungssportlichen Training. Zur Wirkung verschiedener regenerativer Maßnahmen während und nach intensiven Trainingsphasen im Radsport*. Dissertation, Universität des Saarlandes: Saarbrücken.
- FREY, B. S. (1990). *Ökonomie ist Sozialwissenschaft. Die Anwendung der Ökonomie auf neue Gebiete*. München: Vahlen.
- FRÖHLICH, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269–291.
- FRÖHLICH, M. (2007). Ökonomische Betrachtungen zur Leistungsstruktur des olympischen Triathlons. *Abstractband des 2. Symposiums Sektion Trainingswissenschaft zum Thema „Wettkampf“*. Bayreuth: Eigenverlag.
- FRÖHLICH, M., SCHMIDTBLEICHER, D. & EMRICH, E. (i. Dr.). Vergleich zwischen 2 und 3 Krafttrainingseinheiten pro Woche – ein metaanalytischer Zugang. *Spectrum der Sportwissenschaften* (erscheint in Heft 2/2007).
- HOHMANN, A., LAMES, M. & LETZELTER, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- KIRCHGÄSSNER, G. (2000). *Homo Oeconomicus. Das ökonomische Modell individuellen Verhaltens und seine Anwendung in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- MADER, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (2), 40–58.
- MAENNIG, W. (1998). Möglichkeiten und Grenzen von Kosten-Nutzen-Analysen im Sport. *Sportwissenschaft*, 28 (3/4), 311–327.
- MAENNIG, W. (2002). From the Mature Athlete to the Homo Sportivus Oeconomicus. In M. KRÜGER (Hrsg.), *Menschenbilder im Sport* (S. 174–193). Schorndorf: Hofmann.
- MARTIN, D., CARL, K. & LEHNERTZ, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- MEEUSEN, R., DUCLOS, M., GLEESON, M., RIETJENS, G., STEINACKER, J. & URHAUSEN, A. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *European Journal of Sport Science*, 6 (1), 1–14.

- MENGER, C. (1871). *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre. Erster allgemeiner Teil*. Wien: Wilhelm Braumüller. PDF-Version von Grasruck, G. Zugriff am 10. Mai 2006 unter „www.mises.de“.
- MESSING, M. & LAMES, M. (1991). Die komplexe sportliche Leistung aus systemtheoretischer Sicht. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 32 (1), 69–89.
- PATRY, J.-L. & PERREZ, M. (1982). Entstehungs-, Erklärungs- und Anwendungszusammenhang technologischer Regeln. In J.-L. PATRY (Hrsg.), *Feldforschung. Methoden und Probleme sozialwissenschaftlicher Forschung unter natürlichen Bedingungen* (S. 389–412). Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber.
- PERL, J., LAMES, M. & GLITSCH, U. (2002). *Modellbildung in der Sportwissenschaft* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 132). Schorndorf: Hofmann.
- PFÜTZNER, A. (1999). Weltstandsanalysen im Triathlon – Voraussetzungen für einen optimalen Trainingsprozess. *Triathlon & Duathlon*, (1), 68–72.
- POPPER, K. (1975). *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde*. 2. Bd., 4. Auflage. München: dtv.
- POPPER, K. (2000 [1963]). *Vermutung und Widerlegung*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- POPPER, K. (2002 [1934]). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- SCHNEIDER, E. (1969). *Einführung in die Wirtschaftstheorie. I. Teil: Theorie des Wirtschaftskreislaufs*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- SEIFFERT, H. (1996). *Einführung in die Wissenschaftstheorie 1*. München: Verlag C. H. Beck.
- VON THÜNEN, J. H. (1966 [1875]). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Hrsg. W. Braeuer, E. u. E. A. Gerhard. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- TURGOT, A. R. J. (1990 [1769/70]). *Réflexion sur la formation et la distribution des richesses*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- VERCHOSHANSKIJ, J. & VIRU, A. (1990). Einige Gesetzmäßigkeiten der langfristigen Adaptation des Organismus von Sportlern an körperliche Belastungen. *Leistungssport*, 20 (3), 10–13.
- VLECK, V. E., BRÜGI, A. & BENTLEY, D. J. (2006). The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite olympic distance triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 43–48.
- WEBER, W., SCHNIEDER, C., KORTLÜKE, N. & HORAK, B. (1995). *Die wirtschaftliche Bedeutung des Sports* (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 81). Schorndorf: Hofmann.
- WOLL, A. (1993). *Allgemeine Volkswirtschaftslehre*. München: Verlag Vahlen.
- ZIMBARDO, P. G. & GERRIG, R. J. (1999). *Psychologie*. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer.



## Beitrag III

Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269-291.



---

MICHAEL FRÖHLICH

*Universität Saarbrücken,*

*Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes*

## **Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings**

Eine metaanalytische Betrachtung

### **Einleitung und Problemidentifikation**

Krafttraining, eine der populärsten Körperübungsformen, dient einerseits der muskulären Fitness und Gesundheit (ACSM, 2002; FEIGENBAUM & POLLOCK, 1999) und ist andererseits elementarer Bestandteil eines zielorientierten Trainings in nahezu allen Sportarten und Disziplinen (KRAEMER & HÄKKINEN, 2002). Zur Initiierung entsprechender Adaptationen sowie zur methodischen Trainingsgestaltung werden in der Regel die Belastungsnormativa Intensität, Trainingshäufigkeit, Anzahl der Serien und die intra- und interserielle Pausendauer angegeben. Während die Trainingshäufigkeit (CARROLL et al., 1998; WIRTH & SCHMIDTBLEICHER, 2002), die Belastungsintensität (FLECK & KRAEMER, 1997; ZATSIORSKY, 1995) und die intra- und interserielle Pausenzeit (ROBINSON et al., 1995) intensiv untersucht sind, besteht bez. der Anzahl an Serien im Krafttraining noch empirischer Forschungsbedarf (PHILIPP, 1999b; STONE et al., 1998). Bezug nehmend auf die in der Zeitschrift *Leistungssport* begonnene Diskussion zur „optimalen“ Serienanzahl, explizit zum Einsatz- bzw. Mehrsatz-Training (GIERING, 2000; HEIDUK, PREUSS & STEINHÖFER, 2002; PHILIPP, 1999a; 1999b; SCHLUMBERGER & SCHMIDTBLEICHER, 1999), versucht dieser Beitrag, erstens, die emotional geführte Diskussion mit Hilfe empirischer Daten zu versachlichen, zweitens, mögliche Lösungswege aufzuzeigen und drittens, auf Fallstricke und methodische Unzulänglichkeiten von Primär- und Sekundärstudien hinzuweisen.

### **Theoretischer Hintergrund**

In der vom Bundesverband Leistungssport des Deutschen Sportbundes herausgegebenen Zeitschrift *Leistungssport* erschienen über einen Zeitraum von drei Jahren (1999–2002) diverse Beiträge, welche sich unter pragmatischen, muskelphysiologischen und trainingsmethodischen Aspekten mit den Möglichkeiten und Grenzen des Einsatz- und Mehrsatz-Trainings beschäftigten. Diese Debatte wurde in Teilen sehr kontrovers und teilweise auch sehr emotional geführt (vgl. SZUBSKI, 1999). Darüber hinaus wurde im anglo-amerikanischen Bereich, speziell in der Zeitschrift *Journal of Strength and Conditioning Research*, mit einer Vielzahl empirischer Studien auf die auch dort kontrovers geführte Diskussion aufmerksam gemacht (vgl.

PETERSON, RHEA & ALVAR, 2004; RHEA et al., 2003; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004). Der Ausgangspunkt der Diskussion zielt auf die Behauptung ab, dass ein Einsatz-Training als gleichwertige Alternative zum Training mit mehreren Sätzen anzusehen sei und sich in der *Effektivität* nicht von einem Mehrsatz-Training unterscheide, diesem sogar überlegen scheint (vgl. BROWN, 1999; CARPINELLI, 2002; FEIGENBAUM & POLLOCK, 1999; PHILIPP, 1999 a). CARPINELLI (2002, S. 323) schreibt hierzu: „The genesis of the belief that multiple sets of each exercise are superior to a single set for maximal strength gains is one very poorly controlled 40 year old strength training study by Berger. The evidence to support the performance of multiple sets is extremely weak. Most of the evidence suggests that single and multiple sets produce similar increases in strength“. FEIGENBAUM und POLLOCK (1999, S. 38) stellen, neben der Vergleichbarkeit des Einsatz- und des Mehrsatz-Trainings bez. des Nutzens für Fitness und Gesundheit, die Zeitersparnis des Einsatz-Trainings für andere Trainingsinhalte heraus: „Single set programs are less time consuming and more cost efficient, which generally translates into improved program compliance. Further, single set programs are recommended for the above-mentioned populations because they produce most of the health and fitness benefits of multiple set programs“. Durch die hypothetische *Zeitersparnis*<sup>1</sup> eines Einsatz-Trainings würde sich somit eine *Überlegenheit* desselbigen zeigen (KIESER, 1998, S. 28).

Bevor versucht wird, auf empirischer Datenbasis die Sachlage zu ergründen, sei auf einige methodische und methodologische Aspekte in der Argumentationskette Bezug genommen: Effektivität (Wirksamkeit) als das Verhältnis von erreichtem Ziel zu definiertem Ziel (Grad der Zielerreichung) kann nur bedingt ein Kriterium für den Vergleich eines Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings sein, da die Wirksamkeit eines Einsatz-Trainings zumindest im Gesundheits- und Freizeitsport (Fitnessstraining) nicht zur Disposition steht (vgl. SCHLUMBERGER & SCHMIDTBLEICHER, 1999, S. 10). Vielmehr muss das Kriterium der Effizienz, d. h. der Aufwand zur Zielerreichung und somit letztendlich die *Kosten* (Opportunitätskosten), die dadurch entstanden sind, dass mögliche Alternativen nicht wahrgenommen wurden, herangezogen werden. Diese Frage lässt sich jedoch nur im Trainingshandeln in Abhängigkeit unterschiedlicher Prioritäten, individueller Präferenzen und kollektiver Rahmenbedingungen beantworten. Darüber hinaus bedarf das Kriterium der Überlegenheit, welches als quantitatives Maß herangezogen wird, einer ausdrücklichen Operationalisierung hin zu einer Zielvariablen. Dies tangiert die Frage nach den abhängigen Variablen. Auf die Thematik bezogen wäre zu untersuchen, inwieweit ein Einsatz- vs. Mehrsatz-Training zu größeren Zuwächsen der Maximalkraft, der Kraftausdauer, des Muskelquerschnittes, der hormonellen Auslenkung etc. führt bzw. führen soll. Somit lässt sich auch dieser hypothetische Aspekt der Zeitersparnis ebenfalls nur individuell, strukturell und trainingsmethodisch und somit im Endeffekt doch nur normativ beantworten.

<sup>1</sup> „Mehr als eine Serie auszuführen ist nicht notwendig. Dem Sportler bleibt damit mehr Zeit und Energie zur Entwicklung seiner koordinativen und technischen Fähigkeiten“ (KIESER, 1998, S. 51).

## Definitorische Abgrenzung, inhaltliche Merkmalsbeschreibung und Forschungsfrage

Auf die definitorisch-inhaltliche Inkonsistenz der Begrifflichkeiten Einsatz- und Mehrsatz-Training wurde bereits von GIERING et al. (2005, S. 9f.) hingewiesen. Lösungsvorschläge sowie methodische Alternativen zur inhaltlichen Klärung wurden von HEIDUK, PREUSS und STEINHÖFER (2002) sowie von GIERING et al. (2005) unterbreitet. Aus der Abb. 1 kann die Verortung des Einsatz-Trainings als einer Form des Low Volume Trainings (LVT) neben dem High Intensity Training (HIT) im Gegensatz zum Mehrsatz-Training als so genanntem High Volume Training (HVT) entnommen werden.

Konstatierend muss zum derzeitigen Kenntnisstand angemerkt werden, dass sowohl das Einsatz-Training als auch das Mehrsatz-Training einer inhaltlichen Präzisierung bedürfen. Explizit wird somit die Frage nach der Anzahl der Übungen pro Muskelgruppe, die Belastungsintensität im Sinne der Belastungsabbruchkriterien (vgl. GIERING, PREUSS & FRÖHLICH, 2005, S. 81 ff.) und die Bewegungsgeschwindigkeit im Sinne der muskulären Anspannungszeit (time under tension) angesprochen (GIERING et al., 2005, S. 11). Des Weiteren müssen bei einem Vergleich zwischen Einsatz- und Mehrsatz-Training die Dauer der Studie, die Art der verwendeten Übungen (kleine bzw. große Muskelgruppen), der Trainingszustand der Probanden (trainiert vs. untrainiert), das Geschlecht der Probanden, die Art bzw. Spezifik der Messmethodik, die Verwendung von Periodisierungsstrategien und der Transfer der Trainingseffekte beachtet werden (vgl. BROWN, 1999, S. 17; KEMMLER et al., 2004, S. 689). STONE et al. (1998, S. 22) verdichten diesen Sachverhalt mit den folgenden Worten: „One set or more, is there a difference? To answer this question, we must know the trainee's goal“.

Im Weiteren wird auf folgende Definition des Einsatz- bzw. Mehrsatz-Trainings recurriert: Unter einem Einsatz-Training soll verstanden werden: „One set per exercise is performed which includes the possibility of performing more than one

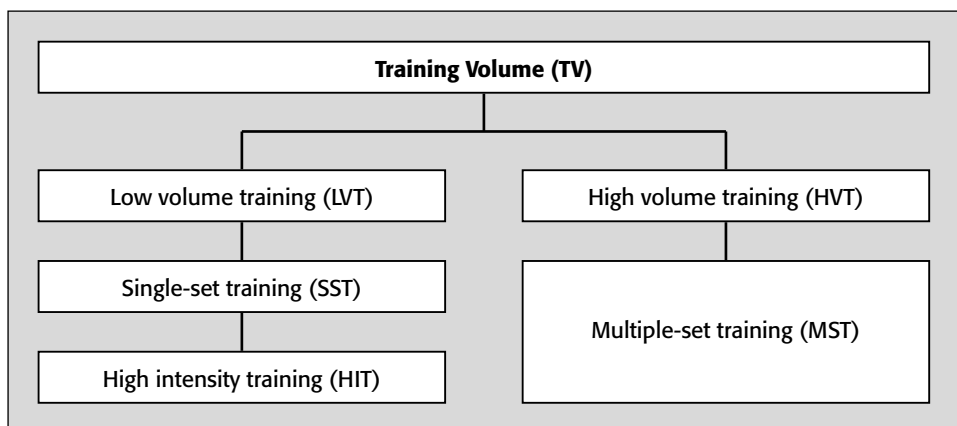


Abb. 1: Unterteilung der Trainingsformen anhand des Trainingsvolumens (in Anlehnung an HEIDUK, PREUSS & STEINHÖFER, 2002, S. 5; in GIERING et al., 2005, S. 11)

exercise per muscle group“. Das Mehrsatz-Training wird definiert als „two or more sets per exercise with a break of at least 30 seconds between two sets of the same exercise. One or more exercises per muscle group may be performed“ (GIERING et al., 2005, S. 17). Da speziell im Anglo-amerikanischen bereits eine Vielzahl an empirischen Studien zur Einsatz- vs. Mehrsatz-Problematik vorliegt (vgl. RHEA et al., 2002; 2003; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004), versucht der Beitrag die zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse und Handlungsempfehlungen zu verdichten und integrativ folgende Forschungsfragen anzugehen:

Unterscheidet sich die Effizienz eines Einsatz-Trainings von der eines Trainings mit mehreren Sätzen? Wenn ja, in welcher Richtung und in welcher Höhe? Inwieweit besitzt dieser Unterschied eine praktische Relevanz? Spielen Einflussfaktoren wie das Geschlecht, der Trainingszustand, die Studiendauer, die Verwendung von zusätzlichen Periodisierungsstrategien beim Mehrsatz-Training eine Rolle? Methodologisch erfolgte die empirische Datenaggregation bzw. quantitative Ergebnisintegration mit Hilfe metaanalytischer Verfahren (vgl. BEELMANN & BLIESENER, 1994).

## Methodik

### Aggregation der Primärbefunde

Die Datensammlung der Primärstudien erfolgte einerseits über die Verwendung entsprechender Datenbanken und Recherchesysteme wie SPOLIT, SPOFOR, SPO-MEDIA (Bundesinstitut für Sportwissenschaft), medline und medline alert (Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information), pubMed (National Library of Medicine), Medpilot (Deutsche Zentralbibliothek für Medizin) sowie über die Zentralbibliothek der Sportwissenschaften der Deutschen Sporthochschule Köln. Andererseits über Literaturhinweise bereits vorliegender Beiträge und Publikationen sowie über das Netzwerk AGEMST (ArbeitsGemeinschaft zum Ein- und Mehr-Satz-Training<sup>2</sup>). Die verwendeten Deskriptoren bzw. Schlagwörter waren: *Einsatztraining*, *Einsatz-Training*, *Mehrsatztraining*, *Mehrsatz-Training*, *single set*, *single-set*, *multiple set*, *multiple-set* in Kombination mit und ohne *training*.

### Codierung und Bewertung inhaltlicher und methodischer Studienmerkmale

Die Codierung der Primärstudien erfolgte nach einem a priori festgelegten, jedoch offenen Codiersystem (vgl. RUSTENBACH, 2003, S. 41 ff.). Beginnend mit deskriptiven Studieninformationen, folgten Aspekte der Test- und Trainingsmethodik, Hinweise zur Methodik und Bewertung der Primärstudie sowie ein Resümee der/des Autor(en)s (vgl. Tab. 1). Die Merkmalsbeschreibung der zu codierenden Variablen

<sup>2</sup> Der Autor möchte sich bei Herrn Andreas Greiwing und Herrn Peter Preuss für die freundliche Überlassung der Rohwerte und somit für die Grundlage zur Berechnung der ES recht herzlich bedanken. Im Beitrag werden die Begrifflichkeiten Serie und Satz synonym verwendet, wohl wissend, dass analytisch Unterschiede bestehen können.

Tab. 1: Codierschema und Studienmerkmale

| Codierschema                                             | Studienmerkmale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deskriptive Informationen                                | Autor(en), Jahr der Publikation, Art der Publikation, Name der Zeitschrift, wenn Zeitschriftenartikel dann Angabe von Peer Review und Impact Faktor, Sprache der Publikation, Studiendesign, Anzahl der Probanden, durchschnittliches Alter der Probanden, Geschlecht, weitere Probandenmerkmale                                                                        |
| Informationen zur Testung und zum Training               | Anzahl Testübung(en), Anzahl Trainingsübung(en), Angabe der verwendeten Übung(en), Angabe von Belastungsnormativa (Intensität, Volumen, Serienpause, Serienanzahl, Trainingshäufigkeit pro Woche, Trainingshäufigkeit insgesamt, Periodisierung, Studiendauer), Angabe der Testmethodik (1-RM, RM, PMF, PMF+, isometrische/isokinetische Fmax, anthropometrische Daten) |
| Informationen zur Methodik bzw. zur Bewertung der Studie | Benotung der Methodik, Benotung der Ergebnisse, Bewertung der internen, externen, statistischen Validität und Konstruktvalidität, Angabe von statistischen Prüfgrößen und -verfahren                                                                                                                                                                                    |
| Fazit der/des Autor(en)s                                 | Einschätzung der Ergebnisse durch den/die Autor(en)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

erfolgte sowohl qualitativ (z. B. Angabe der verwendeten Übungen, Studiendesign) als auch quantitativ (z. B. Trainingshäufigkeit, Studiendauer). Darüber hinaus unter substanziellen (z. B. relevante Merkmale der Untersuchungsgruppe), verzerrenden (z. B. Forschungsmethoden) und extrinsischen (z. B. Eingrenzung der Sprachen) Aspekten (vgl. RUSTENBACH, 2003, S. 41). Die interne und externe Validität der Primärstudie, die Konstruktvalidität sowie die statistische Validität wurden über eine Rating-Skala mit den Dimensionen „gering = 0“, „mittel = 1“ und „hoch = 2“ erhoben.

Primärstudien und deren Befunde

Insgesamt konnten 52 (siehe Anhang) Studien zur Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainingsproblematik gesichtet werden. Der Publikationszeitraum umfasste die letzten 20 Jahre, wobei der Schwerpunkt auf den letzten fünf bis sechs Jahren lag. Die Hauptpublikationsquelle lag mit 80,8% bei Zeitschriftenartikeln (N = 42). Beiträge in Herausgeberwerken (N = 3), Abstracts (N = 4) und Kolumnenartikel (N = 3) wurden weit weniger in die Primärstudienselektion aufgenommen. Die Publikationen wurden überwiegend in englischer Sprache (84,6%; N = 44) verfasst. 15,4% der Primärstudien wurden in deutscher Sprache publiziert. Kritisch muss angemerkt werden, dass Publikationen in anderen Sprachen nicht in die Primärstudienselektion aufgenommen wurden. Das Studiendesign bzw. die Versuchspläne der Primärstudien waren in der Rangfolge: Einzelfalluntersuchung (1,9%), Crossover-Design (5,8%), Metaanalyse (5,8%), Quasiexperimentelles Design (5,8%), Literaturübersichten/ Narrative Review (23,1%), randomisierte Studien ohne Kontrollgruppe (28,8%) und randomisierte Studien mit Kontrollgruppe (28,8%). Somit spiegeln die identifizierten Studien eine Vielzahl von Studiendesigntypen wider, wobei der Schwerpunkt auf den randomisierten Studien lag (vgl. MOHER, SCHULZ & ALTMAN, 2001).

## Statistische Auswertung und Kalkulation der Effektstärke

In die statistische Auswertung gingen die deskriptiven Beschreibungsgrößen wie Mittelwerte, Standardabweichungen, Häufigkeitsverteilungen, Konfidenzintervalle und Median ein. Die inferenzstatistische Berechnung auf signifikante Unterschiede erfolgte mit t-Test und ANOVA. Die Effektstärkeberechnung erfolgte bei abhängigen Stichproben (wenn nur die t-Werte, die Freiheitsgrade bzw. Stichprobengröße und das Signifikanzniveau vorlagen) über  $g = \frac{t}{\sqrt{N}}$  (vgl. RUSTENBACH, 2003, S. 95). Die Prä-Post Effektstärkeberechnung im Trainingsexperiment erfolgte, wenn keine Kontrollgruppe vorhanden war, über  $g_{\text{Hedges}} = \frac{\chi_1 - \chi_2}{s_{\text{gepoolt}}}$ , wobei  $s_{\text{gepoolt}}$  über folgende Formel berechnet wurde:

$$s_{\text{gepoolt}} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

Die Effektstärkeberechnung bei Studien mit Kontrollgruppe wurde über die Differenz der Mittelwerte der Experimentalgruppe und der Mittelwerte der Kontrollgruppe dividiert durch die Standardabweichung der Kontrollgruppe durchgeführt (vgl. WOLFE, LEMURA & COLE, 2004, S. 36).

## Methodenkritik

Im Rahmen metaanalytischer Betrachtungen werden oftmals Effektstärken von mehreren abhängigen Variablen (z. B. 1-RM, Kraftausdauer, Zunahme Muskeldicke, Abnahme Fettgehalt, hormonelle Auslenkung) gemittelt und als „Gesamteffektstärke“ verrechnet. WINETT (2004, S. 11) schreibt hierzu: „In a meta-analysis, for example, an overall mean for all the effect sizes from studies with multiple set protocols can be compared to an overall mean for all the effect sizes for single set protocols to determine if there is a statistically significant difference between them“. In die vorliegende Studie gingen nur die Effektstärken der Trainingsexperimente der abhängigen Variablen „Veränderung Maximalkraft“ ein. Daher erfolgte der Effizienzvergleich des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings nur über diese Variable. Diese Vorgehensweise wurde einerseits gewählt, da eine Operationalisierung der Kraftausdauer, der Muskeldicke, der Veränderung des Fettgehaltes, der kardiopulmonalen und metabolischen Beanspruchung etc. in den Primärstudien sehr unterschiedlich erfolgte und andererseits nur bedingt große Fallzahlen hätten erhoben werden können. Des Weiteren wurden nur Effektstärken bei Gruppentrainingsexperimenten berechnet. Generalisierungen über diesen Sachverhalt hinaus sind somit nicht statthaft.

## Operationalisierung der abhängigen Variablen „Veränderung Maximalkraft“

Die Veränderung der Maximalkraft erfolgte durch die Bestimmung des 1-RM, der isometrischen und/oder isokinetischen Maximalkraft bzw. als Differenz aus Post-Test zu Pre-Test in Absolut- oder Prozentwerten. Bezüglich der Problematik der Veränderungsmessung der Maximalkraft (Problem der Belastungsstrategie) sei auf GIERING et al. (2005) sowie FRÖHLICH und MARSCHALL (2001) verwiesen.

Ergebnisse

Insgesamt gingen 1934 Probanden in die Metaanalyse ein. Aufgrund einer Normalverteilungsverzerrung durch zwei Studien (621 und 220 Primärstudienteilnehmer) reduzierte sich die Probandenzahl der Primärstudien auf 1093. Das durchschnittliche Alter aller Probanden betrug  $27,2 \pm 12,1$  Jahre (Min = 8,5; Max = 66,9; Median = 22,3) (die zwei verzerrenden Studien gaben keine Altersangaben an). Die Teilnehmer an den Primärstudien waren insgesamt zu 46,2% männlich (N = 18 Studien), zu 17,9% weiblich (N = 7 Studien) und in 35,9% der Studien waren beide Geschlechter (N = 14 Studien) beteiligt. 59,5% der Primärstudien hatten trainierte Probanden (N = 22 Studien) und 40,5% der Primärstudien rekrutierten untrainierte Studienteilnehmer (N = 15).

Die Anzahl an Testübungen im reinen Krafttrainingsbereich, also ohne Bestimmung von z. B. Muskeldicke, hormonelle Auslenkung, betrug im Mittel  $2,5 \pm 1,6$  (Min = 1; Max = 8; Median = 2) Geräte bzw. Übungen. Das eigentliche Training wurde im Durchschnitt an  $7,3 \pm 5,2$  Geräten bzw. Übungen durchgeführt (Min = 1; Max = 24; Median = 7). Die maximal 24 unterschiedlichen Übungen bzw. verwendeten Geräte resultieren durch ein Split-Training an mehreren Tagen. Die meist verwendeten Übungen zur Testung als auch zur Trainingsdurchführung waren für die oberen Extremitäten das Bankdrücken, entweder frei oder an einer Maschine, und für die untere Region die Kniebeuge und das Beinpressen.

Ein direkter Vergleich des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings wurde in 51,9% (N = 27) der Primärstudien durchgeführt. In 48,1% (N = 25) der Primärstudien wurde zwar auf die Einsatz- vs. Mehrsatz-Problematik rekurriert, ein direkter statistischer Vergleich wurde jedoch nicht vorgenommen. Die nachfolgende Tab. 2 zeigt, inwieweit in den Primärstudien Angaben zur Trainingsmethodik enthalten waren. Keine Angaben zur Trainingsmethodik wurden in der Regel in den Literaturübersichten und Narrativen Reviews sowie in den Abstracts gemacht. Die Zeitschriftenbeiträge enthielten in der Mehrzahl trainingsmethodische Beschreibungsgrößen.

Die Belastungsintensität, wenn Angaben hierzu gemacht wurden, lag zwischen 40% und 90%, wobei in der Mehrzahl der Studien die Belastungsintensität bei 60% bis 85% lag. Die mittlere Trainingshäufigkeit pro Woche betrug  $2,8 \pm 0,7$  (N = 35) Trainingseinheiten (Min = 1; Max = 4; Median = 3). Die Gesamtzahl der Trainingseinheiten betrug  $42,0 \pm 27,8$  (N = 31) (Min = 10; Max = 116; Median = 36). Die Studien hatten eine durchschnittliche Dauer von  $14,9 \pm 9,2$  Wochen, wobei die längste Stu-

Tab. 2: Beschreibung von trainingsmethodischen Angaben in den Primärstudien

| Trainingsmerkmale                          | Keine Angaben  | Angaben        |
|--------------------------------------------|----------------|----------------|
| Angabe von Belastungsnormativa (allgemein) | 25,0% (N = 13) | 75,0% (N = 39) |
| Angabe der Belastungsintensität            | 55,8% (N = 29) | 44,2% (N = 23) |
| Angabe des Trainingsvolumens               | 25,0% (N = 13) | 75,0% (N = 39) |
| Angabe der Serienpause                     | 55,8% (N = 29) | 44,2% (N = 23) |
| Angabe der Trainingshäufigkeit             | 32,7% (N = 17) | 67,3% (N = 35) |
| Verwendung von Periodisierungsstrategien   | 63,5% (N = 33) | 36,5% (N = 19) |



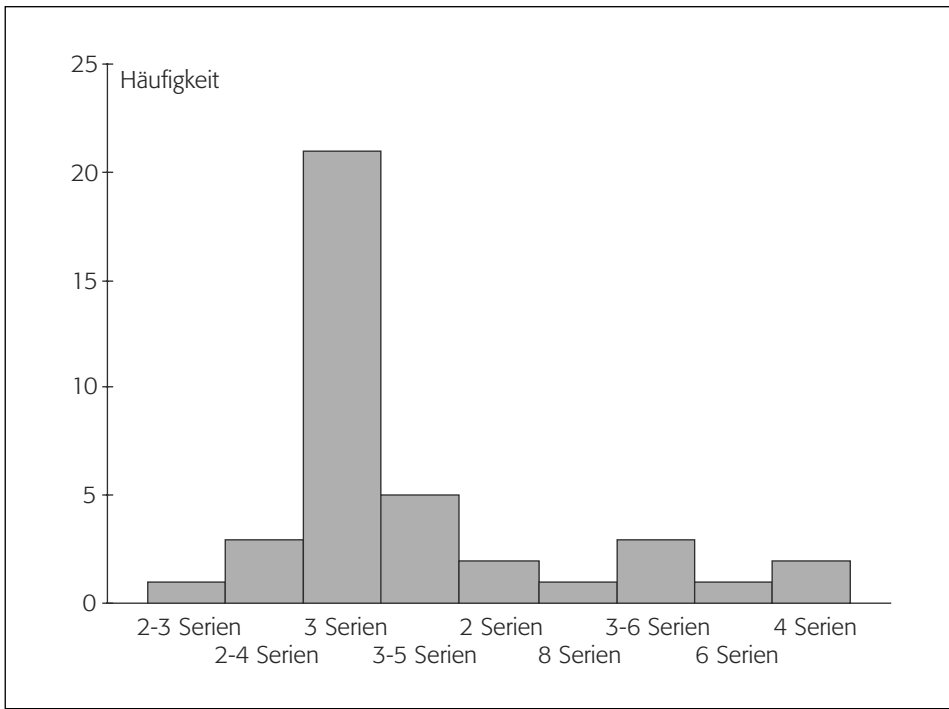


Abb. 2: Angabe der verwendeten Serienanzahl beim Mehrsatz-Training in den Primärstudien

die einen Zeitraum von 40 Wochen umfasste. Der Median lag bei 12 Wochen. Die Abb. 2 zeigt die Serienanzahl<sup>3</sup> beim Mehrsatz-Training in den zugrunde liegenden Primärstudien.

Die Primärstudien enthielten zu 75,0% (N = 39) Angaben zur verwendeten Testmethodik. Dabei kam in der Mehrzahl der publizierten Primärstudien die 1-RM<sup>4</sup>-Bestimmung (65,4%; N = 34) zur Anwendung. Isometrische und/oder isokinetische Maximalkraftbestimmungen sowie Techniken der „Repetition Maximum“-Bestimmung wurden weit weniger durchgeführt. 53,8% (N = 28) der Studien enthielten Angaben zu weiteren erhobenen Variablen wie Body-Mass-Index, Bestimmung des Körperfettgehalts, Hormonstatus, Muskeldicke, metabolischen und/oder kar-

<sup>3</sup> Eine a posteriori durchgeführte Kategorisierung in „kleiner/gleich 3 Serien“ und „größer/gleich 3 Serien“ ergab keinen signifikanten Einfluss auf die Effektstärke ( $F_{(1,23)} = 0,08$ ;  $p = 0,78$ ). Eine Trainingsempfehlung, inwieweit zwei, drei, vier oder mehr Serien die Effizienz des Trainings beeinflussen, lässt sich somit nicht ableiten. Die „Überlappung“ der Serienzahlen kann das insignifikante Ergebnis erklären. Für das Kraftausdauertraining konnte FRÖHLICH (2003) nachweisen, dass drei Serien ausreichend sind.

<sup>4</sup> In die Effektstärkeberechnung gingen nur diejenigen Primärstudien ein, welche die 1-RM Bestimmung zur Quantifizierung der Maximalkraft nutzten: Dadurch reduzierte sich die Studienzahl noch einmal auf 14. Die Beantwortung der Frage zur Interaktionsbeziehung zwischen Maximalkraft und Kraftausdauer sowie weiteren intervenierenden Variablen bleibt hierbei unberührt.

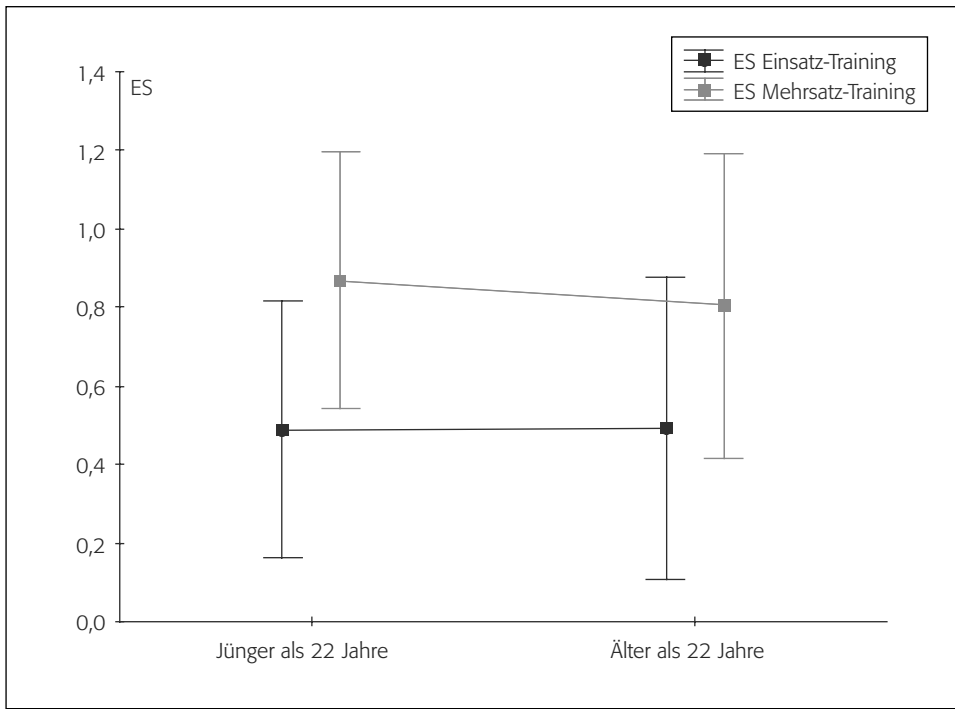


Abb. 3: Interaktionsplot der Effektstärken des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings in Abhängigkeit vom Alter der Probanden in den Primärstudien (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervalle)

diozirkulatorischen Beanspruchungen. 46,2% ( $N = 24$ ) der Studien machten hierzu keine Angaben. In 21 Primärstudien konnte eine Effektstärke für das Einsatz-Training ( $ES = 0,79 \pm 0,71$ ) berechnet werden. 26 Primärstudien ließen eine Effektstärkeberechnung für das Mehrsatz-Training ( $ES = 1,16 \pm 0,88$ ) zu. Lediglich anhand von 19 Studien konnte ein direkter Effektstärkevergleich zwischen Einsatz- und Mehrsatz-Training durchgeführt werden.

Ein genereller, signifikanter Unterschied zwischen einem Einsatz-Training ( $ES = 0,70 \pm 0,69$ ) und einem Mehrsatz-Training ( $ES = 1,13 \pm 1,06$ ) konnte nicht festgestellt werden ( $t_{(1,26)} = -1,27$ ;  $p = 0,21$ ). Angelehnt an die Effektstärke-Klassifizierung nach COHEN (1988) liegt beim Einsatz-Training ein mittlerer Effekt vor. Das Mehrsatz-Training weist einen starken Effekt aus, was mit einer mindestens 14%igen Varianzklärung und einer 29%igen Verbesserung im Trainingsexperiment assoziiert ist (vgl. RUSTENBACH, 2003, S. 74f.). Real weist das Mehrsatz-Training einen 61,4%igen Effizienzvorteil aus.

In Abhängigkeit von der Anzahl der teilnehmenden Probanden an der Primärstudie (Differenzierung in mehr als 30 Personen und weniger als 30 Personen) konnte kein signifikanter Unterschied (Haupteffekt) zwischen der Effizienz eines Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings identifiziert werden ( $F_{(1,24)} = 1,38$ ;  $p = 0,25$ ). Die Interaktion Einsatz- vs. Mehrsatz-Training mal Probandenanzahl war ebenfalls nicht signifikant ( $F_{(1,24)} = 0,08$ ;  $p = 0,78$ ).

In Abhängigkeit des Alters der Probanden (differenziert in jünger als 22 Jahre und älter als 22 Jahre, vgl. Median 22,3 Jahre) zeigte sich bez. der Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings folgendes Bild: Haupteffekt Serienzah (F<sub>(1, 20)</sub> = 4,06; p = 0,06); Haupteffekt Alter (F<sub>(1, 20)</sub> = 0,03; p = 0,86) und Interaktion Serienzah mal Alter (F<sub>(1, 20)</sub> = 0,04; p = 0,85). Der Haupteffekt Serienzah verfehlt knapp die Signifikanzschränke (vgl. Abb. 3). Das Interaktionsdiagramm weist einen disordinalen Linienverlauf auf, so dass die Haupteffekte nicht global interpretiert werden können. Generell liegen die Effektstärken des Mehrsatz-Trainings deutlich über denen des Einsatz-Trainings.

Das Geschlecht (in den Kategorien „männlich“ und „weiblich“) hatte einen signifikanten Einfluss auf die Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings-Effizienz (F<sub>(2, 20)</sub> = 5,04; p < 0,05). Die Interaktion Geschlecht mal Serienzah war nicht signifikant (F<sub>(2, 20)</sub> = 0,47; p = 0,50). Die Studien mit weiblichen Probanden hatten beim Mehrsatz-Training die höchsten Effektstärken. Die Effektstärken des Mehrsatz-Trainings sind bei den männlichen Primärstudienteilnehmern im Durchschnitt 53,5% und die der weiblichen Primärstudienteilnehmer 72,1% höher als beim Einsatz-Training. Die Abb. 4 nimmt hierauf Bezug. Die beiden Linienzüge im Interaktionsdiagramm weisen einen ordinalen Verlauf aus, so dass der Haupteffekt Serienzah global, im Sinne „größerer Kraftverbesserungen“ interpretiert werden kann.

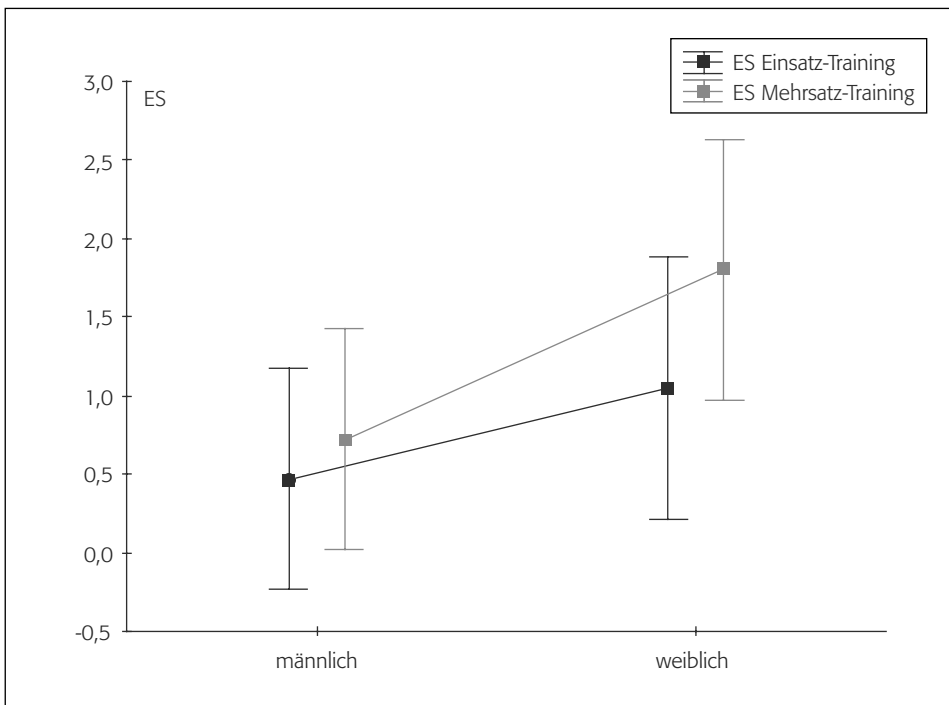


Abb. 4: Interaktionsplot der Effektstärken des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden in den Primärstudien (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervalle)

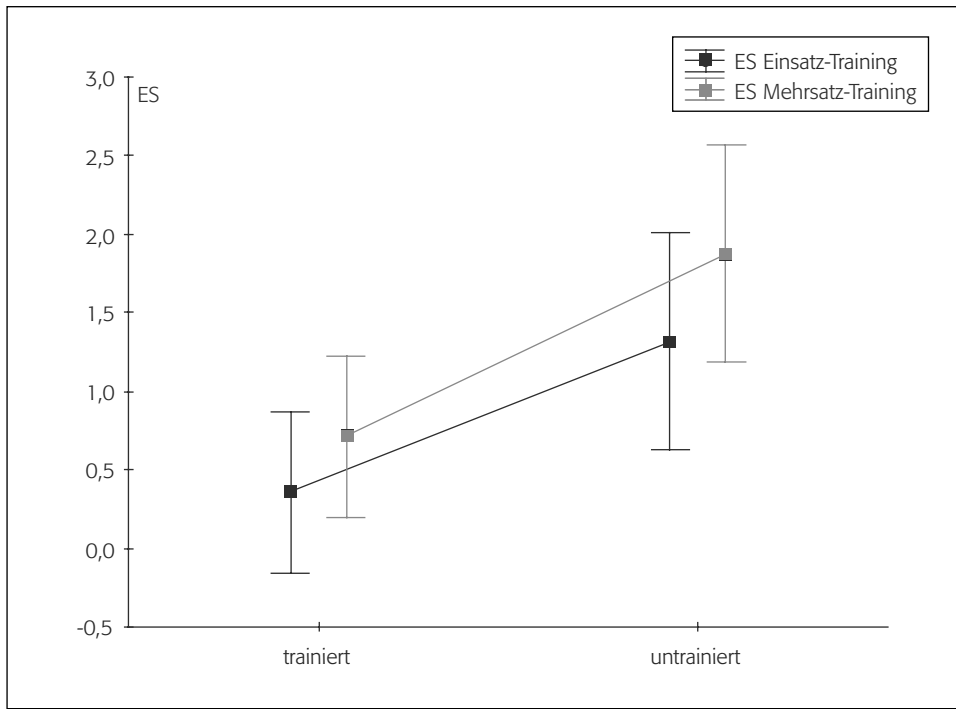


Abb. 5: Interaktionsplot der Effektstärken des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings in Abhängigkeit vom Trainingszustand der Probanden in den Primärstudien (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervalle)

In Abhängigkeit vom Trainingszustand in den Dimensionen „trainiert“<sup>5</sup> und „nicht trainiert“ konnte bez. des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings ein signifikanter Unterschied (Haupteffekt) festgestellt werden ( $F_{(1, 24)} = 12,88$ ;  $p < 0,01$ ). Das bedeutet, dass untrainierte Versuchsteilnehmer sowohl von einem Einsatz- als auch von einem Mehrsatz-Training mehr profitieren als bereits trainierte Probanden (vgl. Abb. 5). Obwohl die Effektstärken des Mehrsatz-Trainings sowohl bei den „trainierten“ als auch bei den „untrainierten“ Probanden 99,7% bzw. 42,7% höher sind, besteht kein signifikanter Unterschied (Haupteffekt Serienzahl) zwischen dem Einsatz- bzw. Mehrsatz-Training ( $F_{(1, 24)} = 2,41$ ;  $p = 0,13$ ). Die Interaktion Trainingszustand mal Satzzahl ist nicht signifikant ( $F_{(1, 24)} = 0,12$ ;  $p = 0,73$ ). Einen Einblick in den Graphenverlauf des Interaktionsdiagramms gibt Abb. 5.

Periodisierungsstrategien in den Kategorien „ja“, wurden im Trainingsexperiment angewendet, bzw. „nein“, keine Anwendung, zeigten folgenden Einfluss: a) Haupteffekt Serienzahl ( $F_{(1, 24)} = 1,63$ ;  $p = 0,21$ ); b) Haupteffekt Periodisierung ( $F_{(1, 24)} = 2,03$ ;  $p = 0,17$ ) und c) Interaktionseffekt Serienzahl mal Periodisierung

<sup>5</sup> Die Dimensionen „trainiert“ und „untrainiert“ wurden anhand der Aussagen der Autoren in den Primärstudien kategorisiert, wobei mehrheitlich eine Operationalisierung zu Grunde lag, jedoch fließende Übergänge und normative Wertungen Einfluss haben.

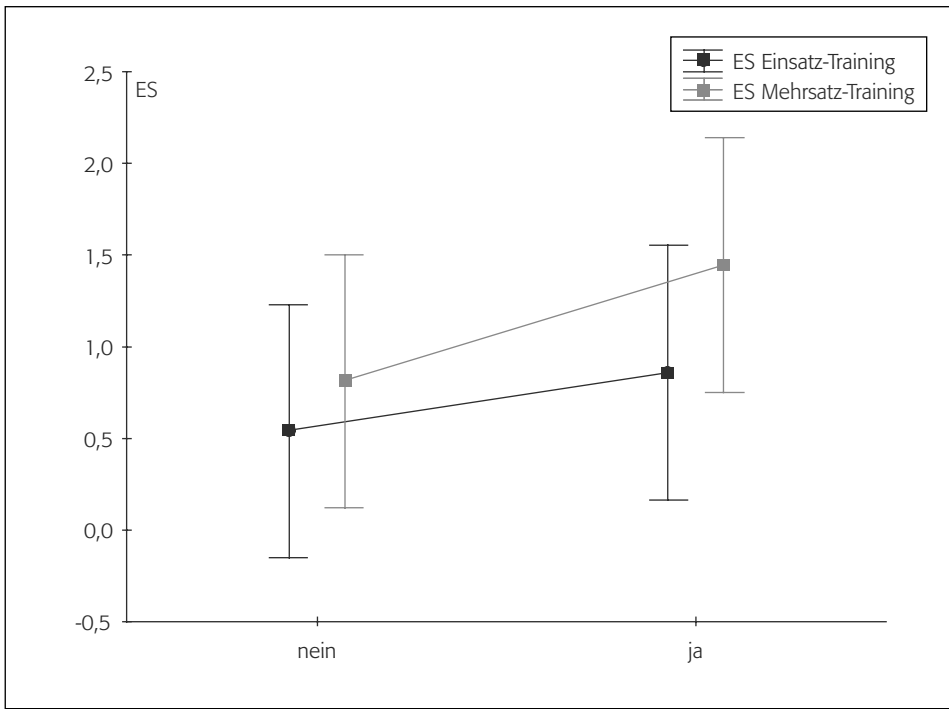


Abb. 6: Interaktionsplot der Effektstärken des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings in Abhängigkeit von der Verwendung von Periodisierungsstrategien in den Primärstudien (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervalle)

( $F_{(1, 24)} = 0,22$ ;  $p = 0,64$ ). Die Effektstärken des Mehrsatz-Trainings sind 50,4% und 68,4% größer als die Effektstärken des Einsatz-Trainings (vgl. Abb. 6). Da die Graphen im Interaktionsdiagramm einen ordinalen Linienverlauf zeigen, können sowohl der Haupteffekt Serie als auch der Haupteffekt Periodisierung eindeutig interpretiert werden.

Der Einfluss der Studienlänge, differenziert in „kleiner/gleich 12 Wochen“ bzw. „länger als 12 Wochen“, zeigte folgende Ergebnisse: Ein signifikanter Unterschied (Haupteffekt 1) zwischen dem Einsatz-Training und dem Mehrsatz-Training wurde nicht festgestellt ( $F_{(1, 24)} = 1,53$ ;  $p = 0,23$ ). Die Studiendauer (Haupteffekt 2) hatte keinen Einfluss auf die Effektstärke ( $F_{(1, 24)} = 0,48$ ;  $p = 0,49$ ). Die Interaktion Studiendauer mal Serienzahl ist in Abb. 7 dargestellt. Studien mit einer Dauer größer 12 Wochen profitieren von einem Mehrsatz-Training mehr als Studien kleiner/gleich 12 Wochen Training. Die Effektstärkedifferenz zwischen Einsatz-Training und Mehrsatz-Training vergrößerte sich hierbei von 45,6% (kleiner/gleich 12 Wochen Training) auf 75,1% (länger 12 Wochen Training).

Eine qualitative Auswertung der Primärstudien anhand der Aussagen der Autoren lässt sich wie folgt zusammenfassen: Von den 52 Primärstudien haben 19,2% ( $N = 10$  Studien) keinen signifikanten Unterschied zwischen Einsatz- und Mehrsatz-Training gezeigt. Bei 36,6% ( $N = 19$ ) der Studien konnte ein signifikanter

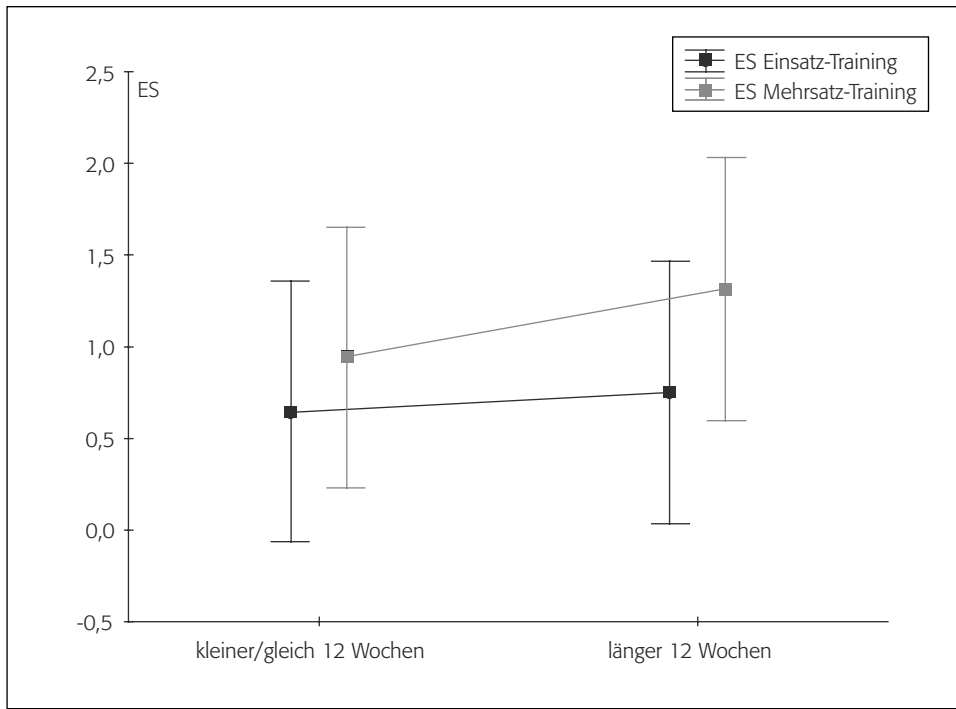


Abb. 7: Interaktionsplot der Effektstärken des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings in Abhängigkeit von der Studiendauer in den Primärstudien (Vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervalle)

Unterschied festgestellt werden und in 44,2% (N = 23) wurde eine statistische Effizienzbestimmung nicht explizit untersucht. Das Fazit der Autoren in den Primärstudien – verdichtet in den Kategorien „pro Einsatz-Training“, „pro Mehrsatz-Training“, „indifferentes Ergebnis“, „nicht untersucht“ sowie „kein Unterschied“ – stellt sich wie folgt dar: In 17,3% der Fälle lautete das Fazit „indifferentes Ergebnis“ bzw. „kein Unterschied“, 9,6% sprachen sich für das Einsatz-Training aus, 50,0% bevorzugten das Mehrsatz-Training und 23,1% negierten eine explizite statistische Untersuchung.

## Diskussion

Anhand der Deskriptoren bzw. Schlagwörter konnten in den Recherchesystemen 52 Primärstudien zur Einsatz- vs. Mehrsatz-Problematik identifiziert werden. Die Gesamtprobandenzahl lag bei 1934 Personen und spiegelte eine sehr heterogene Gruppe wider. Neben Studien mit z. B. Kindern (FAIGENBAUM et al., 2001), postmenopausalen Frauen (KEMMLER et al., 2004), Studenten (STONE et al., 2000) wurden u. a. krafttrainingsunerfahrene Männer und Frauen (BUSKIES & PALANDT, 2003) sowie Freizeit- und Kraftsportler (HASS et al., 2000) untersucht. Das Alter der Pro-

banden in den Primärstudien lag zwischen 8,5 und 66,9 Jahren. Die große Heterogenität<sup>6</sup> der Primärstudien spiegelte sich ebenfalls in den Variablen Geschlecht und Trainingszustand wider. Des Weiteren war die Exaktheit von Studienmerkmalen wie Beschreibung der Belastungsnormativa, der Trainingsdurchführung, der verwendeten Trainings- und Testmethodiken unterschiedlich ausgeprägt. Von den 52 Primärstudien konnten lediglich 19 Studien zur direkten Effektstärkeberechnung herangezogen werden. Schränkte man die Ergebnisse noch auf die abhängige Variable Maximalkraft (1-RM) ein, blieben 14 Studien. Innerhalb dieser Primärstudien konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem Einsatz- und dem Mehrsatz-Training gefunden werden.

Andererseits lag die Effektstärke, als quantitatives Maß für die Effizienz, beim Mehrsatz-Training 61,4% höher als beim Einsatz-Training (vgl. BORST et al., 2001; GREIWING & FREIWALD, 2005; KRAEMER, 1997; KRAEMER et al., 2000; KRAMER et al., 1997; MARX et al., 1998; RHEA et al., 2002; SCHLUMBERGER, STEC & SCHMIDTBLEICHER, 2001). Trainingsmethodisch bzw. trainingswirksamkeitsanalytisch dürfte dieser Effekt sowohl für den in der Theorie als auch für den in der Praxis tätigen jedoch eine Leitlinie darstellen. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten SANBORN et al. (2000, S. 329 f.): „The results suggest that short-term weight training using MSV<sup>7</sup> produced more favorable improvements in performance compared with SS in initially untrained women. ... Indeed, in the present study, the 10% greater improvement in the 1RMS for the MSV did not show a statistically significant difference; however, there was a significant difference between groups for the gain in CMVJ“.

In einer Studie von KRAMER et al. (1997) wurden durch ein Mehrsatz-Training bzw. ein periodisiertes Mehrsatz-Training 50% höhere Kraftsteigerungen bei der Übung Kniebeuge erzielt als bei einem Einsatz-Training. „The 1-RM squat increased significantly in all groups. Differences in 1-RM between groups indicate that MS and MSV increased approximately 50% more than SS over the 14 weeks. Results suggest that multiple sets not performed to failure produce superior gains in the 1-RM squat“ (KRAMER et al., 1997, S. 143).

Im Gegensatz dazu stehen die Studien von HASS et al. (2000), MESSIER und DILL (1985), OSTROWSKI et al. (1997) und VINCENT et al. (1998). Innerhalb dieser Studien konnten vergleichbare, jedoch keine besseren Ergebnisse durch das Einsatztraining erzielt werden. „However, the results of this study suggest that for a training period of short duration, Nautilus circuit weight training appears to be equally effective alternative to standard free weight (strength) and aerobic (endurance) training programs for untrained individuals“ (MESSIER & DILL, 1985, S. 350). In die gleiche Richtung geht die Argumentation von HASS et al. (2000, S. 241): „After 13 weeks of training, both groups had significantly improved their muscular strength, mus-

<sup>6</sup> Eine Vielzahl an Primärstudien wies eine hohe interne Validität auf, was sich einerseits durch methodologische Aspekte (randomisierte, kontrollierte Studien) und andererseits durch einen hohen Grad an Exaktheit der Operationalisierung der abhängigen Variablen begründen lässt. Diese Studien wiesen mitunter die höchsten Impact Faktoren aus. Inwieweit das Eine das Andere bedingt, et vice versa, muss hier ausgespart werden.

<sup>7</sup> MSV = multiple-set-variation, das bedeutet ein Mehrsatz-Training mit Periodisierungsstrategien (z. B. 1. Woche 3 x 10; 2–4. Woche 3 x 5; 5. Woche 3 x 3). SS = single set; 1RMS = 1RM parallel squat; CMVJ = countermovement vertical jump.

cular endurance, and body composition. However, there were no significant differences between groups in the improvement of muscular strength or muscular endurance. Furthermore, both groups experienced similar improvements in body composition. ... The results of this study are similar to those of previous studies using initially untrained subjects demonstrating that single-set programs are an effective alternative to higher volumes of nonperiodized training“.

Lediglich die Studien von PAULSEN, MYKLESTAD und RAASTAD (2003) und STARKEY et al. (1996) führten beim Einsatz-Training zu größeren Effektstärken als das Mehrsatz-Training. Zu den Studien, welche zu vergleichbaren oder besseren Ergebnissen führten (zwei Studien), muss jedoch angemerkt werden, dass sich die Kraftverbesserungen in der Regel auf isometrische bzw. isokinetische Maximalkraft bzw. Kraftausdauer-Indizes in verschiedenen Winkelgraden beziehen. Inwieweit diese Ergebnisse, welche an speziellen Geräten (z. B. Nautilusmaschinen, Cybex II) gewonnen wurden, auf alltägliche Trainingssettings übertragbar sind, steht zur Diskussion.

Erstes Zwischenfazit: Inferenzstatistisch konnte zwischen einem Einsatz-Training und einem Mehrsatz-Training kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Das Mehrsatz-Training zeigt jedoch deutlich größere Effektstärken und dürfte somit unter pragmatischen Aspekten einem Einsatz-Training überlegen sein. Insgesamt zeigten 17 von 19 Primärstudien größere Effektstärken bei einem Mehrsatz-Training. Operationalisiert man die Krafttrainingsverbesserung über die konzentrische Maximalkraft (1-RM), so konnte in keiner Primärstudie eine Überlegenheit (größere Effektstärke) des Einsatz-Trainings gegenüber einem Mehrsatz-Training aufgezeigt werden.

Das Probandenmerkmal Alter scheint keinen Einfluss auf die Größe der Wirksamkeit eines Einsatz- bzw. Mehrsatz-Trainings zu haben. Das Geschlecht zeigte in dieser Studie einen diskriminierenden Einfluss. Das bedeutet, Frauen zeigen höhere Effektstärken bei einem Mehrsatz-Training. Hier könnte die Ausbelastung in der Serie sowie über die Serien bei Frauen die entscheidende Variable sein. Vergleichbare relative Kraftzuwächse (Relation zu fettfreier Körpermasse, Muskelquerschnitt etc.) von Frauen und Männern sind von ABE et al. (2000, S. 179) sowie im Überblick von FLECK und KRAEMER (1997, S. 184 ff.) beschrieben. In den Metaanalysen von RHEA et al. (2003, S. 457) und WOLFE, LEMURA und COLE (2004, S. 43) wurden keine Geschlechtsunterschiede zwischen Einsatz- und Mehrsatz-Training gefunden. Beide Studien berichten jedoch von signifikanten Alterskohortenunterschieden, wobei eine Differenzierung in die Alterskohorten 15 bis 25 Jahre, 37 bis 41 Jahre und 47 bis 65 Jahre vorgenommen wurde (WOLFE, LEMURA & COLE, 2004, S. 43). Eine einheitliche Tendenz ist jedoch nicht zu erkennen. Dass das Kraftniveau über das Lebensalter hinweg eine ausgesprochene Variabilität aufweist, ist hinlänglich bekannt (FLECK & KRAEMER, 1997, S. 218 ff.). Die Einflüsse auf die Effizienz eines Einsatz- bzw. Mehrsatz-Trainings dürften jedoch vergleichbar sein, wobei durch ein Mehrsatz-Training verstärkt noch zusätzlich koordinative Aspekte geschult werden. In diesem Sinne dürfte die Altersvariable eher den Charakter einer Kovariablen haben, da im Jugend- und im Seniorenalter eher die Krafterhaltung sowie die Schulung der Koordination, denn eine explizite Leistungsverbesserung im Vordergrund stehen.

Untrainierte bzw. Trainingsbeginner profitieren in der ersten Trainingsphase sowohl von einem Einsatz- als auch von einem Mehrsatz-Training und zeigen ent-



sprechende Anpassungen auf die Kraft und den Kraftstatus (z. B. Kraftausdauer). „A clear implication that emerges from this statement is that the use of single set may be appropriate for those who are beginners or untrained during the initial training period“ (WOLFE, LEMURA & COLE, 2004, S. 35). Auf diesen Zusammenhang haben bereits SCHLUMBERGER und SCHMIDTBLEICHER (1999, S. 10) hingewiesen, in dem sie herausstellen, dass in den ersten Trainingswochen kaum Unterschiede in den Kraftgewinnen bei unterschiedlichen Satzzahlen zu erwarten sind, da in dieser ersten Trainingsphase die koordinativen und neuromuskulären Anpassungen weitestgehend unabhängig von der Satzzahl sind (vgl. ACSM, 2002). Genauso argumentiert auch LAVIN (1999, S. 17): „Increases in strength in untrained subjects in the first 8–12 weeks of a resistance-training program are mostly due to neural recruitment. After this, the muscle begins to hypertrophy. Most of the research that claims that performing a single set to failure is as effective as multiple-set training has been done on untrained subjects within the first 8 weeks of a new program. During this phase of training, beginners will react to almost any stimulus.“

Im weiteren Trainingsverlauf spielen jedoch der Muskelquerschnitt und somit die Muskelmasse eine verstärkte Rolle für weitere Kraftverbesserungen. Da diese morphologischen Adaptationen jedoch nicht nur von hohen Lasten und den damit verbundenen hohen muskulären Spannungen abhängen (vgl. ACSM, 2002; ZATSIORSKY, 1995), sondern in erheblichem Maße auf die energetische Ausschöpfung, speziell der Kreatinphosphatspeicher, zurückzuführen sind, führt ein Training mit mehreren Sätzen offensichtlich zu größeren Entwicklungsreizen auf die Muskelhypertrophie.

Innerhalb einer Vergleichsstudie zur Wachstumshormonausschüttung bei einem Einsatz- und einem Mehrsatz-Training konnten CRAIG und KANG (1994) u. a. nachweisen, dass erstens die insgesamt verrichtete Arbeit einen größeren Einfluss auf die Stimulierung der Wachstumshormonproduktion hat, als die Übungsintensität. „The results indicate that total work may be more important than exercise intensity in stimulating hGH production during resistance training“ (CRAIG & KANG, 1994, S. 273). Zweitens wurde gezeigt, dass ein Mehrsatz-Training zu einer höheren Laktatakkumulation führt als ein Einsatz-Training. „The higher plasma lactic acid accumulation following the progressive protocol, as opposed to the lactic acid response of single-set trials, suggests that muscle glycogen was utilized to a greater extent during the progressive routine“ (CRAIG & KANG, 1994, S. 274). MULLIGAN et al. (1996) untersuchten die Veränderung des immunreaktiven Wachstumshormons, die von Cortisol und Blutlaktat bei einem Einsatz- und einem Mehrsatz-Training bei 10 Frauen. Das Mehrsatz-Training führte zu signifikanten Anstiegen aller drei Parameter in der Nachbelastungsphase (0,15 und 30 min), während das Einsatz-Training nur einen signifikanten Anstieg des Wachstumshormons 15 Minuten nach Belastung sowie des Cortisols direkt und 15 Minuten nach Belastung bewirkte. Die Autoren schließen daraus: „The MS produced the most significant hormonal and metabolic responses, indicating that exercise volume may be an important factor in hormonal and metabolic mechanisms related to resistance exercise in women“ (MULLIGAN et al., 1996, S. 256).

KRAEMER (2002, S. 48) leitet daraus folglich ab, dass die Serienanzahl direkt mit dem Trainingsziel in Verbindung steht. „The number of sets used in a workout is directly related to the training goals of the joint or the musculature being trained.

The number of sets are part of a volume calculation in strength training. Typically, 3–6 sets are used for an exercise to achieve the optimal adaptations, especially in athletes. It has been suggested that multiple set systems work best for development of strength, power, size and local muscular endurance, and the gains made will be at a faster rate than gains achieved through single set systems. To date no single set system has ever been shown to be superior to a multiple set programme“.

Die Einflüsse der Belastungsintensität auf die Effektstärken des Einsatz- und Mehrsatz-Trainings konnten in der vorliegenden Studie nicht untersucht werden, da die Variationsbreite in den Primärstudien keine hinreichende Klassifizierung erlaubte. PETERSON, RHEA und ALVAR (2004, S. 379) und RHEA et al. (2003, S. 458) konnten jedoch nachweisen, dass bereits 60% 1-RM bei Untrainierten ausreichen, um entsprechende Kraftsteigerungen zu erzielen. Fortgeschrittene bzw. leistungsorientierte Probanden sollten jedoch bei 80% bis 85% 1-RM trainieren, um entsprechende Anpassungen zu erreichen (vgl. ACSM, 2002, S. 366 f.).

Trainingssettings mit mehreren Serien und Periodisierungsstrategien führen zu deutlich größeren Effektstärken als Einsatz-Methoden ohne Periodisierung (vgl. Abb. 6). In der vorliegenden Studie konnten bspw. Effektstärken von 1,45 bei einem Mehrsatz-Training und Periodisierung im Gegensatz zu einem Einsatz-Training ohne Periodisierung von 0,54 festgestellt werden. FLECK und KRAEMER (1997, S. 102 ff.) sowie FLECK (2002, S. 55 ff.) verweisen ausdrücklich auf die Verwendung von zusätzlichen Periodisierungsstrategien speziell bei Krafttrainingfortgeschrittenen und leistungsambitionierten Sportlern. STONE et al. (2000, S. 333) untersuchten den Einfluss eines 12-wöchigen „nonperiodized linear model“, eines „stepwise periodized model“ sowie eines „overreaching periodized model“ auf das 1-RM bei der Übung Kniebeuge. Die beiden periodisierten Trainingsmethoden führten zu einer signifikanten Steigerung des 1-RM, nicht jedoch das „nonperiodized model“. Diejenige Gruppe, die nach dem „nonperiodized model“ trainierte, steigerte sich von 141,4 kg auf 155,4 kg ( $p = 0,77$ ;  $ES = 0,58$ ). Die „stepwise periodized model“-Gruppe steigerte sich von 124,8 kg auf 143,4 kg ( $p < 0,05$ ;  $ES = 0,97$ ) und die „overreaching periodized model“-Gruppe von 132,8 kg auf 153,3 kg ( $p < 0,05$ ;  $ES = 0,93$ ) (STONE et al., 2000, S. 334). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen RHEA et al. (2002, S. 525) bei einem Vergleich von Einsatz-Training und wellenförmigem Mehrsatz-Training. Die Autoren fassen ihre Ergebnisse mit den Worten zusammen: „The results demonstrate that for recreationally trained individuals using DUP (DUP = daily undulating periodization, Anmerkung des Autors) training, 3 sets of training are superior to 1 set for eliciting maximal strength gains“. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von SANBORN et al. (2000, S. 330). „These results suggest that training protocols using multiple sets and variation in volume, training intensity, and exercise speed can enhance performance to a greater extent than a single-set to failure protocol“.

## Fazit und Ausblick

Die vorliegende Untersuchung deckt sich in weiten Teilen mit den Metaanalysen von PETERSON, RHEA und ALVAR (2004), RHEA et al. (2003) und WOLFE, LEMURA und COLE (2004). Bezug nehmend auf die methodischen und methodologischen Kri-

tikpunkte von WINETT (2004, S. 12 ff.) bei den zuvor genannten Metaanalysen (siehe z. B. „In summary, the results from RHEA et al. (5) are questionable because they excluded certain published studies, used many non-independent effect sizes, focused on mean effect sizes with less attention to the large variation within a given training category, and could not explain the pattern of outcomes with any theory or physiological mechanism“, WINETT, 2004, S. 13) bestand die Zielstellung der vorliegenden Studie darin, die Effizienz eines Einsatz-Trainings bzw. eines Mehrsatz-Trainings zu überprüfen. Hierzu wurde einerseits auf die Effektstärke, als Maß für die Quantifizierung der Trainingsintervention, rekurriert, andererseits sollten die Autoren der Primärstudien eine qualitative Einschätzung ihrer Ergebnisse abgeben.

Generell kann sowohl aus den quantitativen als auch aus den qualitativen Studienergebnissen geschlossen werden, dass ein Training mit mehreren Sätzen in Abhängigkeit von den Merkmalen Alter und Geschlecht der Probanden, Trainingszustand, Verwendung zusätzlicher Periodisierungsstrategien und Studiendauer zu größeren Steigerungen der Maximalkraft (1-RM) führt als ein Einsatz-Training und in der Mehrzahl der Primärstudien bevorzugt wird. Bilanzierend ließe sich die begonnene Diskussion zur Effizienz des Einsatz- bzw. Mehrsatz-Trainings nur empirisch lösen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Umsetzung in die Trainingspraxis sehr stark normativ und höchst individuell zu treffen ist.

In diesem Sinne ist PHILIPP, welcher im Rahmen einer umfassenden Literaturanalyse bereits 1999 auf die Kontroverse um die Satzzahl beim Krafttraining hingewiesen hat, zuzustimmen. „Aus wissenschaftlicher Perspektive ist das Problem am Mangel an differenzierter und bewährter physiologischer und biologischer Theorie über Muskelgewinne und Hypertrophie festzumachen. Die vorliegenden Paradigmen gestatten dabei anscheinend noch keine Ableitung hinreichend trennscharfer Hypothesen und ihre adäquate methodische Testung. Ein wichtiger und entscheidender Punkt liegt in den methodischen Einschränkungen der meisten Experimente, die überwiegend in der fehlenden Kontrolle intervenierender Variablen zu finden sind“ (PHILIPP, 1999b, S. 32).

Somit ließe sich folgender Lösungsvorschlag begründen: Einerseits müssten randomisierte, kontrollierte Gruppenexperimente mit ausreichend großen Fallzahlen und strikter Kontrolle der intervenierenden Variablen gruppenstatistisch abgesichert werden. Andererseits ließen sich speziell im Hochleistungssport Entscheidungshilfen mittels Einzelfalluntersuchungen ableiten. Letztendlich wird die Problematik zum Einsatz- bzw. Mehrsatz-Training aufgrund der mangelnden theoretischen Begründung der Wirksamkeit von Training an die Praxis und den Handelnden verlagert.

## Literatur

- ABE, T., DE HOYOS, D. V., POLLOCK, M. L. & GARZARELLA, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81 (3), 174–180.
- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (2002). Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (2), 364–380.

- BAKER, D., WILSON, G. & CARLYON, R. (1994). Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 235–242.
- BEELMANN, A. & BLIESENER, T. (1994). Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychologische Rundschau*, 45, 211–233.
- BERGER, R. A. (1962). Effect of varied weight training programs on strength. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 33 (2), 168–181.
- BORST, S. E., DE HOYOS, D. V., GARZARELLA, L., VINCENT, K., POLLOCK, B. H., LOWENTHAL, D. T. et al. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (4), 648–653.
- BROWN, L. E. (1999). Efficacy of weight training: multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal*, 21 (3), 17.
- BUSKIES, W. & PALANDT, G. (2003). Einsatz- versus Mehrsatztraining im Gesundheits-sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (7/8), 41.
- BYRD, R. (1999). Strength training: single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 27 (6), 409–416.
- CARPINELLI, R. N. & OTTO, R. M. (1998). Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 26 (2), 73–84.
- CARPINELLI, R. N. (2002). Berger in retrospect: effect of varied weight training programmes on strength. *British Journal of Sports Medicine*, 36, 319–324.
- CARROLL, T. J., ABERNETHY, P. J., LOGAN, P. A., BARBER, M. & MCENIERY, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78 (3), 270–275.
- COHEN, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2<sup>nd</sup> ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- CRAIG, B. W. & KANG, H.-Y. (1994). Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: Total work versus power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8, (4) 270–275.
- FAIGENBAUM, A. D., LOUD, R. L., O'CONNELL, J., GLOVER, S., O'CONNELL, J. & WESTCOTT, W. L. (2001). Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (4), 459–465.
- FEIGENBAUM, M. S. & POLLOCK, M. L. (1999). Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (1), 38–45.
- FLECK, S. J. & KRAEMER, W. J. (1997). *Designing resistance training programs*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- FRÖHLICH, M. & MARSCHALL, F. (2001). Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der isometrischen und konzentrischen Maximalkraft. In H.-A. THORHAUER, K. CARL & U. TÜRCK-NOACK (Hrsg.), *Muskel-Ermüdung. Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft* (Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bd. 16, S. 119–125). Köln: Sport und Buch Strauß.
- FRÖHLICH, M. (2003). *Kraftausdauertraining. Eine empirische Studie zur Methodik*. Göttingen: Cuvillier.
- GIEBING, J. (2000). Das Heavy-Duty-Konzept. *Leistungssport*, 30 (4), 19–23.
- GIEBING, J., PREUSS, P. & FRÖHLICH, M. (2005). High-intensity post-exhaustion for maximizing training intensity in muscle hypertrophy training. In J. GIEBING, M. FRÖHLICH & P. PREUSS (Eds.), *Current results of strength training research* (pp. 80–88). Göttingen: Cuvillier.
- GIEBING, J., PREUSS, P., GREIWING, A., GOEBEL, S., MÜLLER, A., SCHISCHEK, A. & STEPHAN, A. (2005). Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set train-

- ing and multiple-set training for muscle hypertrophy. In J. GIESING, M. FRÖHLICH & P. PREUSS (Eds.), *Current results of strength training research* (pp. 9–23). Göttingen: Cuvillier.
- GOTO, K., NAGASAWA, M., YANAGISAWA, O., KIZUKA, T., ISHII, N. & TAKAMATSU, K. (2004). Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 730–737.
- GRAVES, J. E. (1999). Efficacy of weight training: multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal*, 21 (3), 17.
- GRAVES, J. E., POLLOCK, M. L., JONES, A. E., JONES, W. E. & COLVIN, A. (1999). Number of repetitions does not influence the initial response to resistance training in identical twins. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (Suppl. 5), p. 74.
- GREIWIN, A. & FREIWALD, J. (2005). Effects of 3 resistance training methods on maximal strength, strength endurance and muscle thickness of the m. quadriceps femoris. In J. GIESING, M. FRÖHLICH & P. PREUSS (Eds.), *Current results in strength training research* (pp. 65–79). Göttingen: Cuvillier.
- HASS, C. J., GARZARELLA, L., DE HOYOS, D. & POLLOCK, M. (2000). Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 235–242.
- HEIDUK, R., PREUSS, P. & STEINHÖFER, D. (2002). Die optimale Satzzahl im Krafttraining: Einsatz- versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*, 32 (4), 4–13.
- HUMBURG, H., BAARS, H. & BRAUMANN, K. M. (2005). 1 Satz vs. 3 Satz Krafttraining. Eine Crossover-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (7/8), 237.
- KEMMLER, W. K., LAUBER, D., ENGELKE, K. & WEINECK, J. (2004). Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 689–694.
- KIESER, W. (1998). Wieviele Sätze beim Krafttraining? *Leistungssport*, 28 (3), 50–51.
- KNOBL, O., SCHOTT, N., WIRTH, K. & SCHMIDTBLEICHER, D. (2004). The effects of free weight training for older adults. In Z. DVIR, *Isokinetics and exercise science* (pp. 45–46). Amsterdam, Washington DC, Tokyo: IOS press.
- KRAEMER, W. J. (1997). A series of studies – the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 131–142.
- KRAEMER, W. J. (2002). Developing a strength training workout. In W. J. KRAEMER & K. HÄKKINEN (Eds.), *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport* (pp. 37–54). Oxford u. a.: Blackwell Science Ltd.
- KRAEMER, W. J. & HÄKKINEN, K. (Eds.) (2002). *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport*. Oxford u. a.: Blackwell Science Ltd.
- KRAEMER, W. J., NEWTON, R. U., BUSH, J., VOLEK, J. S., TRIPLETT, N. T. & KOZIRIS, L. P. (1995). Varied multiple set resistance training program produces greater gains than single set program. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (Suppl. 5), p. 195.
- KRAEMER, W. J., RATAMESS, N. A., FRY, A. C., TRIPLETT-McBRIDE, T., KOZIRIS, L. P., BAUER, J. A., LYNCH, J. M. & FLECK, S. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *American Journal of Sports Medicine*, 28 (5), 626–633.
- KRAMER, J. B., STONE, M. H., O'BRYAN, H. S., CONLEY, M. S., JOHNSON, R. L., NIEMAN, D. C., HONEYCUTT, D. R. & HOKE, T. P. (1997). Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 143–147.
- LAVIN, G. (1999). Efficacy of weight training: multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal*, 21 (3), 17.

- MARX, J. O., NINDL, B. C., GOTSHALK, L. A., VOLEK, J. S., HARMAN, F. S., DOHI, K., BUSH, J. A., FLECK, S. J., HÄKKINEN, K. & KRAEMER, W. J. (1998). The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women. In K. HÄKKINEN (Ed.), *International conference on weightlifting and strength training* (pp. 167–168). Lathi, Finland: Gummerus Printing.
- MESSIER, S. P. & DILL, M. E. (1985). Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to nautilus circuit weight training. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56 (4), 345–351.
- MOHER, D., SCHULZ, K. F. & ALTMAN, D. G. (2001). The CONSORT statement: revised recommendations for improving the quality of reports of parallel-group randomised trials. *Lancet*, 357, 1191–1194.
- MULLIGAN, S., FLECK, S. J., GORDON, S. E., KOZIRIS, L. P., TRIPLETT-McBRIDE, T. N. & KRAEMER, W. J. (1996). Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (4), 256–262.
- OSTROWSKI, K. J., WILSON, G. J., WEATHERBY, R., MURPHY, P. W. & LYTTLE, A. D. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (1), 148–154.
- PAULSEN, G., MYKLESTAD, D. & RAASTAD, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 115–120.
- PETERSON, M. D., RHEA, M. R. & ALVAR, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 377–382.
- PHILIPP, M. (1999 a). Ein Satz genügt! – Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafttraining. *Leistungssport*, 29 (1), 26–28.
- PHILIPP, M. (1999 b). Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*, 29 (4), 27–34.
- REMMERT, H., SCHISCHEK, A., ZAMHÖFER, T. & FERRAUTI, A. (2005). Zum Einfluss der Regenerationsdauer auf die Kraft- und Muskelmassenzunahme im Rahmen eines Einsatz-Hochintensitätstrainings (High Intensity Training). *Leistungssport*, 35 (2), 15–19.
- RHEA, M. R., ALVAR, B. A., BALL, S. D. & BURKETT, L. N. (2002). Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16 (4), 525–529.
- RHEA, M. R., ALVAR, B. A., BURKETT, L. N. & BALL, S. D. (2003). A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (3), 456–464.
- RICHMOND, S. R. & GODARD, M. P. (2004). The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 846–849.
- ROBINSON, J. M., STONE, M. H., JOHNSON, R. L., PENLAND, C. M., WARREN, B. J. & LEWIS, R. D. (1995). Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9 (4), 216–221.
- RUSTENBACH, S. J. (2003). *Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Bern, Göttingen u. a.: Verlag Hans Huber.
- SANBORN, K., BOROS, R., HRUBY, J., SCHILLING, B., O'BRYANT, H. S., JOHNSON, R. L., HOKE, T. P., STONE, M. E. & STONE, M. H. (2000). Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 328–331.

- SCHLUMBERGER, A. & SCHMIDTBLEICHER, D. (1999). Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative – Möglichkeiten und Grenzen. *Leistungssport*, 29 (3), 9–11.
- SCHLUMBERGER, A., STEC, J. & SCHMIDTBLEICHER, D. (2001). Single- vs. multiple-set strength training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (3), 284–289.
- STARKEY, D. B., POLLOCK, M. L., ISHIDA, Y., WELSCH, M. A., BRECHUE, W. F., GRAVES, J. E. & FEIGENBAUM, M. S. (1996). Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (10), 1311–1320.
- STONE, M. H., CHANDLER, T. J., CONLEY, M. S., KRAMER, J. B. & STONE, M. E. (1996). Training to muscular failure: Is it necessary? *Strength and Conditioning Journal*, 18 (3), 44–48.
- STONE, M. H., PLISK, S. S., STONE, M. E., SCHILLING, B. K., O'BRYANT, H. S. & PIERCE, K. C. (1998). Athletic performance development: Volume Load-1 set vs. multiple sets, training velocity and training variation. *Strength and Conditioning Journal*, 20 (6), 22–31.
- STONE, M. H., POTTEIGER, J. A., PIERCE, K. C., PROULX, C. M., O'BRYANT, H. S., JOHNSON, R. L. & STONE, M. E. (2000). Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 332–337.
- STONE, W. J. & COULTER, S. P. (1994). Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 231–234.
- SZUBSKI, C. (1999). Der Einsatz-Training- versus Mehrsatz-Training-Dogmatismus – Ein Beispiel für Glaubenslehren in der Trainingswissenschaft? *Leistungssport*, 29 (4), 35.
- TAN, B. (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (3), 289–304.
- VINCENT, K., DEHOYOS, D. V., GARZARELLA, L., HASS, C., NORDMAN, M. & POLLOCK, M. L. (1998). Relationship between indices of knee extension strength before and after resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (Suppl. 5), p. 163.
- WEISS, L. W., CONEY, H. D. & CLARK, F. (1999). Differential functional adaptations to short-term low-, moderate-, and high-repetition weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (3), 236–241.
- WINETT, R. A. (2004). Meta-analyses do not support performance of multiple sets or high volume resistance training. *Journal of Exercise Physiology online*, 7 (5), 10–20.
- WIRTH, K. & SCHMIDTBLEICHER, D. (2002). Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining unter Berücksichtigung des Leistungsniveaus. *BISp Jahrbuch 2002* (S. 161–165). Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.
- WOLFE, B. L., LEMURA, L. M. & COLE, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (1), 35–47.
- ZATSIORSKY, V. M. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books.

## Beitrag IV

Fröhlich, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2010). Outcome effects of single-set vs. multiple-set training – an advanced replication study. *Research in Sports Medicine. An International Journal*, 18 (3), 157-175.





This article was downloaded by: [Fröhlich, Michael]

On: 8 July 2010

Access details: Access Details: [subscription number 924058384]

Publisher Taylor & Francis

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



## Research in Sports Medicine

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713926139>

### Outcome Effects of Single-Set Versus Multiple-Set Training—An Advanced Replication Study

Michael Fröhlich<sup>a</sup>; Eike Emrich<sup>a</sup>; Dietmar Schmidtbleicher<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institute of Sports Sciences, University of Saarland, Institute of Sports Sciences, Saarbrücken, Germany <sup>b</sup> Johann Wolfgang Goethe-University Frankfurt/Main, Institute for Sport Sciences, Frankfurt, Germany

Online publication date: 08 July 2010

**To cite this Article** Fröhlich, Michael , Emrich, Eike and Schmidtbleicher, Dietmar(2010) 'Outcome Effects of Single-Set Versus Multiple-Set Training—An Advanced Replication Study', Research in Sports Medicine, 18: 3, 157 — 175

**To link to this Article:** DOI: 10.1080/15438620903321045

**URL:** <http://dx.doi.org/10.1080/15438620903321045>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

## ORIGINAL RESEARCH

# Outcome Effects of Single-Set Versus Multiple-Set Training—An Advanced Replication Study

MICHAEL FRÖHLICH and EIKE EMRICH

*Institute of Sports Sciences, University of Saarland, Institute of Sports Sciences,  
Saarbrücken, Germany*

DIETMAR SCHMIDTBLEICHER

*Johann Wolfgang Goethe-University Frankfurt/Main,  
Institute for Sport Sciences, Frankfurt, Germany*

*The starting point of this review is the assumption that single-set training (SST) can be regarded as an equal alternative to multiple-set strength training. On the basis of 72 primary studies, the meta-analysis dealt with the problem of single-set vs. multiple-set training (MST). The effectiveness of these training methods was examined depending on various interventions. Apart from qualitative decision aspects, the effectiveness was checked on the basis of effect size. Generally speaking, it can be stated that MST, depending on factors like age, training experience, duration of the study, etc., offers several advantages over single-set regimes ( $F = 3.71$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.06$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ), especially when combined with periodization strategies, and it can be applied very successfully for increasing maximal strength in long-time effects. Therefore, the outcome effects of both methods are the same in short-time interventions. For longer-time interventions ( $F = 15.74$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.12$ ) and for advanced subjects with the goal of optimizing their strength gain, however, multiple-set strategies are superior ( $F = 7.32$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.06$ ).*

---

Received 9 January 2009; accepted 17 June 2009.

We thank the three reviewers for the constructive notes.

Address correspondence to Dr. Michael Fröhlich, Institute of Sports Sciences, University of Saarland, Campus Building B8 1, 66123 Saarbrücken, Germany. E-mail: m.froehlich@mx.uni-saarland.de

**KEYWORDS** *single-set, multiple-set, effect size, outcome, training, effectiveness*

## INTRODUCTION

Strength training is an essential part of training programs for many types of competitive athletes, for rehabilitation and the prevention of orthopedic or muscular injuries, as well as for older adults. The typical design of individual training programs usually is based on adjusting training parameters, such as training intensity, frequency per week, number of sets, number of exercises, and rest between sets according to the trainees's needs (Fleck and Kraemer 2004). Whereas the effects of different training intensities for varied methods and rest periods between sets have been well studied (Güllich and Schmidbleicher 1999; Robinson et al. 1995; Willardson and Burkett 2008), there is considerable demand for research focusing on the effects of different training volumes, especially the number of sets per exercise (Stone et al. 1998). A discussion has been going on in scientific literature for several years, especially in the early 1990s, as to which number of sets per exercise might be best (Byrd 1999; Carpinelli and Otto 1998; Galvao and Taaffe 2004; Munn et al. 2005; Schlumberger and Schmidbleicher 1999; Wolfe et al. 2004). The bottom line of the discussion is that if single-set training (SST) is equally effective as multiple-set training (MST) in terms of inducing an increase in strength and muscle mass, the former would be the most efficient kind of training considering the reduced training volume and time spent on training (Brown 1999; Carpinelli 2002). Feigenbaum and Pollock (1999) point out that a very important advantage of SST is its effectiveness in terms of achieved improvements in relation to the amount of time spent on training. Furthermore, for all subjects, SST produces the same health and fitness benefits as MST programs. In this context, in 1998, the American College of Sports Medicine (ACSM) originally issued the suggestion that a single-set intervention of 8 to 10 exercises would result in similar strength improvements as following a training of higher volume, e.g., 3 sets per exercise (ACSM 1998). A meta-analysis by Rhea, Alvar, et al. (2003) as well as by Peterson et al. (2004), however, found that MST was more effective in trained individuals, and the absolute effect was significantly higher than in SST interventions. Many other original studies have shown that MST produces superior strength gains, muscular hypertrophy, athletic performance, local muscular endurance, as well as higher growth hormone concentration when compared with SST (Craig and Kang 1994; Kraemer et al. 1995; Kraemer et al. 2000; Kramer et al. 1997; Mulligan et al. 1996; Rhea, Alvar, et al. 2002; Rønnestad et al. 2007). So, in 2002, the ACSM rerecommended the guidelines for resistance training prescription, adding the following (Kraemer et al. 2002):

1. In order to stimulate further adaptation toward specific training goals, progression in the type of resistance training protocol used is necessary.
2. Higher volume, multiple-set programs are recommended for maximizing hypertrophy.

In their concept about effectiveness and time consumption, Munn and colleagues (2005) point out that training with one set is less time consuming than training with three sets where the same exercises are being performed. Thus, although three sets of resistance exercise clearly produce greater strength gains in the early phases of training, a one-set protocol might sometimes be preferable to a three-set protocol if subject compliance or time prioritization is a concern. In addition, a shorter resistance exercise protocol would be advantageous in community-based programs, permitting a larger number of individuals to train with the available equipment or device (Galvao and Taaffe 2005). Nevertheless, Fleck and Kraemer (2004) suggested that after the neuromuscular system adapts to a strength stimulus, an increase in training volume is needed for additional adaptations to occur. A clear implication of the statement by Munn and coworkers (2005) as well as by Fleck and Kraemer (2004) is that the use of a single-set method may be appropriate for beginners and untrained individuals in the early phase of a training period (Rutherford and Jones 1986). Although the efficiency of SST, especially for recreational or noncompetitive trainees, is not questioned (Schlumberger and Schmidtbleicher 1999), the “costs” must also be taken into consideration. Therefore, the purpose of the present review was to compare the effectiveness and efficiency of a single-set program with a multiple-set one. Furthermore, it was hypothesized that the duration of the study (early neuronal adaptation phase vs. muscular hypertrophy phase at a later stage), the training experience (trained vs. untrained subjects), the age of the subjects (young people  $\leq 18$  years, middle-aged [19–59 years], and older adults  $\geq 60$  years), and the application of periodization strategies (nonperiodization vs. linear or undulating periodization) have the same influence on the effectiveness in SST and MST programs. We also discuss the practical relevance of the potential difference between SST vs. MST interventions by the use of effect sizes in strength training research (Rhea 2004). The aggregation of the empirical data and the quantitative integration of the results were accomplished by means of a meta-analysis to estimate the efficacy in strength training (Peterson et al. 2005; Rhea 2004, 2004a; Rhea, Alva et al. 2003; Wolfe et al. 2004).

## METHOD

### Literature Search

The search for literature was limited to exercise training studies published in 1985–2008. Primary data were aggregated by using computer databases and research systems like Medline, pubMed, Medpilot, Sport Discus, ViFa:Sport,

ERIC (Fröhlich and Schmidtbleicher 2008). Furthermore, hand searches of relevant journals, dissertations, anthologies, abstracts/supplements, and other references were conducted. Most of the relevant articles came from scientific journals that published studies on strength training research, e.g., *Journal of Strength and Conditioning Research* (55.2%), *Medicine and Science in Sports and Exercise* (14.9%), *Leistungssport* (9%), *Strength and Conditioning Journal* (6%), *Sports Medicine* (3%), *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (3%), *British Journal of Sports Medicine* (1.5%), *Research Quarterly for Exercise and Sport* (1.5%), *American Journal of Sports Medicine* (1.5%), etc. Description terms that were used to find relevant studies online in German and English included “Einsatztraining”, “Einsatz-Training”, “Mehrsatztraining”, “Mehrsatz-Training”, “single set”, “single-set”, “multiple set”, “multiple-set” in combination with or without “training” or “resistance training” (Fröhlich 2006).

### Coding of Studies

Each of the studies was read and coded by a previously determined, yet open system of codification. Descriptive information about each study was followed by aspects of testing procedures and training methods, information on methodology, and evaluation of the primary study, as well as the author's conclusions (see Fröhlich 2006; Rhea 2004). The codified data were described qualitatively (e.g., exercises used, study design, etc.) and quantitatively (e.g., training frequency, duration of the study, etc.) considering substantial aspects (e.g., relative characteristics of the subject population), distorting factors (e.g., research methods), and extrinsic aspects (e.g., language of publication; Peterson et al. 2004; Rhea 2004; Rustenbach 2003). A random selection of the studies was assessed by a second and third coder. Disagreement between the coders was resolved by consensus (reapplication of the coding system and inclusion of categories).

### Statistical Analysis and Calculation of Effect Size

The statistical analysis included factors such as the mean value, standard deviation, frequency distribution, confidence intervals (CI), and median. The interference-statistical calculation of significance was done using analyses of variance (ANOVA) and analyses of covariance (ANCOVA). Precondition tests were carried out applying the usual methods (KS test for Gaussian distribution, Levené test for homogeneity of variance and homogeneity of regression). The quotient of overall variability attributed to a certain factor was determined via partial  $\eta^2$  ( $\eta^2$ ). Calculation of effect size (ES = treatment effects) was analyzed for dependent samples (cases that supplied only  $t$  values or degrees of freedom/sample size, respectively, or the level of significance) by  $g = t/\sqrt{N}$  (Rustenbach 2003). Pre-post calculation of effect size for the training experiment

followed, if there was no data of a control group by  $(g_{\text{Hedges}} = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)/S_{\text{pooled}})$  with calculating  $s_{\text{pooled}}$  by

$$S_{\text{pooled}} = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

Effect size in studies with control groups was calculated by assessing the difference of mean values in the experimental group (ME) compared with the mean values in the control group (MC) divided by the standard deviation in the control group (SC). The ES formula was applied as follows:

$ES = (ME - MC)/SC$  (Wolfe et al. 2004). The level of significance was specified at  $P < 0.05$ . All calculations were carried out using SPSS for Windows (16.0).

### Methodical Criticism

In some meta-analytical studies, a median of the respective variables (e.g., 1-RM, muscle strength endurance, increase of muscle circumference, reduction of body fat, hormonal changes, etc.) was calculated and regarded as the “overall effect size” (Winett 2004). The following meta-analysis analyzes changes of the effect size of the factor “maximal strength,” normally 1-RM. Therefore, the comparison of the results of SST and MST in this study is a comparison of changes of maximal strength. A positive effect size thus indicated an improvement in strength following the training period. This approach was chosen because in the various primary studies, the operationalization of muscle strength endurance, muscle cross-sectional area, reduction of body fat, hormonal changes, cardio-pulmonary, and metabolic demands, etc., were assessed using several different approaches and different ranges of subject populations (Rhea 2004b). Furthermore, the training status in the categories “trained subjects” vs. “untrained subjects” in the primary studies was categorical. There was no or only little operationalization information about training status (e.g., frequency of training in the last months) in the primary studies. In addition to this, effect sizes (outcome effects) were calculated only for group training experiments and for study duration  $\geq 4$  weeks. Further conclusions cannot be drawn from the available data.

## RESULTS

### Study Selection

A total of 72 studies were located and retrieved that addressed the issue of SST vs. MST interventions (see the Appendix). Most of the studies were published in scientific journals ( $N = 59$ ; 81.9%). The rest of the primary studies were published in anthologies (4.2%), as abstracts/supplements

(8.3%), as columns (4.2%), and as monographs/theses (1.4%). Most studies were in English ( $N = 63$ ; 87.5%). A review process was conducted for 88.7% ( $N = 63$ ) with a mean impact factor of about  $1.7 \pm 0.9$  ( $N = 61$ ). The study design of the primary studies was as follows: (a) randomized controlled trial (RCT;  $N = 19$ ; 26.8%), (b) randomized studies without control group (RT;  $N = 26$ ; 36.6%) and 36.6% ( $N = 26$ ) of the primary studies applied, and (c) quasi-experimental study design as well as cross-over design, single case study or scientific overview. This meta-analysis is based on the data of a total of 2,428 subjects. Because of a statistical distortion in two studies (621 [meta-analysis by Wolfe et al. 2004] and 220 [abstract/supplement by Buskies and Palandt 2003] subjects, respectively), the number of subjects in the primary studies was reduced to 1,587. The average age of all subjects was  $28.0 \pm 15.0$  years (min = 8.5; max = 73.2; median = 21.5; there was no information as to the subjects' age in the two distorted studies). Subjects of the primary studies were 53.4% male ( $N = 31$  studies) and 12.1% female ( $N = 7$  studies), and in 34.5% of all studies, both male and female subjects were included ( $N = 20$  studies). More than half (54.5%) of the primary studies looked at trained subjects ( $N = 30$  studies), and in 45.5% of the studies, the subjects were untrained ( $N = 25$ ). In 57.7% ( $N = 41$ ) of the primary studies, periodization strategies (e.g., linear, daily, or weekly undulating strategies) were applied (no periodization strategies 42.3%;  $N = 30$ ). Single-set training (SST) methods and MST methods were directly compared in 31 of the primary studies ( $N = 43.1\%$ ). Of the primary studies, 56.9% ( $N = 41$ ) referred to the topic of SST versus MST, but they did not offer a statistically relevant comparison. The relative intensity (percent 1-RM) ranged between 40% and 95%, while most studies applied relative intensities of 70% to 85%. The average training frequency as to the number of workouts within one microcycle (usually a week) was  $2.8 \pm 0.7$  ( $N = 53$ ; Fröhlich et al. 2008). The mean number of training sessions per study was  $37.3 \pm 23.9$  ( $N = 50$ ; min = 9; max = 116) over a time span of  $13.7 \pm 8.0$  weeks, with the longest study lasting 40 weeks (min = 4 weeks). In a further step, we divided the study duration into five categories (all with nearly the same sample size): (a) study duration 1–6 weeks (early learning and familiarization as well as neuromuscular adaption phase), (b) 7–12 weeks (first morphological adaption phase), (c) 13–18 weeks (further morphological adaption phase), (d) 19–24 weeks (first long-time effects in a neuromuscular, morphological, and structural way), and (e) 25–30 weeks (long-time effects; Moritani 1992; Rutherford and Jones 1986; Sale 1988). Of the primary studies, 81.9% ( $N = 59$ ) contained information concerning which method of strength testing was applied. In most of the studies, 1-RM-tests were carried out (69.4 %;  $N = 50$ ). Isometrical and/or isokinetical tests of maximal strength as well as calculations of maximal strength from submaximal strength tests (e.g., 8-RM or 12-RM) were applied less frequently.

## Main Effects

Across all designs, different interventions, and categories, the effect size of 1-RM ranged from 0.05 to 5.16, and the mean intervention effect size from pre-test to post-test was  $0.98 \pm 0.70$  with a 95% CI = 0.87–1.10. According to Rhea's (2004a) categories to differentiate effect sizes in strength training research, the degree to which resistance training produced beneficial positive changes in muscular strength (1-RM) ranged from trivial ( $<0.25$  highly trained subjects) to large ( $>2.0$  untrained subjects), with a moderate to wide overall outcome. In addition, 54 effect sizes were calculated for single-set interventions ( $ES = 0.83 \pm 0.61$ ; 95% CI = 0.65–1.02), and 100 effect sizes were estimated for MST settings ( $ES = 1.10 \pm 0.74$ ; 95% CI = 0.92–1.20). A general significant difference between SST and MST was not found ( $F = 3.71$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.06$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ). The outcome effects in MST were yet 27.2% higher than in SST interventions.

## Subject Characteristics

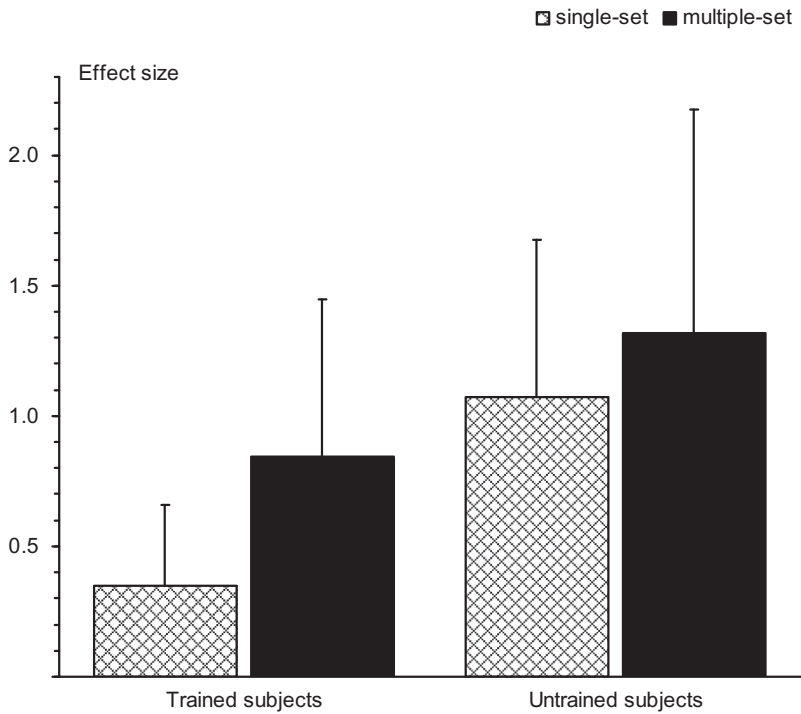
A  $3 \times 2$  covariance analysis was performed to determine the age effect (young people, middle-age, and older adults) between SST and MST. Cofactors were study duration and training experience. The analysis of simple main effects revealed that there were neither significant differences between single-set and multiple-set ( $F = 2.52$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.12$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ), nor between the age categories ( $F = 1.74$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0.18$ ;  $\eta^2 = 0.03$ ). No significant interaction of age category and the number of sets was found ( $F = 1.32$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0.27$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ).

We also analyzed the outcome of training status in the categories “trained” vs. “untrained,” and the number of sets performed. There was a significant difference (main effect) per training to the factor training experience ( $F = 14.27$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.10$ ), which means that untrained subjects gained more maximal strength from either training method than trained subjects. Furthermore, we found a significant difference (main effect number of sets) between SST and MST ( $F = 7.32$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.06$ ). The interaction of the factors training experience and number of sets is shown in Figure 1.

## Subgroup Analysis

Whether or not periodization strategies were applied had the following influence on the results (ANCOVA with cofactors study duration and training experience): (a) main effect number of sets ( $F = 3.16$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.08$ ;  $\eta^2 = 0.03$ ); (b) main effect periodization ( $F = 2.56$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.11$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ); and (c) interaction number of sets by periodization ( $F = 2.41$ ;  $df = 1$ ;





**FIGURE 1** Effect sizes of single-set and multiple-set training depending on the training experience of the subjects (mean ± SD).

$p = 0.12$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ). Effect sizes of periodization strategies in multiple-set training interventions ( $1.13 \pm 0.85$ ) are 21.4% higher than those of nonperiodization strategies ( $0.93 \pm 0.50$ ).

Concerning the duration of the primary studies, there is a significant difference between single-set and multiple-set studies ( $F = 15.74$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.12$ ). Furthermore, the duration of the study (main effect 2) had a significant influence on the effect sizes ( $F = 9.18$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.24$ ). Interaction between duration of the study and number of sets ( $F = 3.97$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.12$ ) is shown in Table 1.

**TABLE 1** Effect Sizes of Single-Set and Multiple-Set Interventions for Different Study Durations

|              | Study duration |             |             |             |             |
|--------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|              | 1–6 weeks      | 7–12 weeks  | 13–18 weeks | 19–24 weeks | 25–30 weeks |
| Single-set   | 0.76 ± 0.32    | 1.02 ± 0.71 | 0.89 ± 1.07 | 0.76 ± 0.69 | 1.24 ± 0.34 |
| Multiple-set | 0.87 ± 0.38    | 1.05 ± 0.62 | 1.23 ± 0.64 | 0.81 ± 0.47 | 3.42 ± 2.04 |

Note: (Mean ± SD).

## DISCUSSION

### Main Aspects

Seventy-two primary studies were analyzed. The subject populations were very heterogeneous. Subjects included postmenopausal women (Kemmler et al. 2004), college students (Stone et al. 2000), beginners (Buskies and Palandt 2003), and recreational athletes (Hass et al. 2000). The subjects' age ranged between 8.5 and 73.2 years. This heterogeneity was mirrored in the variables sex and training experience. In this context, the garbage-in and garbage-out criterion in meta-analysis was affected (Bortz and Döring 2006). The quality of the description of study characteristics like training parameters, training methods, testing methods, etc., varied considerably from study to study, so that only 54 effect sizes for single-set training and 100 effect sizes for multiple-set training could be calculated. Within these primary studies, a general significant difference between the results of single-set and multiple-set training could not be found. The statistical  $p$ -level was marginally missed ( $p = 0.06$ ), but the practical relevance between the two training methods is high (Fröhlich 2006). The outcome effect for MST was 27.2% higher than for SST (Borst et al. 2001; Greiwing and Freiwald 2005; Kraemer 1997; Kraemer et al. 2000; Kramer et al. 1997; Marx et al. 1998; Munn 2005; Rhea, Alvar et al. 2002; Schlumberger, Stec, and Schmidtbleicher et al. 2001). Similar conclusions were drawn by De Hoyos et al. (1998), Galvao and Taaffe (2005), Munn et al. (2005), and Sanborn et al. (2000). They all summarized that training with multiplesets produces greater changes in strength than single-set interventions. Galvao and Taaffe (2005) point out that MST produces greater changes in strength and muscle endurance than single sets in healthy older adults. Nevertheless, low-volume training resulted in substantial improvements in strength, albeit not to the same level as the multiset regimen, and it should be incorporated when time available for exercise is limited. An original study by Kramer et al. (1997) found increases in strength for the squat that were 50% higher for multiple-set than for single-set interventions. Current studies by Kelly et al. (2007), Landin and Nelson (2007), and Rønnestad et al. (2007) demonstrated that MST is superior to SST with regard to strength gains. Willardson (2007) described the effects between one set to failure vs. multiple sets not performed to failure and demonstrated that the latter approach was superior for increasing maximal strength and power (Sanborn et al. 2000). In contrast, studies by Hass et al. (2000), Messier and Dill (1985), Ostrowski et al. (1997), as well as Vincent and colleagues (1998) found comparable improvements for single-set and multiple-set methods. Messier and Dill (1985) suggested that for a training period of short duration, Nautilus circuit weight training (single-set interventions) appears to be equally effective for untrained individuals. Similar results were found by Hass et al.:

After 13 wk of training, both groups had significantly improved their muscular strength, muscular endurance, and body composition. However, there were no significant differences between groups in the improvement of muscular strength or muscular endurance. Furthermore, both groups experienced similar improvements in body composition. (2000, p. 241).

In contrast to this, the studies by Paulsen et al. (2003) and Starkey et al. (1996) found higher effect sizes for SST than for MST. These studies, however, each tested isometrical and isokinetical strength gains using special training equipment, which must be taken into account when transferring these results to other training settings. In contrast to these findings, Kelly et al. (2007) concluded that performing three sets of isokinetic knee extensions was more effective than performing a single set for increasing peak torque.

### Subgroup Aspects

In this review, age in the categories “young people,” “middle-aged subjects,” and “older adults” is not a factor with a significant influence on the efficiency of SST vs. MST. In this context, Galvao and Taaffe (2005) found that for 28 community-dwelling men and women aged between 65 to 78 years, that resistance training with only one set enhances muscle function and physical performance, but muscle strength and endurance gains are greater with higher-volume methods. The meta-analyses by Rhea, Alvar et al. (2003) and Wolfe et al. (2004) found no differences in strength gains between men and women. In these studies, the strength increases of the subjects were analyzed by categorizing subjects according to their age (15 to 25 years, 37 to 41 years, and 47 to 65 years), but no significant influence of the factor age was found (Wolfe et al. 2004, p. 43). It is well documented that an individual's strength level varies considerably at different ages (Fleck and Kraemer 2004), but significant differences between the effects of single-set versus higher volume could not be found. The higher training volume of multiple-set interventions is believed to have a positive effect on the factor coordination, which may be advantageous for trainees with an emphasis on improving coordinative factors, e.g., during prepubertal phases. Beginners and formerly untrained people make similar progress from SST as from MST and successfully can increase strength levels with either training method (Landin and Nelson 2007; see overview by Galvao and Taaffe 2004). A clear implication that emerges from this statement is that the use of single-set programs may be appropriate for those who are beginners or untrained during the initial training period (Wolfe et al. 2004). The same aspect is stressed by Schlumberger and Schmidtbleicher (1999), who point out that MST will offer no advantages over single sets for beginners since strength increases during this initial phase mainly are due to coordinative and neuromuscular factors (Fleck and Kraemer 2004). Lavin (1999) agrees with this view:

Increases in strength in untrained subjects in the first 8–12 weeks of a resistance-training program are mostly due to neural recruitment. After this, the muscle begins to hypertrophy. Most of the research that claims that performing a single set to failure is as effective as multiple-set training has been done on untrained subjects within the first 8 weeks of a new program. During this phase of training, beginners will react to almost any stimulus (p. 17).

After this initial phase, muscular hypertrophy is an important factor for strength increases. Since these adaptations do not only depend on high resistance and high intramuscular tension, but also on depleting intramuscular energy levels, training intensity and training volume, as well as the time under tension are important factors for muscle hypertrophy (Fröhlich et al. 2007; Kraemer 2002; Zatsiorsky 1995). Craig and Kang (1994) underline the relevance of the factor training volume for increasing endogenous levels of human growth hormone: “The results indicate that total work may be more important than exercise intensity in stimulating hGH production during resistance training” (Craig and Kang 1994, p. 273). Another advantage of MST is that usually it results in a high accumulation of lactate, which seems to be beneficial for inducing muscular hypertrophy: “The higher plasma lactic acid accumulation following the progressive protocol, as opposed to the lactic acid response of single-set trials, suggests that muscle glycogen was utilized to a greater extent during the progressive routine” (Craig and Kang 1994, p. 274). In a study that had 10 women do either multiple sets or single sets, Mulligan et al. (1996) found that multiple sets resulted in an increase of growth hormone, lactate, and the catabolic hormone cortisol after the workout (0, 15, and 30 minutes), whereas only two of these hormones (growth hormone and cortisol) were elevated right after the workout (cortisol) and 15 minutes after the workout (cortisol and growth hormone). Therefore, the authors concluded that hormonal responses also must be taken into consideration when comparing these two methods. Kraemer (2002) even believed that there is a direct relationship between the number of sets and the progress made from a training program.

It must be emphasized, however, that training intensity as one of the most decisive parameters of strength training programs could not be included in the analysis. This was due to the fact that most of the primary studies lacked sufficient information as to which degree of training intensity the sets were taken to and which percentage of relative intensity was used for that. This makes it even more difficult to prove a potential superiority of either SST or MST. Peterson et al. (2004) and Rhea, Alvar, et al. (2003) found that a relative intensity of as little as 60% of the 1-RM were enough to increase strength levels for beginners or untrained subjects. More advanced athletes should increase relative intensity to 80%–85% of their 1-RM (Kraemer 2002). Periodized MST results in higher increases of strength levels than nonperiodized SST (Landin and Nelson 2007). Which kind of periodization

models (linear, daily undulating, weekly undulating) produce the highest effect (outcome) has not been adequately analyzed (Buford et al. 2007; Rhea, Phillips, et al. 2003). A current study by Niknafs and Kok (2008) detected no significant difference in maximal strength or strength endurance between linear and undulating periodization models in untrained men.

Fleck and Kraemer (2004), Fleck (2002), Kraemer and Fleck (2007), as well as Willoughby (1993) point out the importance of periodization strategies for advanced trainees and competitive athletes. Stone et al. (2000) compared the effects of 12 weeks of a “nonperiodized linear model,” a “step-wise periodized model,” and an “overreaching periodized model” in terms of increasing the squat 1-RM. In contrast to the “nonperiodized model,” both periodized programs resulted in a significant increase of the subjects’ 1-RM for the squat. Similar results were found by Rhea et al. (2002a), who concluded that for recreationally trained individuals who used daily undulating periodization training, three sets of training are superior to one set for eliciting maximal strength gains. Sanborn and colleagues (2000) agree with this. They pointed out that training protocols with multiple sets and variation in volume, training intensity, and exercise speed can enhance performance to a greater extent than a single-set intervention to failure protocol.

## CONCLUSION

The aim of this meta-analysis was to compare the efficiency of SST versus MST for increasing maximal strength levels. The results correspond to a great extent with those found in many overview studies in this context, such as the studies by Peterson et al. (2004, 2005), Rhea, Alvar, et al. (2003), and Wolfe et al. (2004). Generally speaking, it can be stated that MST, depending on factors like age, training experience, duration of the study, etc., offers several advantages over SST regimes, especially when combined with periodization strategies, and it can be applied very successfully for increasing maximal strength in long-time effects. Therefore, the outcome effects of both methods are the same in short-time interventions. For longer-time interventions and for advanced subjects with the goal of optimizing their strength gain, however, MSS are superior. For untrained subjects SST shows equal effects.

## REFERENCES

- Abe T, DeHoyos DV, Pollock ML, Garzarella L (2000) Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology* 81(3): 174–180.
- American College of Sports Medicine (ACSM) (1998) American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise

- for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(6): 975–991.
- Baker D (2001) The effects of an in-season of concurrent training on the maintenance of maximal strength and power in professional and college-aged rugby league football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15(2): 172–177.
- Baker D, Wilson G, Carlyon R (1994) Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8(4): 235–242.
- Bellew JW, Yates JW, Gater DR. (2003) The initial effects of low-volume strength training on balance in untrained older men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(1): 121–128.
- Borst SE, De Hoyos DV, Garzarella L, Vincent K, Pollock BH, Lowenthal DT, Pollock ML (2001) Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(4): 648–653.
- Bortz J, Döring N (2006) Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer.
- Brown LE (1999) Efficacy of weight training: Multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal* 21(3): 17.
- Buford TW, Rossi SJ, Smith DB, Warren AJ (2007) A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(4): 1245–1250.
- Buskies W, Palandt G (2003) Einsatz- versus Mehrsatztraining im Gesundheitssport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 54(7/8): 41.
- Byrd R (1999) Strength training: Single versus multiple sets. *Sports Medicine* 27(6): 409–416.
- Carpinelli RN (2002) Berger in retrospect: Effect of varied weight training programmes on strength. *British Journal of Sports Medicine* 36: 319–324.
- Carpinelli RN, Otto RM (1998) Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Medicine* 26(2): 73–84.
- Coutts AJ, Murphy AJ, Dascombe BJ (2004) Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(2): 316–323.
- Craig BW, Kang H-Y (1994) Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: Total work versus power. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8(4): 270–275.
- De Hoyos D, Abe T, Garzarella L, Hass C, Nordman M, Pollock M (1998) Effects of 6 months of high-or-low-volume resistance training on muscular strength and endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(5)(Suppl.): 165.
- DiFrancisco-Donoghue J, Werner W, Douris PC (2007) Comparison of once-weekly and twice-weekly strength training in older adults. *British Journal of Sports Medicine* 41(1): 19–22.
- Faigenbaum AD, Loud RL, O'Connell J, Glover S, O'Connell J, Westcott WL (2001) Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15(4): 459–465.

- Feigenbaum MS, Pollock ML (1999) Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31(1): 38–45.
- Fleck SJ (2002) Periodization of training. In Kraemer WJ, Häkkinen K (Eds.), *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport*. Oxford: Blackwell Science Ltd. Pp. 55–68.
- Fleck SJ, Kraemer WJ (2004) *Designing resistance training programs*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fröhlich M (2006) Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft* 36(3): 269–291.
- Fröhlich M, Gießing J, Schmidtbleicher D, Emrich E (2007) Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining - ein explorativer Ansatz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 58(1): 25–30.
- Fröhlich M, Gießing J, Schmidtbleicher D, Emrich E (2008) A comparison between 2 and 3 days of strength training per week — A metaanalytical approach. In: Gießing J, Fröhlich M, editors. *Current results of strength training research. A multi-perspective approach*. Göttingen: Cuvillier Verlag. Pp. 151–166.
- Fröhlich M, Schmidtbleicher D (2008) Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 59(2): 34–42.
- Galvao DA, Taaffe DR (2004) Single- vs. multiple-set resistance training: Recent developments in the controversy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(3): 660–667.
- Galvao DA, Taaffe DR (2005) Resistance exercise dosage in older adults: single-versus multiset effects on physical performance and body composition. *Journal of the American Geriatrics Society* 53(12): 2090–2097.
- Gießing J (2000) Das Heavy-Duty-Konzept. *Leistungssport* 30(4): 19–23.
- Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M, Gorostiaga EM (2006) Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20(1): 73–81.
- Goto K, Nagasawa M, Yanagisawa O, Kizuka T, Ishii N, Takamatsu K (2004) Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(4): 730–737.
- Graves JE (1999) Efficacy of weight training: Multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal* 21(3): 17.
- Graves JE, Pollock ML, Jones AE, Jones WE, Colvin A (1999) Number of repetitions does not influence the initial response to resistance training in identical twins. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26(Suppl. 5): S74.
- Greiwing A, Freiwald J (2005) Effects of 3 resistance training methods on maximal strength, strength endurance and muscle thickness of the m. quadriceps femoris. In: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Eds.), *Current results in strength training research. An empirical and theoretical approach*. Göttingen: Cuvillier. Pp. 65–79.
- Güllich A, Schmidtbleicher D (1999) Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 50(7+8): 223–234.
- Hass CJ, Garzarella L, De Hoyos D, Pollock ML (2000) Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(1): 235–242.

- Heiduk R, Preuss P, Steinhöfer D (2002) Die optimale Satzzahl im Krafttraining: Einsatz- versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport* 32(4): 4–13.
- Hoffman JR, Ratamess NA, Cooper JJ, Kang J, Chilakos A, Faigenbaum AD (2005) Comparison of loaded and unloaded jump squat training on strength/power performance in college football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(4): 810–815.
- Humburg H (2007) *Effektives Fitnesstraining. 1-Satz- vs. 3-Satz-Training*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller. P. 148.
- Humburg H, Baars H, Braumann KM (2005) 1 Satz vs. 3 Satz Krafttraining. Eine Crossover-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56(7/8): 237.
- Kelly SB, Brown LE, Coburn JW, Zinder SM, Gardner LM, Nguyen D (2007) The effect of single versus multiple sets on strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(4): 1003–1006.
- Kemmler WK, Lauber D, Engelke K, Weineck J (2004) Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(4): 689–694.
- Kirk EP, Washburn RA, Bailey BW, LeCheminant JD, Donnelly JE (2007) Six months of supervised high-intensity low-volume resistance training improves strength independent of changes in muscle mass in young overweight men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1): 151–156.
- Knobl O, Schott N, Wirth K, Schmidbleicher D (2004) The effects of free weight training for older adults. In: Dvir Z (Ed.), *Isokinetics and exercise science*. Amsterdam/Washington, DC/Tokyo: IOS Press. Pp. 45–46.
- Kraemer WJ (1997) A series of studies — The physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11(3): 131–142.
- Kraemer WJ (2002) Developing a strength training workout. In: Kraemer WJ, Häkkinen K (Eds.), *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport*. Oxford u. a.: Blackwell Science Ltd. Pp. 37–54.
- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, Fleck SJ, Franklin B, Fry AC, R. HJ, et al. (2002) Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(2): 364–380.
- Kraemer WJ, Fleck SJ (2007) *Optimizing strength training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kraemer WJ, Newton RU, Bush J, Volek JS, Triplett NT, Koziris LP (1995) Varied multiple set resistance training program produces greater gains than single set program. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27(Suppl. 5): S195.
- Kraemer WJ, Ratamess NA, Fry AC, Triplett-McBride T, Koziris LP, Bauer JA, Lynch JM, Fleck SJ (2000) Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *American Journal of Sports Medicine* 28(5): 626–633.
- Kramer JB, Stone MH, O'Bryant HS, Conley MS, Johnson RL, Nieman DC, Honeycutt DR, Hoke TP (1997) Effects of single vs. multiple sets of weight training: Impact of volume, intensity, and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11(3): 143–147.



- Landin D, Nelson AG (2007) Early phase strength development: A four-week training comparison of different programs. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(4): 1113–1116.
- Lavin G (1999) Efficacy of weight training: multiple sets versus single sets. *Strength and Conditioning Journal* 21(3): 17.
- Mangine GT, Ratamess NA, Hoffman JR, Faigenbaum AD, Kang J, Chilakos A (2008) The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(1): 132–139.
- Marx JO, Nindl BC, Gotshalk LA, Volek JS, Harman FS, Dohi K, Bush JA, Fleck SJ, Häkkinen K, Kraemer WJ (1998) The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women. In: Häkkinen K (Ed.), *International conference on weightlifting and strength training*. Lathi, Finland: Gummerus Printing. Pp. 167–168.
- Messier SP, Dill ME (1985) Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to nautilus circuit weight training. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56(4): 345–351.
- Moritani T (1992) Time course of adaptations during strength and power training. In: Komi PV (Ed.), *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. Pp. 266–278.
- Mulligan S, Fleck SJ, Gordon SE, Koziris LP, Triplett-McBride TN, Kraemer WJ (1996) Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 10(4): 256–262.
- Munn J, Herbert RD, Hancock MJ, Gandevia SC (2005) Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37(9): 1622–1626.
- Niknafs S, Kok L-Y (2008) A comparison of linear and undulating periodization for improving maximal strength and strength endurance in untrained men. In: Fleck SJ, Kraemer WJ, Brown LE, Antonio J, Weir J, Ebben WP, Stout J (Eds.), *6th International Conference on Strength Training*. Colorado Springs, CO: National Strength and Conditioning Association. Pp. 143–144.
- Ostrowski KJ, Wilson GJ, Weatherby R, Murphy PW, Lyttle AD (1997) The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11(1): 148–154.
- Paulsen G, Myklestad D, Raastad T (2003) The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(1): 115–120.
- Peterson MD, Dodd DJ, Alvar BA, Rhea MR, Favre M (2008) Undulation training for development of hierarchical fitness and improved firefighter job performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(5): 1683–1695.
- Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA (2004) Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(2): 377–382.
- Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA (2005) Application of the dose-response for muscular strength development: A review of meta-analytic efficacy and reliability

- for designing training prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(4): 950–958.
- Philipp M (1999a) Ein Satz genügt!-Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafttraining. *Leistungssport* 29(1): 26–28.
- Philipp M (1999b) Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport* 29(4): 27–34.
- Remmert H, Schischek A, Zamhöfer T, Ferrauti A (2005) Influence of recovery duration on increase of strength and muscular growth within a high-intensity training (HIT). In: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P, editors. *Current results of strength training research*. Göttingen: Cuvillier Verlag. p 89–102.
- Rhea MR (2004a) Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(4): 918–920.
- Rhea MR (2004b) Synthesizing strength and conditioning research: The meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(4): 921–923.
- Rhea MR, Alvar BA, Ball SD, Burkett LN. (2002) Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 16(4): 525–529.
- Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD (2003) A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35(3): 456–464.
- Rhea MR, Ball SD, Phillips WT, Burkett LN (2002) A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 16(2): 250–255.
- Rhea MR, Phillips WT, Burkett LN, Stone WJ, Ball SD, Alvar BA, Thomas AB (2003) A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(1): 82–87.
- Richmond SR, Godard MP (2004) The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(4): 846–849.
- Robinson JM, Stone MH, Johnson RL, Penland CM, Warren BJ, Lewis RD (1995) Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9(4): 216–221.
- Rønnestad BR (2004) Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(4): 839–845.
- Rønnestad BR, Egeland W, Kvamme NH, Refsnes PE, Kadi F, Raastad T (2007) Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1): 157–163.
- Rustenbach SJ (2003) *Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber. P. 291.
- Rutherford OM, Jones DA (1986) The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology* 55: 100–105.

- Sale DG (1988) Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20(5): 135–145.
- Sanborn K, Boros R, Hruby J, Schilling B, O'Bryant HS, Johnson RL, Hoke TP, Stone ME, Stone MH (2000) Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14(3): 328–331.
- Schlumberger A, Schmidtbleicher D (1999) Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative - Möglichkeiten und Grenzen. *Leistungssport* 29(3): 9–11.
- Schlumberger A, Stec J, Schmidtbleicher D (2001) Single- vs. multiple-set strength training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15(3): 284–289.
- Starkey DB, Pollock ML, Ishida Y, Welsch MA, Brechue WF, Graves JE, Feigenbaum MS (1996) Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28(10): 1311–1320.
- Stone MH, Chandler TJ, Conley MS, Kramer JB, Stone ME (1996) Training to muscular failure: Is it necessary? *Strength and Conditioning* 18(3): 44–48.
- Stone MH, Plisk SS, Stone ME, Schilling BK, O'Bryant HS, Pierce KC (1998) Athletic performance development: Volume Load-1 set vs. multiple sets, training velocity and training variation. *Strength and Conditioning Journal* 20(6): 22–31.
- Stone MH, Potteiger JA, Pierce KC, Proulx CM, O'Bryant HS, Johnson RL, Stone ME (2000) Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14(3): 332–337.
- Stone WJ, Coulter SP (1994) Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8(4): 231–234.
- Szymanski DJ, Szymanski JM, Bradford TJ, Schade RL, Pascoe DD (2007) Effect of twelve weeks of medicine ball training on high school baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(3): 894–901.
- Szymanski DJ, Szymanski JM, Molloy JM, Pascoe DD (2004) Effect of 12 weeks of wrist and forearm training on high school baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(3): 432–440.
- Tan B (1999) Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: A review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13(3): 289–304.
- Vincent K, DeHoyos DV, Garzarella L, Hass C, Nordman M, Pollock ML (1998) Relationship between indices of knee extension strength before and after resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(Suppl. 5): S163.
- Weiss LW, Coney HD, Clark F (1999) Differential functional adaptations to short-term low-, moderate-, and high-repetition weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13(3): 236–241.
- Willardson JM (2007) The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(2): 628–631.
- Willardson JM, Burkett LN (2008) The effect of different rest intervals between sets on volume components and strength gains. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(1): 146–152.

- Willoughby DS (1993) The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 7(1): 2–8.
- Winett RA (2004) Meta-analyses do not support performance of multiple sets or high volume resistance training. *Journal of Exercise Physiology Online* 7(5): 10–20.
- Wolfe BL, LeMura LM, Cole PJ (2004) Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(1): 35–47.
- Zatsiorsky VM (1995) *Science and practice of strength training*. Champaign, IL: Human Kinetics Books.

## APPENDIX: ANALYZED PRIMARY STUDIES IN ALPHABETICAL ORDER

(Abe et al. 2000; Baker 2001; Baker et al. 1994; Bellew et al. 2003; Borst et al. 2001; Buford et al. 2007; Buskies and Palandt 2003; Byrd 1999; Carpinelli and Otto 1998; Coutts et al. 2004; Craig and Kang 1994; De Hoyos et al. 1998; DiFrancisco-Donoghue et al. 2007; Faigenbaum et al. 2001; Feigenbaum and Pollock 1999; Galvao and Taaffe 2005; Gießing 2000; Gonzalez-Badillo et al. 2006; Goto et al. 2004; Graves 1999; Graves et al. 1999; Greiwing and Freiwald 2005; Hass et al. 2000; Heiduk et al. 2002; Hoffman et al. 2005; Humburg 2007; Humburg et al. 2005; Kelly et al. 2007; Kemmler et al. 2004; Kirk et al. 2007; Knobl et al. 2004; Kraemer 1997; Kraemer 2002; Kraemer et al. 2002; Kraemer et al. 1995; Kraemer et al. 2000; Kramer et al. 1997; Landin and Nelson 2007; Lavin 1999; Mangine et al. 2008; Marx et al. 1998; Messier and Dill 1985; Mulligan et al. 1996; Munn et al. 2005; Niknafs and Kok 2008; Ostrowski et al. 1997; Paulsen et al. 2003; Peterson et al. 2008; Peterson et al. 2004; Philipp 1999a; Philipp 1999b; Remmert et al. 2005; Rhea, Alvar, et al. 2002; Rhea, Ball, et al. 2002; Rhea, Phillips, et al. 2003; Richmond and Godard 2004; Robinson et al. 1995; Rønnestad 2004; Rønnestad et al. 2007; Sanborn et al. 2000; Schlumberger and Schmidtbleicher 1999; Schlumberger et al. 2001; Starkey et al. 1996; Stone et al. 1996; Stone et al. 1998; Stone et al. 2000; Stone and Coulter 1994; Szymanski et al. 2007; Szymanski et al. 2004; Tan 1999; Vincent et al. 1998; Weiss et al. 1999; Wolfe et al. 2004).

## Beitrag V

Fröhlich, M., Schmidbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche – ein metaanalytischer Zugang. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 19 (2), 6-21.



**Michael Fröhlich, Dietmar Schmidtbleicher & Eike Emrich**

## **Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche – ein metaanalytischer Zugang**

A COMPARISON BETWEEN TWO AND THREE DAYS OF STRENGTH TRAINING PER WEEK– A META-ANALYTICAL APPROACH

### *Zusammenfassung*

Die Frage nach der optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining besitzt sowohl im Freizeit-, Breiten- und Leistungssport als auch im Sinne des Evidence Based Trainings hohe praktische Bedeutung. Im Rahmen einer Metaanalyse konnten an insgesamt 1850 Probanden 96 Effektstärken durch Trainingsinterventionen bezüglich der Veränderung der Maximalkraft bei zwei- und dreimaligem Training pro Woche berechnet werden. Betrachtet man die Effektstärken als quantitatives Maß zur Beurteilung von Trainingsinterventionen, so kann kein signifikanter Unterschied zwischen zwei ( $ES\ 1.28 \pm 1.09$ ) und drei Trainingseinheiten pro Woche ( $ES\ 1.36 \pm 0.93$ ) festgestellt werden ( $F = 0.18$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.67$ ;  $\eta^2 = 0.002$ ). Des Weiteren haben Geschlecht und Alter der Primärstudienteilnehmer sowie Trainingszustand und Trainingsmethode keinen signifikanten statistischen Einfluss auf die Trainingshäufigkeit (2 vs. 3 Trainingseinheiten). Letztendlich muss ökonomisch rational und somit individuell sowie intraindividuell entschieden werden, inwiefern eher zwei oder eher drei Trainingseinheiten pro Woche realisiert werden sollen.

### *Abstract*

Training frequency in strength training is one of the most important training parameters concerning competitive and non-competitive sports as well as Evidence Based Training. A meta-analysis was carried out to determine the effect size of training interventions in relation to maximal strength. 1850 subjects were examined with a total of 96 effect sizes at 1-RM. The results of the meta-analysis show that there is no significant difference between two ( $ES\ 1.28 \pm 1.09$ ) and three ( $ES\ 1.36 \pm 0.93$ ) training sessions per week ( $F = 0.18$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.67$ ;  $\eta^2 = 0.002$ ). Furthermore, the effect size of the training frequency (two vs. three sessions) is not statistically influenced by the factors sex, age, fitness level, or training method. In order to determine the optimal training frequency economic considerations are necessary. As a consequence, individual and intraindividual aspects need to be taken into account when deciding for two or three training sessions per week.

## **1 Einleitung und Problemstellung<sup>1</sup>**

Krafttraining besitzt einerseits eine hohe positive Wirk- und Vitalfunktion auf den Organismus, die Psyche und das Selbstwertgefühl und ist andererseits unabdingba-

<sup>1</sup> Die Autoren möchten sich bei Dr. Klaus Wirth für konstruktive Hinweise sowie dezidierte Anregungen herzlich bedanken.

re Voraussetzung eines zielorientierten Trainings in nahezu allen Sportarten und Disziplinen (American College of Sports Medicine, 1998; 2002; Fleck & Kraemer, 1997). Die verschiedenen Krafttrainingsmethoden können durch die Widerstandslast, die Serienzahl, die Anzahl der Wiederholungen in einer Serie, die Trainingshäufigkeit, die Art der Übung, die Übungsausführung, die Bewegungsgeschwindigkeit, den Bewegungsumfang (ROM) usw. beschrieben werden und verfügen über eine vielfältige Variationsbreite und hohe Komplexität. Nach Toigo (2006) spielt neben der Belastungsintensität, der intra- und interseriellen Pausengestaltung und der Anzahl an Serien die Trainingshäufigkeit in den Feldern Gesundheit, Prävention und Rehabilitation sowie im Breiten- und Leistungssport eine entscheidende Rolle.

Unter dem Begriff der *Trainingshäufigkeit* versteht man die Anzahl der Trainingseinheiten innerhalb eines Trainingszyklus, in der Regel einer Woche oder eines Monats (so genannter Mikrozyklus). Hoffman, Kraemer und Fry (1990) betonen, dass die Informationen zur Trainingshäufigkeit noch relativ unspezifisch und entsprechende Empfehlungen eher theoretisch begründet, denn empirisch verifiziert sind. Des Weiteren konnte eine hohe Variationsbreite innerhalb der Empfehlungen zur Trainingshäufigkeit in der Literatur festgestellt werden (im Überblick American College of Sports Medicine, 2002; Baechle, Earle & Wathan, 2000). Ähnlich argumentiert Tesch (1992), indem er herausstellt, dass die Fragen nach dem optimalen Erholungsschema, nach der individuellen Variationsbreite der Trainingsanpassung sowie nach dem Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Erholungszeit und adaptativen Reaktionen noch weitgehend offen bleiben müssen (vgl. Toigo, 2006).

So sollen beispielsweise Trainingsbeginner und Anfänger zwei bis drei Krafttrainingseinheiten pro Woche in Form eines Ganzkörpertrainings durchführen, leicht Fortgeschrittenen werden zwei bis vier Trainingseinheiten empfohlen und Könner und Spitzenathleten sollen bis zu 18 Trainingseinheiten in Form eines Splitt-Trainings pro Woche absolvieren (vgl. Baechle et al., 2000; Zatsiorsky, 1995). Das American College of Sports Medicine (2002) empfiehlt in seinen Trainingsanleitungen für Anfänger und leicht Fortgeschrittene im Krafttraining zwei bis drei Einheiten und für Fortgeschrittene bzw. Könner<sup>2</sup> vier bis fünf. Rhea, Alvar, Burkett und Ball (2003) sowie Peterson, Rhea und Alvar (2004) kommen zu dem Schluss, dass Anfänger drei und Trainierte zwei Trainingseinheiten pro Woche durchführen sollten, entsprechend jedoch zwei bis drei Einheiten insgesamt ausreichend sind. Eine differenzierte Unterscheidung der kategorialen Zustandsbeschreibung „trainiert“ bzw. „untrainiert“ sowie eine genaue Operationalisierung der Konstrukte ist jedoch in den Untersuchungen nicht zu erkennen.

Braith, Graves, Pollock, Leggett, Carpenter und Colvin (1989) fanden nach einem zehn- bzw. 18-wöchigen Training der Kniestreckmuskulatur eine Überlegenheit von drei Trainingseinheiten gegenüber zweien, wobei zweimaliges Training pro Woche ca. 80 % der Effekte des dreimaligen Trainings erwarten lässt. Stadler, Stubbs und Vukovich (1997) berichten von annähernd gleichen Steigerungen des 1-RM bei vier

<sup>2</sup> Anzumerken ist, dass eine Operationalisierung und/oder Kategorisierung von Anfänger und leicht Fortgeschrittenem sowie von Fortgeschrittenem und Könner weder vorgenommen worden ist noch trennscharf zu begründen wäre.

verschiedenen Übungen für den Oberkörper (Latissimusziehen, Schulterdrücken, Armbeugen und Bankdrücken) und bei drei Übungen für die unteren Extremitäten (Beinstrecken, Beinbeugen und Beinpressen) bei zwei- bzw. dreimaligem Training pro Woche (vgl. Candow & Burke, 2007). Dabei wurde das Training über acht Wochen mit älteren Frauen durchgeführt. In der Zusammenfassung heißt es bei Stadler et al. (1997, S. 254): „It is concluded that significant gains in muscular strength can be made in the older adult population using either a 2-day or 3-day per week protocol.“ Carroll, Abernethy, Logan, Barber und McEniery (1998) untersuchten nicht nur die Veränderung des 1-RM über sechs Wochen Training (jeweils 18 Trainingseinheiten) bei zwei- bzw. dreimaliger Trainingsfrequenz, sondern auch noch die Veränderung von myosin heavy chain (MHC) Isoformen (I, IIa und IIx). Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden (Carroll et al., 1998, S. 273): (1) „Training produced significant increments in 1-RM squat strength for both the 2/wk and 3/wk conditions when compared with changes in the control group [...]. The differences between the 2/wk and 3/wk groups were neither statistically significant nor large (3/wk: 6 week and 18 sessions  $ES = 1.0$ ; 2/wk: 6 week  $ES \approx 0.7$ , and 18 session  $ES \approx 0.7$ ).“ (2) „The 2/wk condition resulted in a significant increase in the proportion of MHC IIa after 18 training sessions [...]. However, there were moderate to large ES reductions in the percentage of the MHC isoform IIx and increases in the percentage of the MHC isoform IIa in both the 2/wk and 3/wk conditions ( $ES = 0.5 - 1.2$ ). After 18 sessions there was also a moderate reduction in relative type I isoform content in the 2/wk, but not in the 3/wk group.“ Candow und Burke (2007) fanden bei untrainierten Männern und Frauen innerhalb eines sechswöchigen Ganzkörpertrainings und gleich bleibendem Belastungsumfang (zwei bzw. drei Sätze à 10 Wiederholungen) bei zwei- bzw. dreimaligem Training pro Woche weder einen signifikanten Unterschied in der freien Körpermasse noch bei der konzentrischen Maximalkraft bei den Übungen Kniebeuge und Bankdrücken. Wobei die Zuwächse der Probanden bei dreimaligem Training jeweils über denen des zweimaligen Trainings lagen.

Fröhlich, Schmidtbleicher und Emrich (2007) konnten im Rahmen einer Metaanalyse zur optimalen Trainingshäufigkeit dezidiert feststellen, dass zwei, drei und vier Trainingseinheiten zu signifikant besseren Trainingseffekten – operationalisiert über die Veränderung der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) – führen als eine, fünf und sechs Einheiten im Krafttraining. Inwieweit jedoch zwei, drei oder vier Krafttrainingseinheiten zu wählen sind, könnte in dieser Studie nur ökonomisch rational im Sinne einer Grenzertragsüberlegung und angesichts einer klaren Zielfunktion entschieden werden.

Generell lässt sich festhalten, dass die Empfehlungen zur optimalen Trainingshäufigkeit recht willkürlich festgelegt sind und eher durch Plausibilitätsüberlegungen bzw. implizite ökonomische Aspekte wie Aufwand-Nutzen-Relationen einschließlich möglicher Regenerationszeiten verschiedener Subsysteme beispielsweise auf molekularer und zellulärer Ebene begründet werden.

Zur Effizienzsteigerung sowie im Sinne des Evidence Based Trainings wären jedoch exaktere Handlungsempfehlungen im Sinne von Wenn-Dann-Aussagen für den Gesundheits-, Breiten- und Leistungssport wünschenswert, um dadurch einerseits entsprechenden Überforderungen (Schädigungen und Verletzungen auf arthro-



muskulärer sowie muskulo-skeletaler Ebene) vorzubeugen und andererseits möglichst effizient Adaptationsmechanismen im Sinne eines Kraftzuwachses zu initiieren (vgl. Toigo, 2006). Der vorliegende Beitrag untersucht daher die Veränderungseffekte eines zwei- bzw. dreimal pro Woche durchgeführten Krafttrainings im Hinblick auf das Außenkriterium Steigerung der Maximalkraft, und dies unter Berücksichtigung verschiedener intervenierender Variablen (vgl. Fröhlich, 2006).

## 2 Material und Methodik

Die Extraktion der thematischen Studien erfolgte über online Recherche in Datenbanken wie Medline, SpoLit, PubMed, Medpilot sowie über die Zentralbibliothek der Deutschen Sporthochschule Köln unter Verwendung der Deskriptoren: „*resistance training*“, „*frequency*“, „*volume*“, „*Häufigkeit*“ mit und ohne „*Training*“ bzw. „*training*“, des Weiteren über das Literaturverzeichnis bereits vorliegender Studien zur Thematik. Die einschlägigen Kriterien zur Studienselektion – „Garbage in“ und „Garbage-out“ – sowie zu den einzelnen Studienmerkmalen sind bei Fröhlich (2006), Peterson et al. (2004) und Rhea et al. (2003) im Speziellen – auf die Krafttrainingsforschung bezogen – sowie bei Beelmann und Bliesener (1994) als auch Rustenbach (2003) im Allgemeinen beschrieben und sollen hier nicht weiter ausgearbeitet werden. Um die Effekte von Trainingsinterventionen in Primärstudien vergleichen zu können, wird die Berechnung der Effektstärke (effect size = ES) herangezogen (Peterson et al., 2004; Rhea et al., 2003; Rhea, 2004; Rustenbach, 2003). Anhand der folgenden Formel wurde die ES berechnet: [(Mittelwert des Posttest – Mittelwert des Pretest)/Standardabweichung des Pretest oder Standardabweichung<sub>gepoolt</sub>

$$= \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

Die Deskription der Ergebnisse erfolgte über Mittelwerte, Standardabweichungen und Häufigkeiten sowie über Prozentangaben. Die inferenzstatistische Prüfung wurde mittels ein- und zweifaktorieller Varianzanalyse(n) (ANOVA) durchgeführt. Die Voraussetzungsprüfungen wurden mit den entsprechenden Verfahren (KS-Test für Normalverteilung und Levene-Test für Varianzhomogenität) geprüft. Der Anteil der Gesamtvariabilität, der einem Faktor zugeschrieben wird, wurde mittels Partielles  $\eta^2$  bestimmt (kurz  $\eta^2$ ). Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0.05$  festgelegt. Die Berechnung erfolgte mit SPSS for Windows (14.0).

## 3 Ergebnisse der Metaanalyse

Die Primärstudienselektion lieferte insgesamt 38 Studien mit einer Gesamtteilnehmerzahl von 1850 Personen.

### 3.1 Deskription der Primärstudien

Das durchschnittliche Alter der Probanden betrug  $28.0 \pm 13.1$  Jahre (Min 18.6; Max 71.4; Median 22.0). In 16 Trainingsinterventionen waren nur männliche Probanden (42.1 %) und in elf waren nur weibliche Probanden (28.9 %) beteiligt. In weiteren elf Trainingsexperimenten wurden beide Geschlechter aufgenommen (28.9 %). In 64.9 %

der Fälle ( $N = 24$ ) waren die untersuchten Probanden „untrainiert“. 13 Studien hatten „trainierte“ Probanden als Versuchsteilnehmer (35.1 %). Die durchschnittliche Probandenzahl pro Primärstudie betrug  $22.3 \pm 15.4$  Personen (Min 8; Max 59; Median 16.5). Die mittlere Trainingsintervention (Zeitpunkt zwischen Pretest und Posttest) hatte eine Länge von  $12.0 \pm 5.2$  Wochen (Min 4; Max 25; Median 12.0). Im Mittel wurden in dieser Zeit  $32.0 \pm 16.3$  Trainingseinheiten durchgeführt (Min 8; Max 75; Median 30.0). Die Studien wurden im Zeitraum von 1982 bis 2005 veröffentlicht, wobei in der Regel Zeitschriftenartikel (86.8 %) in englischsprachigen Zeitschriften als Grundlage dienten (siehe Methodenkritik). Herausgeberwerke (7.9 %), Monographien (2.6 %) und Abstracts (2.6 %) wurden weit weniger selektiert. Der Impact-Faktor der begutachteten Beiträge (86.8 %;  $N = 33$ ) betrug  $1.4 \pm 0.8$ . Das den Primärstudien zugrunde liegende Studiendesign verteilte sich wie folgt: (a) randomisierte Studien ohne Kontrollgruppe wurden 14-mal (36.8 %) berücksichtigt, (b) randomisierte Studien mit Kontrollgruppe konnten 21-mal (55.3 %) aufgenommen werden und schließlich drei (7.9 %) der Primärstudien benutzten (c) quasiexperimentelle Untersuchungsdesigns.

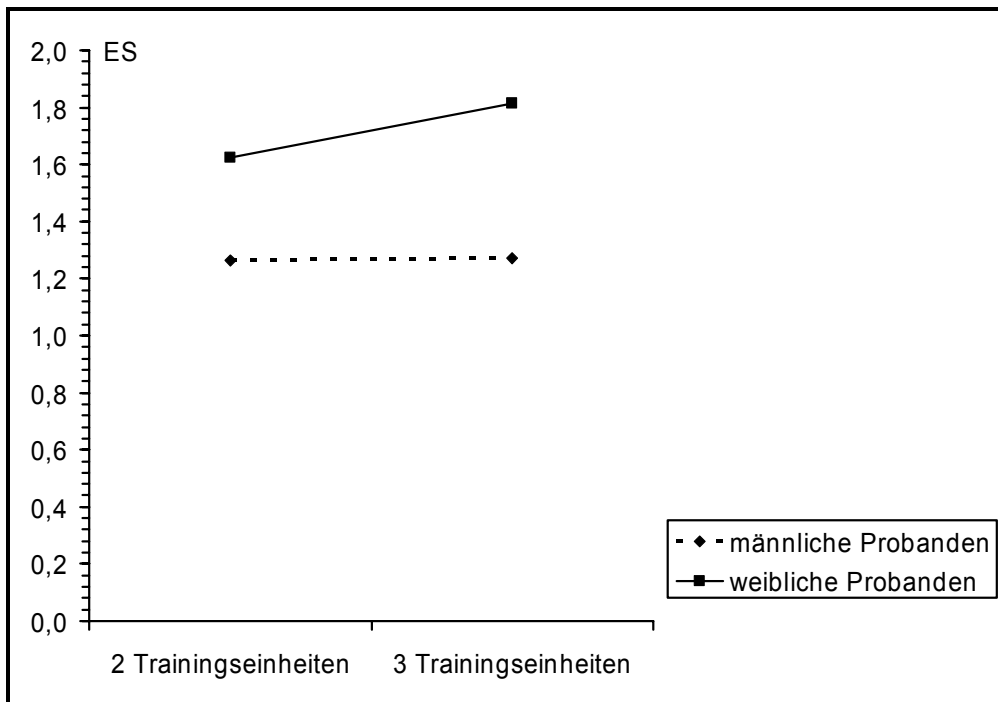
Angaben zu anthropometrischen Kenngrößen wie Körperhöhe, -gewicht und -fettanteil, Blutdruck, BMI etc. waren 78.9 % der Primärstudien ( $N = 30$ ) zu entnehmen. Trainingsmethodische Beschreibungsgrößen wie Belastungsintensität (89.5 %), Trainingshäufigkeit (100 %), Serienpause (50.0 %) und Verwendung von progressiven Periodisierungsmaßnahmen (ja 34.2 % und nein 65.8 %) wurden nur in Teilen in den Primärstudien beschrieben. Lediglich eine Primärstudie (2.6 %) war dem Bereich des Kraftausdauertrainings trainingsmethodisch zuzuordnen ( $\geq 15$ -RM oder  $\leq 60$  % 1-RM). Insgesamt 23 Treatments (60.5 %) konnten dem Bereich des Muskelaufbau- bzw. Hypertrophietrainings (8-12 RM oder 65-85 % 1-RM) zugerechnet werden und schließlich weitere 13.2 % ( $N = 5$ ) der Treatmentbedingungen ließen sich dem so genannten Intramuskulären Koordinationstraining (IK-Training) unterordnen (3-6-RM oder  $\geq 85$  % 1-RM) (vgl. Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Weitere 23.7 % ( $N = 9$ ) der Primärstudien konnten keinem exakten Trainingsbereich bzw. keiner bestimmten Krafttrainingsmethode (Schnellkraft, Kraftausdauer etc.) untergeordnet werden. Die mittlere Testanzahl betrug  $2.6 \pm 2.0$  Übungen. Das eigentliche Training, d.h. die Treatmentphase, wurde mit durchschnittlich  $5.8 \pm 3.1$  Übungen (Min 1; Max 11; Median 7) absolviert. Die Testmethodik wurde über dynamische Maximalkraftmessungen (z. B. 1-RM, PMF = point of momentary muscular failure) operationalisiert (vgl. Gießing, Preuss, Greiwing, Goebel, Müller, Schischek & Stephan, 2005). Um zeitliche Interaktionseffekte – das bedeutet den Einfluss der Studiendauer – auszuschließen, wurden die berechneten Effektstärken im Weiteren an der Studiendauer relativiert (ES / Studiendauer).

### **3.2 Inferenzstatistische Auswertung der Trainingshäufigkeiten pro Woche**

Die Effektstärke als quantitatives Maß zur Beurteilung von Gruppenzugehörigkeit und Interventionsergebnis konnte insgesamt 96-mal berechnet werden. Bei zwei Trainingseinheiten ( $N = 44$  Primärstudien) resultierte eine ES von  $1.28 \pm 1.09$  (Min 0.28; Max 5.22), bei einer Trainingsfrequenz von drei Einheiten pro Woche ( $N = 52$  Primärstudien) eine solche von  $1.36 \pm 0.93$  ES (Min 0.09; Max 3.94). Der Unter-

schied zwischen zwei- und dreimaligem Krafttraining pro Woche ist nicht signifikant ( $F = 0.18$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.67$ ;  $\eta^2 = 0.002$ ).

Differenziert man weiterhin noch zwischen den Geschlechtern, so erhält man folgende Ergebnisse: So konnte weder ein signifikanter Unterschied in der Trainingshäufigkeit ( $F = 0.16$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.69$ ;  $\eta^2 = 0.002$ ) noch in der Unterscheidung zwischen Frauen und Männern ( $F = 3.40$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.07$ ;  $\eta^2 = 0.046$ ) festgestellt werden. Die Interaktion von Trainingshäufigkeit und Probandengeschlecht war ebenfalls nicht signifikant ( $F = 0.14$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.71$ ;  $\eta^2 = 0.002$ ). Da die Interaktionsgraphen einen ordinalen Linienzug aufweisen, können die Haupteffekte (Trainingsfrequenz und Geschlecht) global interpretiert werden (vgl. Abb. 1).



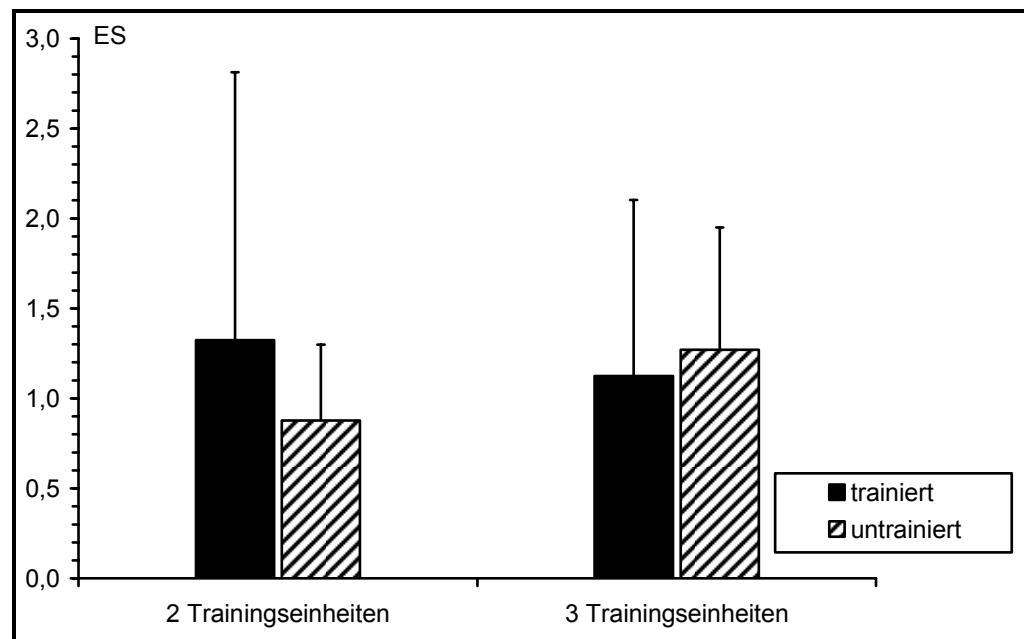
**Abb. 1: Interaktionsdiagramm von Trainingshäufigkeit und Probandengeschlecht in den Primärstudien**

Die Effektstärke innerhalb von zwei Trainingseinheiten pro Woche betrug bei den Frauen  $1.62 \pm 0.99$  und bei den Männern  $1.26 \pm 1.43$  (Differenz: 0.36 ES). Bei drei Trainingseinheiten resultierte bei den Frauen eine Effektstärke von  $1.81 \pm 1.02$  und bei den Männern von  $1.27 \pm 0.75$  (Differenz: 0.54).

Die ANOVA-Prüfung auf Kohorteneffekte (differenziert in jünger als 22 Jahre und älter als 22 Jahre; siehe Median der Altersverteilung) konnte weder zwischen den

Trainingshäufigkeiten ( $F = 0.13$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.72$ ;  $\eta^2 = 0.001$ ) noch zwischen den Altersbereichen einen signifikanten Unterschied feststellen ( $F = 1.78$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.19$ ;  $\eta^2 = 0.019$ ), noch lagen signifikante Interaktionseffekte vor.

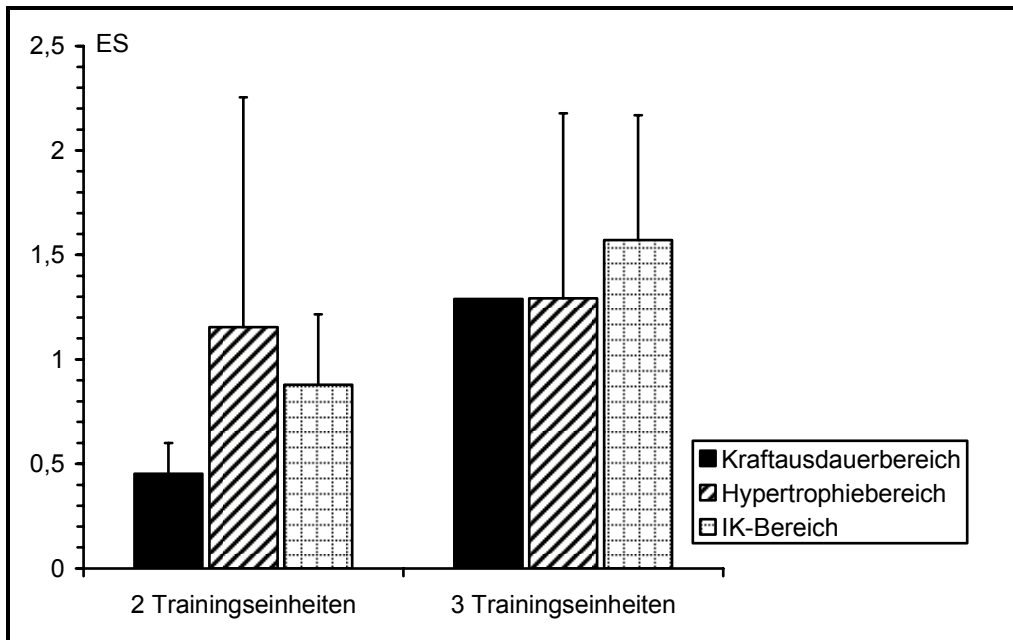
Betrachtet man den Unterschied zwischen den kategorialen Zustandsbeschreibungen „trainiert“ und „untrainiert“ in den Primärstudien, so erhält man folgende Resultate: (a) Trainingsfrequenz ( $F = 0.24$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.63$ ;  $\eta^2 = 0.003$ ); (b) Trainingszustand ( $F = 0.57$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.45$ ;  $\eta^2 = 0.007$ ) und (c) Interaktion ( $F = 2.22$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.14$ ;  $\eta^2 = 0.027$ ). Anzumerken ist, dass die Prüfung auf Varianzhomogenität (Levene-Test) einen signifikanten Varianzunterschied ( $p < 0.05$ ) zeigte. Nach Bortz (1993) reagiert die ANOVA jedoch recht robust gegenüber Verletzungen der Voraussetzungsprüfung und entscheidet sodann konservativ. In Abb. 2 sind die Primärstudieneffektstärken differenziert nach Trainingszustand und Trainingshäufigkeit dargestellt.



**Abb. 2: Effektstärken in Abhängigkeit vom Trainingsstatus und der Trainingshäufigkeit ( $M \pm S$ )**

Inwieweit ein Einfluss der Trainingsmethodik in den Kategorien „Kraftausdauer“, „Hypertrophietraining“ und „IK-Training“ bei zwei vs. drei Trainingseinheiten zu konstatieren ist, wurde nachfolgend geprüft. Die Ergebnisse der ANOVA zeigen keinen signifikanten Unterschied (a) in der Trainingsfrequenz ( $F = 1.85$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0.18$ ;  $\eta^2 = 0.030$ ), (b) zwischen den Kategorien ( $F = 0.21$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0.81$ ;  $\eta^2 =$

0.007) und (c) in der Interaktion Trainingsfrequenz mal Kategorie ( $F = 0.55$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0.58$ ;  $\eta^2 = 0.018$ ). Die Abb. 3 verweist auf die Effektstärken von Trainingsfrequenz und Trainingskategorie.



**Abb. 3: Effektstärken in Abhängigkeit von der Trainingsmethodik und der Trainingshäufigkeit ( $M \pm S$ )**

## 4 Diskussion

Bezieht man sich auf die Effektstärkenklassifizierung von Rhea (2004), um Trainingsinterventionen zu beurteilen, so kann von moderatem bzw. starkem Veränderungseffekt sowohl bei zwei als auch bei drei Trainingseinheiten über die Studiendauer gesprochen werden. Ein sowohl statistisch signifikanter als auch trainingsbedeutsamer Unterschied zwischen zwei- und dreimaligem Training pro Woche ist nicht zu konstatieren. Bezieht man weitere Variablen wie Geschlecht und Alter der Studienteilnehmer, deren Trainingszustand sowie verschiedene Trainingsbereiche in die Auswertung mit ein, so lässt sich über alle Kategorien ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen zwei und drei Trainingseinheiten feststellen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Metaanalyse von Peterson et al. (2004), welche bei zwei Trainingseinheiten eine  $ES$  von  $0.70 \pm 0.76$  und bei drei Trainingseinheiten von  $0.69 \pm 1.13$   $ES$  fanden.

Betrachtet man zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche, so ist die publizierte Forschungslage auf der Ebene der Primärstudien sehr indifferent (vgl. im Überblick Feigenbaum und Pollock (1999) sowie Wirth (2004)). Während beispielsweise Brazzell-Roberts und Thomas (1989), Candow und Burke (2007), Carroll et al. (1998), DeMichele, Pollock, Graves, Foster, Carpenter, Garzarella, Brechue und Fulton (1997), Stadler et al. (1997) und Wirth (2004) keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei und drei Trainingseinheiten fanden, berichteten Braith et al. (1989) und Graves, Pollock, Leggett, Braith, Carpenter und Bishop (1988) von einer Überlegenheit von drei gegenüber zwei Trainingseinheiten pro Woche. Die Forschergruppe um Graves et al. (1988) führte in diesem Zusammenhang eine interessante Studie zur Trainingsfrequenz durch, indem sie die Effekte von zwei bzw. drei Trainingseinheiten pro Woche über zehn bzw. 18 Wochen untersuchte und dann die Trainingshäufigkeiten um jeweils  $n-1$  reduzierte, also bei 3-mal Training pro Woche auf 2-mal etc. Dabei kam es jeweils zu negativen Trainingseffekten im Sinne von Verschlechterungen nach der Reduktion der Trainingshäufigkeit.

Wirth (2004) untersuchte in einer forschungsmethodologisch anspruchsvollen Studie nicht nur die Veränderung der Maximalkraft, sondern explizit auch noch die Veränderung des Muskelquerschnitts nach einem achtwöchigen Hypertrophietraining bei Fortgeschrittenen und Anfängern, welche einmal, zwei- und dreimal pro Woche trainierten. Zwar konnten innerhalb der Gruppen keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, doch zeigte sich sowohl für die Anfängergruppe als auch für die Fortgeschrittenen, dass eine Trainingseinheit pro Woche zu den schlechtesten Ergebnissen führte. Zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche steigerten die dynamische Maximalkraft signifikant besser, ohne sich jedoch signifikant voneinander zu unterscheiden.

Marx, Nindl, Gotshalk, Volek, Harman, Dohi, Bush, Fleck, Häkkinen und Kraemer (1998) stellten die höchsten Effektstärken bei einem periodisierten Krafttraining bei untrainierten Frauen mit vier Trainingseinheiten pro Woche fest. Dabei ist zu bedenken, dass bei Untrainierten bzw. Krafttrainingsanfängern die höchsten Anpassungseffekte zu erwarten sind und dass die Überlegenheit eines periodisierten Trainings gegenüber einem nicht periodisierten Training als bewiesen angesehen wird (vgl. Candow & Burke 2007). Carroll et al. (1998) berichten von Effektstärken von 1.00 bei drei Trainingseinheiten pro Woche über sechs Wochen bei der Übung Kniebeugen. Die Effektstärken bei zwei Trainingseinheiten betrugen bei sechs Trainingswochen 0.68 bzw. 0.71 bei neun Wochen Training (respektive insgesamt 18 Trainingseinheiten als gleiche Basis). In der Diskussion der Ergebnisse schreiben die Autoren: „The increments in 1-RM squat strength presented by 3/wk and 2/wk conditions were similar and of a moderate to large magnitude.“ (Carroll et al. 1998, S. 273). Rhea et al. (2003, S. 458) konnten im Rahmen einer Metaanalyse einen Einfluss des Trainingszustandes innerhalb der Trainingsfrequenz feststellen. Während für untrainierte Personen eine Trainingshäufigkeit von dreimal pro Woche zu den größten Anpassungseffekten ( $ES = 1.9$ ) führt, profitieren bereits Trainierte optimal von zwei Trainingseinheiten ( $ES = 1.4$ ). Begründet wird dieses Ergebnis bei Rhea et al. (2003) mit der höheren Trainingsbelastung und der somit verlängerten Erholungszeit von Trainingsinterventionen bei bereits Fortgeschrittenen. Ähnliche Tendenzen sind in der

vorliegenden Studie zu erkennen, innerhalb derer untrainierte Studienteilnehmer bei höherer Trainingsfrequenz größere Kraftzuwächse erzielen als bereits trainierte Probanden (vgl. Abb. 2). Generell kann man aber davon ausgehen, dass nach intensivem Krafttraining mit hohen Belastungen die neurophysiologischen und die metabolischen Systeme nach 48 Stunden wieder das Ausgangsniveau erreicht haben (vgl. Candow & Burke 2007; Raastad & Hallén, 2000), was ein dreimaliges Training pro Woche zulassen würde (Feigenbaum & Pollock, 1999, S. 41). McLester, Bishop, Smith, Wyers, Dale, Kozusko et al. (2003) sowie Wernbom, Augustsson und Thomeé (2007) halten hingegen längere Regenerationszeiten von 72-96 Stunden nach Krafttraining für angemessen. Eine letztendliche Entscheidung über den momentanen Grad der Regeneration muss in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren wie Trainiertheit, verwendeter Trainingsmethode, Ausgangsniveau sowie beanspruchtem Bereich (eher muskulär oder eher zentralnervös) etc. erfolgen.

Wirth (2004, S. 138) kommt zu dem Schluss, dass zwei Trainingseinheiten pro Woche zu einem optimalen Kraftzuwachs innerhalb einer Trainingsperiode führen, jedoch was Kraft als auch Muskelmasse angeht, mit drei Trainingseinheiten pro Woche die größten Fortschritte zu erzielen sind. Feigenbaum und Pollock (1999, S. 42) konstatieren hierzu: "Participants who have time and want to achieve more benefits may choose to weight train 3  $d \cdot wk^{-1}$ . In addition, when prescribing traditional resistance exercise programs [...], the minimum of 2  $d \cdot wk^{-1}$  training frequency guideline allows more time for recuperation, is less time consuming and thus may enhance adherence. Two  $d \cdot wk^{-1}$  programs also appear to produce 80-90 % of the strength benefits to more frequent programs in the untrained person." Candow und Burke (2007, S. 206) schließen sich dieser Argumentation an, indem sie herausstellen, dass bei untrainierten Männern und Frauen bei gleich bleibendem Belastungsumfang im Trainingsprozess ein zwei- bzw. dreimaliges Training pro Woche zu annähernd gleichen Steigerungen des 1-RM führt und somit weniger die Trainingshäufigkeit, denn der Belastungsumfang (Sätze mal Wiederholungen) entscheidend wird. „This suggests that training volume may be more important than training frequency for increasing muscle mass and strength during the initial stages of resistance training in untrained men and women.“

In Abhängigkeit von der Größe der eingesetzten Muskelgruppe wird von Feigenbaum und Pollock (1999) die Auffassung vertreten, dass Brust, Arme und Beine mit drei Trainingseinheiten pro Woche zu trainieren sind, während kleinere Muskeln mit zwei oder weniger Trainingseinheiten ausreichend belastet werden (vgl. Zatsiorsky, 1995).

Tendenziell ( $p = 0.07$ ) konnten zwischen den Geschlechtern Unterschiede ausgemacht werden. Konkret lagen die Effektstärken sowohl bei zwei als auch bei drei Trainingseinheiten bei Frauen höher als bei Männern. Inhaltlich könnte das geringere Ausgangsniveau bzw. der geringere Trainingszustand bei den Frauen und somit die höhere Anpassungsfähigkeit und/oder Adaptationsreserve innerhalb einer Trainingsintervention als Begründung dienen. Inwieweit verschiedene Trainingsmethoden bei zwei- oder dreimaliger Anwendung pro Woche zu den höchsten Anpassungen führen, kann anhand dieser Studie derzeit nicht abschließend geklärt werden, da die

Fallzahlen in Teilen zu gering waren. Wie aus Abb. 3 ersichtlich, könnte man vorsichtig interpretieren, dass im Bereich des Kraftausdauertrainings und des IK-Trainings eher drei Trainingseinheiten (entweder geringere Belastungsintensität beim Kraftausdauertraining oder geringere Belastungsdauer beim IK-Training und somit geringerer Protein-Turnover) zu präferieren sind, während im Muskelaufbautraining zwei Trainingseinheiten (hohe Belastungsintensität und hohe Reizdauer (TUT) und somit hoher Protein-Turnover [Fröhlich, Gießing, Schmidtbleicher & Emrich, 2007; Güllich & Schmidtbleicher, 1999]) ausreichend wären.

Fröhlich, Schmidtbleicher und Emrich (2007) fanden im Rahmen einer Metaanalyse zur Trainingshäufigkeit und verschiedener intervenierender Variablen wie Trainingszustand, Geschlecht, Studiendauer, progressive Belastungssteigerung etc. anhand von 46 Primärstudien und insgesamt 2198 Studienteilnehmern heraus, dass zwei ( $1.18 \pm 0.68$  ES), drei ( $1.42 \pm 0.76$  ES) und vier ( $1.85 \pm 1.94$  ES) Trainingseinheiten zu größeren Steigerungen der Maximalkraft führen, als eine ( $0.43 \pm 0.30$  ES), fünf ( $0.41 \pm 0.29$  ES) oder sechs ( $0.36 \pm 0.04$  ES) Trainingseinheiten ( $F = 3.96$ ;  $df = 5$ ;  $p < 0.05$ ). Zur trainingsmethodischen Lösung der Problematik wird von den Autoren ein ökonomisch rationales Modell zur so genannten Grenzertragsüberlegung vorgeschlagen. Dabei lässt die Modellannahme den Schluss zu, dass zwischen zwei und vier Trainingseinheiten pro Woche die maximalen Anpassungseffekte der Veränderung der Maximalkraft realisiert werden. Überträgt man diese Erkenntnisse auf verschiedene Anwendungsfelder des Krafttrainings und spiegelt die Ergebnisse an der vorliegenden Studie, so hätte man einen empirischen Beleg für zwei Trainingseinheiten im Bereich des Präventions- und Gesundheitssports und von drei Trainingseinheiten für den ambitionierten Breitensport sowie den Leistungs- und Spitzensport (vgl. McLester, Bishop & Guilliams, 2000).

## 5 Methodenkritik

Bezüglich der Interpretation der Ergebnisse sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen: Einerseits beziehen sich die Primärstudien nur auf den deutsch- und den englischsprachigen Raum und stellen damit einen selektiven Teil der Primärstudienlage dar. Hinzu kommt die mangelnde Repräsentativität deutscher Studien sowie von Monographien und Buchbeiträgen. Des Weiteren liegt ein allgemeiner Mangel bei empirischen Studien darin, dass statistische Angaben sowie die genauen Beschreibungen der Untersuchungsmethodik oftmals nur unzureichend angegeben werden und somit bei Metaanalysen ausscheiden bzw. die Repräsentativität reduzieren (vgl. Beelmann & Bliesener, 1994; Rustenbach, 2003). Die Einteilung in „trainierte“ vs. „untrainierte“ Studienteilnehmer ist normativ anhand der Aussagen in den Primärstudien getroffen worden und lässt keine exakte Operationalisierung erkennen. Weiterhin muss angemerkt werden, dass sich die bisherigen Ergebnisse nur auf die Effektstärken der Veränderung der konzentrischen Maximalkraft als einer Variablen zur Operationalisierung von Trainingsanpassungen beziehen. Darüber hinausgehende Aussagen und Generalisierungen auf z.B. Veränderung des Muskelquerschnitts, neuronale Anpassung, muskelenergetische Adaptationen etc. sind somit nicht statthaft. Da langfristige Steigerungen der Maximalkraft nur durch Zunahme des Muskelquerschnittes erzielt werden können, die durchschnittliche Stu-



diendauer jedoch zu gering war, um entsprechende Hypertrophieeffekte zu initiieren (wurde in der Mehrzahl der Studien auch nicht kontrolliert bzw. erhoben), sind für überdauernde Aussagen weitere Studien notwendig. Eine Begründung für die Durchführung verschiedener Trainingshäufigkeiten wird in der Mehrzahl der Primärstudien nicht gegeben, wobei zu vermuten ist, dass eher praktikable sowie tradierte Aspekte ausschlaggebend sind und weniger empirische Merkmale von Regenerationsprozessen berücksichtigt werden.

## **6 Schlussfolgerung**

Eine exakte Trainingshäufigkeit für alle Muskelgruppen, Trainingsbereiche und Adressatengruppen gibt es nicht. Vielmehr müssen – im Sinne hoher Variabilität – die Zielstellung, die individuelle Aufwand-Nutzen-Relation, die unterschiedlichen Muskelgruppen (kleine vs. große Muskelgruppen; ein- vs. mehrgelenkige Übungen), das vorhandene Leistungspotenzial sowie die Adressatenadäquatheit betrachtet werden. Ökonomisch rational könnte man zwei Trainingseinheiten für Beginner, Anfänger und Personen im Gesundheits- und Freizeitsport empfehlen. Leistungsorientierte Personen und Spitzensportler in nicht ausschließlich kraftdeterminierten Sportarten und -disziplinen sollten dreimal pro Woche Kraftaspekte trainieren. Letztendlich muss ökonomisch rational und somit immer individuell und intraindividuell entschieden werden, inwiefern eher zwei oder eher drei Trainingseinheiten pro Woche realisiert werden.

## **7 Verwendete Primärstudien**

Verwendete Primärstudien zur Berechnung der Effektstärken (N = 38):

Abe, De Hoyos, Pollock & Garzarella (2000); Anderson & Kearney (1982); Baker, Wilson & Carlyon (1994); Ben-Sira, Ayalon, & Tavi (1995); Borst, De Hoyos, Garzarella, Vincent, Pollock, Lowenthal & Pollock (2001); Boyer (1990); Braith, Graves, Pollock, Leggett, Carpenter & Colvin (1989); Brazell-Roberts & Thomas (1989); Brown & Harrison (1986); Carroll, Abernethy, Logan, Barber & McEniery (1998); Chilibeck, Calder, Sale & Webber (1998); Graves, Pollock, Leggett, Braith, Carpenter & Bishop (1988); Harris, DeBeliso, Spitzer-Gibson & Adams (2004); Hass, Garzarella, De Hoyos & Pollock (2000); Herrick & Stone (1996); Hickson, Hidaka & Forster (1994); Hoffman, Kraemer & Fry (1990); Hunter (1985); Hunter, Wetzstein, McLafferty, Zuckerman, Landers & Bamman (2002); Kraemer (1997) (zweimal); Kramer, Stone, O'Bryant, Conley, Johnson, Nieman, Honeycutt & Hoke (1997); Marx, Nindl, Gotshalk, Volek, Harman, Dohi, Bush, Fleck, Häkkinen & Kraemer (1998); McCall, Byrnes, Dickinson, Pattany & Fleck (1996); McGee, Jessee, Stone & Blessing (1992); Messier & Dill (1985); Nóbrega, Paula & Carvalho (2005); Paulsen, Myklestad & Raastad (2003); Pierce, Rozenek & Stone (1993); Raastad, Glomsheller, Bjoro & Hallén (2003); Rhea, Alvar, Ball & Burkett (2002); Sanborn, Boros, Hruby, Schilling, O'Bryant, Johnson, Hoke, Stone & Stone (2000); Schlumberger, Stec & Schmidtbleicher (2001); Stadler, Stubbs & Vukovich (1997); Starkey, Pollock, Ishida, Welsch, Brechue, Graves & Feigenbaum (1996); Stone, Pottleiger, Pierce, Proulx, O'Bryant, Johnson & Stone (2000); Stone & Coulter (1994); Wirth (2004).

## Literatur

- Abe, T., De Hoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81 (3), 174-180.
- American College of Sports Medicine [Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., Fleck, S. J., Franklin, B., Fry, A. C., Hoffman, J. R., Newton, R. U., Potteiger, J., Stone, M. H., Ratamess, N. A., & Triplett-McBride, T.] (2002). Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (2), 364-380.
- American College of Sports Medicine [Mazzeo, R. S., Cavanagh, P., Evans, W., Fiatarone, M., Hagberg, J., McAuley, E., & Startzell, J.] (1998). Position stand on exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (6), 992-1008.
- Anderson, T., & Kearney, J. T. (1982). Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53 (1), 1-7.
- Baechle, T., Earle, R., & Wathan, D. (2000). Resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (pp. 395-425). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Baker, D., Wilson, G., & Carlyon, R. (1994). Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 235-242.
- Beelmann, A. & Bliesener, T. (1994). Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychologische Rundschau*, 45, 211-233.
- Ben-Sira, D., Ayalon, A., & Tavi, M. (1995). The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9 (3), 143-148.
- Borst, S. E., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., & Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (4), 648-653.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg u.a.: Springer.
- Boyer, B. T. (1990). A comparison of the effects of three strength training programs on women. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (3), 88-94.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. L., Carpenter, D. M., & Colvin, A. B. (1989). Comparison of 2 vs 3 day/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *International Journal of Sports Medicine*, 10 (6), 450-454.
- Brazell-Roberts, J. V., & Thomas, L. E. (1989). Effects of weight training frequency on the self-concept of college females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 3 (2), 40-43.
- Brown, R. D., & Harrison, J. M. (1986). The effects of a strength training program on the strength and self concept of two female age groups. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57 (4), 315-320.
- Candow, D. G., & Burke, D. G. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (1), 204-207.
- Carroll, T. J., Abernethy, P. J., Logan, P. A., Barber, M., & McEniery, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78 (3), 270-275.

- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G., & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77 (1-2), 170-175.
- DeMichele, P. L., Pollock, M. L., Graves, J. E., Foster, D. N., Carpenter, D., Garzarella, L., Brechue, W., & Fulton, M. (1997). Isometric torso rotation strength: effect of training frequency on its development. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 78, 64-69.
- Feigenbaum, M. S., & Pollock, M. L. (1999). Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (1), 38-45.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1997). *Designing resistance training programs* (2nd ed.). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Trainingsempfehlungen ökonomisch betrachtet – exemplarisch dargestellt anhand der Trainingshäufigkeit im Krafttraining. In J. Backhaus, F. Borkenhagen & J. Funke-Wieneke (Hrsg.), *SportStadtKultur* (S. 93). Hamburg: Czwalina.
- Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269-291.
- Fröhlich, M., Gießing, J., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining – ein explorativer Ansatz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 25-30.
- Gießing, J., Preuss, P., Greiwing, A., Goebel, S., Müller, A., Schischek, A., & Stephan, A. (2005). Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training for muscle hypertrophy. In J. Gießing, M. Fröhlich, & P. Preuss (Eds.), *Current results of strength training research* (pp. 9-23). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *International Journal of Sports Medicine*, 9 (5), 316-319.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7/8), 223-234.
- Harris, C., DeBeliso, M. A., Spitzer-Gibson, T. A., & Adams, K. J. (2004). The effects of resistance-training intensity on strength-gain response in the older adult. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 833-838.
- Hass, C. J., Garzarella, L., De Hoyos, D., & Pollock, M. L. (2000). Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 235-242.
- Herrick, A. B., & Stone, W. J. (1996). The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (2), 72-76.
- Hickson, R. C., Hidaka, K., & Forster, C. (1994). Skeletal muscle fibre type, resistance training, and strength-related performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (5), 593-598.
- Hoffman, J. R., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (1990). The effects of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (3), 76-82.
- Hunter, G. R. (1985). Changes in body composition, body build and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 7 (7), 26-28.

- Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., McLafferty, C. L., Zuckerman, P. A., Landers, K. A., & Baman, M. M. (2002). High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (10), 1759-1764.
- Kraemer, W. J. (1997). A series of studies – the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 131-142.
- Kramer, J. B., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Conley, M. S., Johnson, R. L., Nieman, D. C., Honeycutt, D. R., & Hoke, T. P. (1997). Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 143-147.
- Marx, J. O., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Harman, F. S., Dohi, K., Bush, J. A., Fleck, S. J., Häkkinen, K., & Kraemer, W. J. (1998). The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women. In K. Häkkinen (Ed.), *International conference on weightlifting and strength training* (pp. 167-168). Lathi, Finland: Gummerus Printing.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Dickinson, A., Pattany, P. M., & Fleck, S. J. (1996). Muscular fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 81 (5), 2004-2012.
- McGee, D., Jessee, C., Stone, M. H., & Blessing, D. (1992). Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6 (2), 92-95.
- McLester, J. R., Bishop, J. P., & Guiliams, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 273-281.
- McLester, J. R., Bishop, P. A., Smith, J., Wyers, L., Dale, B., Kozusko, J., Richardson, M., Nevett, M. E., & Lomax, R. (2003). A series of studies – a practical protocol for testing muscular endurance recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (2), 259-273.
- Messier, S. P., & Dill, M. E. (1985). Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to nautilus circuit weight training. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56 (4), 345-351.
- Nóbrega, A. C. L., Paula, K. C., & Carvalho, C. G. (2005). Interaction between resistance training and flexibility training in healthy young adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (4), 842-846.
- Paulsen, G., Myklestad, D., & Raastad, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 115-120.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 377-382.
- Pierce, K., Rozenek, R., & Stone, H. M. (1993). Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7 (4), 211-215.
- Raastad, T., & Hallén, L. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82 (3), 206-214.

- Raastad, T., Glomsheller, T., Bjoro, T., & Hallén, J. (2003). Recovery of skeletal muscle contractility and hormonal responses to strength exercise after two weeks of high-volume strength training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13 (3), 159-168.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 918-920.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Ball, S. D., & Burkett, L. N. (2002). Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16 (4), 525-529.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (3), 456-464.
- Rustenbach, S. J. (2003). *Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung* (Methoden der Psychologie, Bd. 16). Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Sanborn, K., Boros, R., Hruby, J., Schilling, B., O'Bryant, H. S., Johnson, R. L., Hoke, T. P., Stone, M. E., & Stone, M. H. (2000). Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 328-331.
- Schlumberger, A., Stec, J., & Schmidtbleicher, D. (2001). Single- vs. multiple-set strength training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (3), 284-289.
- Stadler, L. V., Stubbs, N. B., & Vukovich, M. D. (1997). A comparison of a 2-day and 3-day per week resistance training program on strength gains in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5), suppl. 254.
- Starkey, D. B., Pollock, M. L., Ishida, Y., Welsch, M. A., Brechue, W. F., Graves, J. E., & Feigenbaum, M. S. (1996). Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (10), 1311-1320.
- Stone, M. H., Potteiger, J. A., Pierce, K. C., Proulx, C. M., O'Bryant, H. S., Johnson, R. L., & Stone, M. E. (2000). Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 332-337.
- Stone, W. J., & Coulter, S. P. (1994). Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 231-234.
- Tesch, P. A. (1992). Short- and long term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In P. V. Komi, *Strength and Power in Sport* (pp. 239-248). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Toigo, M. (2006). Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptationen. Teil 2: Adaptation von Querschnitt und Fasertypusmodulen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 54 (4), 121-132.
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomeé, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Medicine*, 37 (3), 225-264.
- Wirth, K. (2004). *Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining*. Dissertation, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt/Main.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books.

## Beitrag VI

Fröhlich, M. & Schmidtbleicher, D. (2008). Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (2), 34-42.



<sup>1</sup>Fröhlich M, <sup>2</sup>Schmidtbleicher D

# Trainingshäufigkeit im Krafttraining – ein metaanalytischer Zugang

*Training frequency in strenght training – a meta-analytical approach*<sup>1</sup>Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes<sup>2</sup>Institut für Sportwissenschaften, Universität Frankfurt/Main

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Frage nach der optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining besitzt sowohl im Freizeit-, Breiten- und Leistungssport als auch im Sinne der Evidence Based Medicine eine hohe praktische Bedeutung. Im Rahmen einer Metaanalyse konnten an insgesamt 2198 Probanden 118 Effektstärken durch Trainingsinterventionen bzgl. der Veränderung der Maximalkraft berechnet werden. Betrachtet man die Effektstärken als quantitatives Maß zur Beurteilung von Trainingsinterventionen über verschiedene Trainingshäufigkeiten (1 bis 6 Trainingseinheiten pro Woche) so lässt sich generell feststellen, dass zwei ( $1,18 \pm 0,68$  ES), drei ( $1,42 \pm 0,76$  ES) und vier ( $1,85 \pm 1,94$  ES) Trainingseinheiten (TE) zu größeren Steigerungen der Maximalkraft führen, als eine ( $0,43 \pm 0,30$  ES), fünf ( $0,41 \pm 0,29$  ES) oder sechs ( $0,36 \pm 0,04$  ES) Trainingseinheiten ( $F = 3,96$ ;  $df = 5$ ;  $p < 0,05$ ). Des Weiteren sind Variablen wie Geschlecht, Trainingszustand, Trainingsmethode und progressive Belastungssteigerung bei der Planung der Trainingshäufigkeiten zu berücksichtigen. Für bereits Trainierte und Fortgeschrittene scheinen zwei Trainingseinheiten ausreichend, während für Beginner drei Trainingseinheiten zu empfehlen wären. Die zusätzliche Anwendung von Periodisierungsstrategien im Krafttraining scheint positive Effekte zu besitzen. Unter Effizienzgesichtspunkten, d.h. von Aufwand und Nutzen scheinen drei Trainingseinheiten im Krafttraining die Methode der Wahl.

**Schlüsselwörter:** Trainingshäufigkeit, Effektstärke, Krafttraining, Effektivität, 1-RM

## EINLEITUNG

Krafttraining besitzt einerseits eine hohe positive Wirk- und Valtfunktion auf den Organismus, die Psyche und das Selbstwertgefühl und ist andererseits unabdingbare Voraussetzung eines zielorientierten Trainings in nahezu allen Sportarten und Disziplinen (3,20,38). Die verschiedenen Trainingsmethoden werden im Allgemeinen durch die Belastungsnormativa, die Art der Übung, die Übungsausführung sowie die Bewegungsgeschwindigkeit beschrieben und verfügen über eine vielfältige Variationsbreite und Komplexität (20,27,38). Neben der Belastungsintensität, der intra- und interseriellen Pausengestaltung und der Anzahl an Serien spielt die Trainingshäufigkeit in den Feldern Gesundheit und Prävention sowie im Breiten- und Leistungssport eine entscheidende Rolle, da jeweils unterschiedlichste Aspekte wie Gesundheitserhalt, Fitness und maximale Leistungsausprägung angestrebt werden. Eine Differenzierung erscheint weiterhin wichtig, da unterschiedliche Aspekte wie Regenerationsverhalten,

## SUMMARY

Resistance training frequency is one of the main training factors in competitive and non-competitive sports as well as in evidence-based medicine. A meta-analysis was performed to determine the effect sizes of training interventions. 2198 subjects were examined with a total of 118 effect sizes at 1-RM. The results of the meta-analysis show that two ( $1,18 \pm 0,68$  ES), three ( $1,42 \pm 0,76$  ES), and four ( $1,85 \pm 1,94$  ES) weekly training sessions are better to increase 1-RM than one ( $0,43 \pm 0,30$  ES), five ( $0,41 \pm 0,29$  ES) or six ( $0,36 \pm 0,04$  ES) training sessions ( $F = 3,96$ ;  $df = 5$ ;  $p < 0,05$ ). Furthermore, the effect size of training frequency is influenced by variables such as sex, training experience, training method and periodization of training. For advanced and trained subjects, two training sessions per week are sufficient, whereas for beginners and untrained subjects three training sessions are suggested. Training interventions with periodized intensity as well as volume have additional effects for increasing 1-RM. The relationships of cost/benefit and effort/benefit show that for most athletes, three training sessions per week is the best choice to increase the 1-RM.

**Keywords:** training frequency, effects size, strength training, efficiency, 1-RM

physiologisches Ausgangsniveau, Belastungstoleranz, Wechselwirkung mit anderen koordinativen und/oder konditionellen Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie dem Adaptationsverhalten etc. berücksichtigt werden müssen.

Unter dem Begriff der Trainingshäufigkeit versteht man die Anzahl der Trainingseinheiten innerhalb eines Trainingszyklus, z.B. einer Woche oder eines Monats. Hoffman et al. (1990) stellen heraus, dass die Informationen zur Trainingshäufigkeit noch relativ unspezifisch und entsprechende Empfehlungen eher theoretisch begründet, denn empirisch verifiziert sind (33). Des Weiteren liegt eine hohe Variationsbreite innerhalb der Empfehlungen zur Trainingshäufigkeit in der Literatur vor (3,5,19,25,29,33,36,68,74). Ähnlich argumentiert Tesch (1992) indem er herausstellt, dass die Frage nach dem optimalen Erholungsschema, nach der individuellen Variationsbreite der Trainingsanpassung sowie nach dem Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Erholungszeit und adaptativen Reaktionen noch weitgehend offen bleiben muss (71).

Trainingsbeginner und Anfänger sollen demnach zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche in Form eines Ganzkörpertrainings durchführen (3,5,25,75), leicht Fortgeschrittenen werden zwei bis vier Trainingseinheiten empfohlen (5,25,68,74) und Könner sowie Spitzenathleten sollen bis zu 18 Trainingseinheiten in Form eines Splitt-Trainings pro Woche absolvieren (38,71,74). Das American College of Sports Medicine (2002) empfiehlt in seinen Trainingsanleitungen für Anfänger und leicht Fortgeschrittene im Krafttraining zwei bis drei Einheiten und für Fortgeschrittene bzw. Könner vier bis fünf (3). Rhea et al. (59) sowie Peterson et al. (52) kommen zu dem Schluss, dass Anfänger drei und Trainierte zwei Trainingseinheiten pro Woche durchführen sollten, entsprechend jedoch zwei bis drei Einheiten insgesamt ausreichend sind. In der Regel beziehen sich die empirischen Studien zur Trainingshäufigkeit auf ein-, zwei- und dreimal pro Woche durchgeführte Trainingsinterventionen (13,16,18,46,66,73). Trainingsinterventionen mit einer höheren Trainingsfrequenz sind deutlich seltener dokumentiert (2,33,36,42,49,61). Generell lässt sich festhalten, dass die Empfehlungen zur optimalen Trainingshäufigkeit recht willkürlich festgelegt sind und eher durch Plausibilitätsüberlegungen sowie durch mögliche Regenerationszeiten verschiedener Subsysteme begründet werden (73). So berichtet Platonov (1999) von 12 bis 48 Stunden innerhalb der die Wiederherstellung der Resynthese der Glykogenreserven in Muskulatur und Leber abgeschlossen ist. Innerhalb von 12 bis 72 Stunden ist die Synthese von Fermenten und strukturellen Eiweißen auf dem Ausgangsniveau (54). Neuropsychologische Auslenkungen, kardiovaskuläre Reaktionen sowie metabolische Prozesse haben nach wenigen Stunden zu großen Teilen das ursprüngliche Ausgangsniveau wieder erreicht (9,21,37,56). Andererseits werden von McLester et al. (2003) sowie von Wernbom et al. (2007) wesentlich längere Regenerationszeiten von 72-96 Stunden nach Krafttrainingsbelastungen vorgeschlagen (47,72).

Inwieweit eine Überlegenheit von zwei versus einer und drei versus zwei Trainingseinheiten pro Woche vorliegt, wird immer noch recht kontrovers diskutiert (14,33,66, im Überblick 73). Wirth (2004) fasst die empirische Forschungslage dahingehend zusammen, dass aktuell eine optimale Trainingshäufigkeit bei zwei- bis dreimal Krafttraining pro Woche liegt. Andererseits wird jedoch auch Vorsicht bei der Interpretation der allgemeinen Befundlage angemahnt (73). Ein weiteres Forschungsdesiderat liegt darin, dass entsprechende Empfehlungen zur möglichst effizienten Planung der Trainingshäufigkeit in Abhängigkeit von Trainingsstatus, der beteiligten Muskelmasse, Geschlecht, der Belastungshöhe, der Verwendung von Periodisierungsstrategien, zeitlicher Rahmenbedingungen und der eigentlichen Zielstellung etc. nur sehr unzureichend vorliegen (3,23). Zur Effizienzsteigerung sowie im Sinne der Evidence Based Medicine wären jedoch entsprechende Handlungsempfehlungen für den Gesundheits-, Breiten- und Leistungssport wünschenswert um dadurch entsprechende Überforderungen (Schädigungen und Verletzungen) vorzubeugen und möglichst effizient Adaptationsmechanismen zu initiieren. Letztendlich wäre auch zu prüfen, inwieweit ökonomische Aspekte wie Effektivitäts- und Effizienzkriterien bei der Trainingsplanung zu berücksichtigen sind (23,24). Daraus leitet sich die Frage ab: Unterscheidet sich die Effizienz eines Krafttrainings in Abhängigkeit von der Trainingshäufigkeit pro Woche und inwieweit lässt sich ein optimaler Häufigkeitsbereich identifizieren?

## MATERIAL UND METHODIK

### Datenaggregation, Codierung und Bewertung der Primärstudien

Die Primärstudien suchte erfolgte über online Recherche in Medline, SpoLit, PubMed, Medpilot sowie über die Zentralbibliothek der Sporthochschule Köln. Darüber hinaus wurden Literaturhinweise bereits vorliegender Beiträge in Zeitschriften, Herausgeberwerken und Monographien gesichtet (11,62). Die verwendeten Deskriptoren bzw. Schlagwörter waren „resistance training“, „frequency“, „volume“, „Häufigkeit“ mit und ohne „Training“ bzw. „training“. Die Studienselektion beinhaltete folgende Kriterien: (a) mehr als sechs Versuchspersonen; (b) Pre- und Posttest-Design; (c) nennen und beschreiben der verwendeten Trainingsmethoden; (d) das Trainingsexperiment musste länger als vier Wochen durchgeführt werden; (e) es wurden nur physisch und psychisch gesunde Probanden aufgenommen, d.h. keine Studien mit Patienten, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist; (f) die Effizienz des Krafttrainings musste über die konzentrische Maximalkraft (1-RM) bzw. über MVC-Messungen operationalisiert werden; (g) nur Mehrsatz-Trainingsmethoden; (h) die Primärstudien durften nicht älter als 30 Jahre sein (>1980) und (i) die Publikationen mussten in englischer oder deutscher Sprache verfasst sein (52,59).

Die einzelnen Primärstudien wurden anhand der folgenden Studienmerkmale mittels a priori festgelegtem Codierplan charakterisiert (52,59): (a) Beschreibung der Studie (Autor[en], Jahr, Publikationsform, Review-Verfahren, Impactfaktor, Studiendesign, Sprache); (b) Probandenbeschreibung (Alter, Geschlecht, Fitness- oder Trainingszustand); (c) Testmethodik (Testverfahren, Übungen, Übungsanzahl); (d) Interventionsbeschreibung (Studiendauer, Trainingshäufigkeit pro Woche, Dauer der Intervention, Trainingsmethode z.B. Muskelaufbau-, Kraftausdauer-, Maximalkrafttraining etc.), Serienzahl, Serienpause, Verwendung von Periodisierungsstrategien; (e) methodologische Studiencharakterisierung (interne, externe Validität, Konstrukt- und Statistische Validität) (23,11,62). Generell wurden sowohl Studien mit (RCT-Studien) und ohne Kontrollgruppe aufgenommen (7,62), da sich einerseits die Effektstärke bei beiden Treatmentbedingungen exakt bestimmen lässt und andererseits die Fallzahlen entsprechend verringert hätten (7). Weiterhin wird von Bortz und Döring (2006) sowie von Rustenbach (2003) die eher liberale Auffassung vertreten, dass Studien, die gewisse Qualitätskriterien erfüllen (siehe Rhea et al. (2003) für Krafttrainingsinterventionen (59)), zur Erhöhung der externen Validität in die Studienselektion aufgenommen werden sollten (Problem des „Garbage in und Garbage out“-Arguments). Rustenbach (2003) schreibt hierzu: „Eine Exklusion quasiexperimenteller Primärstudien führt zudem potenziell zu einer deutlicheren Verzerrung der Integrationsbefunde als deren Inklusion, da eine Beschränkung auf randomisierte und kontrollierte Studien oftmals zu einer drastisch und artifiziell eingeschränkten Repräsentativität führt und die Teststärke der Integrationsstudien mit sinkender Anzahl integrierter Primärstudien abnimmt.“ Bortz und Döring (2006) konstatieren: „Vor die Alternative gestellt, bestimmte Untersuchungen wegen mangelnder methodischer Qualität von einer Metaanalyse auszuscheiden oder alle Untersuchungen, die zumindest einem minimalen methodischen Standard genügen, ist dem zweiten Vorgehen der Vorrang zu geben.“



In Tabelle 1 sind exemplarisch vier zufällig ausgewählte Primärstudien anhand einiger Studienmerkmale dargestellt.

### Statistische Verfahren

Die Effektstärke im Pre-Post-Design wurde über folgende Formel berechnet: [(Mittelwert des Posttest – Mittelwert des Pretest)/Standardabweichung des Pretest oder

$$\text{Standardabweichung}_{\text{gepoolt}} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

(41,52,59,60,)]. Die Deskription erfolgte über Mittelwerte, SD und Häufigkeiten sowie über Prozentangaben. Die inferenzstatistische Prüfung wurde mittels ein- und zweifaktorieller Varianzanalyse durchgeführt. Post-hoc Einzelvergleiche wurde über Scheffé Tests abgesichert. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  festgelegt. Die Berechnung erfolgte mit SPSS for Windows (13.0).

### Primärstudien

Insgesamt konnten 46 Primärstudien zur Frage der optimalen Trainingshäufigkeit gesichtet, anhand derer im Weiteren 118

**Tabelle 1:** Studienbeschreibung der Primärstudien<sup>1</sup> (exemplarische Zufallsauswahl,  $N_{\text{gesamt}} = 46$  Primärstudien).

| Autoren                           | Probandencharakteristik                                                                                                                                                                                                               | Trainingsintervention                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Statistische Analyse                                                                                                                  | Variablen Erhebung                                                                                                                                                       | Hauptergebnisse                                                                                                                                                                                                                                                            | Fazit                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Braith et al. 1989 <sup>2</sup>   | beide Geschlechter beteiligt, $N_{\text{gesamt}} = 117$ , durchschnittliches Alter = 25,5, untrainierte Probanden, 2 Treatmentgruppen (2 TE/W: $N = 50$ bzw. 3 TE/W: $N = 41$ ), 1 Kontrollgruppe ( $N = 26$ )                        | 1 Satz bilaterale Kniestreckungen, 7-10-RM (Hypertrophietrainingsbereich zugeordnet), Training 2 bzw. 3-mal pro Woche, über 10 bzw. 18 Wochen                                                                                                                                                                                       | randomisierte Studie mit Kontrollgruppe, ANOVA mit Messwiederholung und post-hoc Tests                                                | MVC bei 8 Winkelbereichen (Nautilus knee extension tensiometer), dynamische Kraft, %-Veränderung                                                                         | Im Vergleich zur Kontrollgruppe stieg bei den Treatmentgruppen die Muskelkraft an ( $p < 0,01$ ). 3 TE steigern MVC um 21,2% (10 W) bzw. 28,4% (18 W); 2 TE steigern MVC um 13,5% (10 W) bzw. 20,9% (18 W). Treatmentgruppen unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ ) | 3 TE führen zu größeren Effekten, 2 TE haben ca. 80% der Effekte wie 2 TE                                                                                           |
| Carroll et al. 1998 <sup>3</sup>  | beide Geschlechter beteiligt, $N_{\text{gesamt}} = 17$ , durchschnittliches Alter = 18,6, untrainierte Probanden, 2 Treatmentgruppen (2 TE/W: $N = 5$ bzw. 3 TE/W: $N = 6$ ), 1 Kontrollgruppe ( $N = 6$ )                            | 3 Sätze mit 4-10-RM (Hypertrophietrainingsbereich zugeordnet) für 7 Übungen (half squat, leg extension, leg curl, bench press, lateral pull-down, lateral raise, abdominal crunches), 3 TE Gruppe 6 Wochen, 2 TE 9 Wochen, insgesamt beide Gruppen jeweils 18 TE                                                                    | randomisierte Studie mit Kontrollgruppe, ANOVA, T-Test, Bonferroni-Korrektur, Pearson Produkt-Moment-Korrelation, Kruskal Wallis Test | 1-RM, Peak Torque, MVC bei halber Kniebeuge, unilateraler Beinstreckung, Muskelbiopsie (MHC-Analyses vom vastus lateralis)                                               | Veränderung 1-RM bei 2 TE bzw. 3 TE annähernd gleich (n.s., 3 TE > 2 TE), jedoch signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe, Peak Torque und MVC bei 2 TE signifikant größer als bei 3 TE                                                                                | MVC und Peak Torque unterscheiden sich in Abhängigkeit der Trainingshäufigkeit, 1-RM kein signifikanter Unterschied, MHC n.s. korreliert mit Trainingsparametern    |
| Hoffmann et al. 1990 <sup>4</sup> | Männer, $N_{\text{gesamt}} = 61$ , durchschnittliches Alter = 19,9, trainierte Fußballspieler, 4 Treatmentgruppen (3 TE/W: $N = 12$ , 4 TE/W: $N = 15$ , 5 TE/W: $N = 23$ bzw. 6 TE/W: $N = 11$ )                                     | Freie Wahl der Trainingshäufigkeit (3, 4, 5 oder 6-mal pro Woche), Übungen für chest, shoulders, triceps, neck, legs, back, biceps and forearms (1-4 Woche: 3 x 10, 5-8 Woche: 5 x 6, 9-10 Woche: abnehmende Pyramide), insgesamt 10 Wochen Training                                                                                | Quasiexperimentelles Design, ANOVA, T-Test und post hoc Tests                                                                         | 1-RM (Bankdrücken und Kniebeugen), Sprint über 40-yard, 2-Mile-Lauf, Vertikalsprung, Körpergewicht, Hautfalten dicke, Muskelumfang,                                      | 1-RM steigt sowohl beim Bankdrücken als auch bei der Kniebeuge bei 3, 4, 5 oder 6-maligen Training pro Woche an. Beim Bankdrücken resultieren die größten Effekte bei 4 und 6 TE/W bei der Übung Kniebeugen bei 4 und 5 TE/W                                               | Bezogen auf alle Variablen scheint bei selbst gewählter Trainingshäufigkeit 4 oder 5-mal pro Woche optimal zu sein um Kraft, Ausdauer und Muskelmasse zu verbessern |
| McLester et al. 2000 <sup>5</sup> | beide Geschlechter beteiligt, $N_{\text{gesamt}} = 25$ , durchschnittliches Alter 24,9, trainierte Probanden, 2 Treatmentgruppen (1 TE/W: $N = 9$ bzw. 3 TE/W: $N = 9$ ), $N = 7$ wurde aufgrund mangelnder Compliance ausgeschlossen | Trainingsgruppe 1 TE/W trainierte 3 Sätze mit 8-10-RM, 2 Min. Serienpause; Trainingsgruppe 3 TE/W trainierte 1 Satz mit 10-RM; insgesamt 9 Übungen für den ganzen Körper (z.B. bench press, biceps curl, leg curl etc.; Anzahl der Sätze und verrichtete Arbeit sollte bei beiden Gruppen gleich sein, insgesamt 12 Wochen Training | randomisierte Studie ohne Kontrollgruppe, MANCOVA mit Messwiederholung und post hoc Tests                                             | 1-RM (bench press, lat pull, triceps press, biceps curl, lateral raise, leg press, leg extension, leg curl, calf raise), Körperfett, fettfreie Körpermasse, Muskelumfang | Signifikanter Anstieg des 1-RM sowohl bei 1 TE/W als auch bei 3 TE/W. Die prozentualen Steigerungen waren bei 3 TE/W größer als bei 1 TE/W                                                                                                                                 | Größere Veränderung der fettfreien Körpermasse bei höherer Trainingshäufigkeit pro Woche. Langfristig führen 3 TE/W zu größeren Effekten                            |

<sup>1</sup>Die Primärstudienbeschreibung erfolgte anhand eines Codierschemas wie es von Rhea et al. (2003) und Peterson et al. (2004) für Krafttrainingsforschung vorgelegt wurde. Insgesamt wurden 47 Variablen bzgl. deskriptiver Informationen, Hinweise zur Testung und zum Training, zur Methodik und zur Bewertung der Primärstudien etc. erhoben und codiert (siehe Fröhlich, 2006). Das Codierschema sowie die einzelnen Studienbeschreibungen sind bei den Autoren einzusehen. Die SPSS Datenmatrix umfasst 47 Variablen und 118 Fälle.

<sup>2</sup>Zeitschriftenartikel, International Journal of Sports Medicine, begutachtet, IF = 1,40, englisch; <sup>3</sup>Zeitschriftenartikel, European Journal of Applied Physiology, begutachtet, IF = 1,50, englisch;

<sup>4</sup>Zeitschriftenartikel, Journal of Applied Sport Science Research, Begutachtung unbekannt, IF = unbekannt, englisch;

<sup>5</sup>Zeitschriftenartikel, Journal of Strength and Conditioning Research, begutachtet, IF = 0,80, englisch.

Effektstärken (1-RM Veränderung im Trainingsexperiment) berechnet werden konnten. Der Publikationszeitraum umfasste die letzten 25 Jahre, wobei der Hauptschwerpunkt auf den letzten 10 Jahren lag. Die primäre Publikationsquelle lag mit 87,0% bei Zeitschriftenartikeln (N=40), danach folgten Beiträge in Herausgeberwerken (N=4) sowie Abstracts in Zeitschriften (N=1) und Monographien (N=1). Die Publikationen wurden überwiegend in englischer Sprache verfasst (97,8%; N=45). Die Primärstudien konzentrierten sich bei den Zeitschriftenartikeln auf die folgenden Journals: Journal of Strength and Conditioning Research (50,0%), Medicine and Science in Sports and Exercise (15,0%), Journal of Applied Sport Science Research (10,0%), European Journal of Applied Physiology (7,5%), Research Quarterly for Exercise and Sport (7,5%), International Journal of Sports Medicine (5,0%), Journal of Applied Physiology (2,5%) und NSCA Journal (2,5%). Das den Primärstudien zugrunde liegende Studiendesign bzw. die verwendeten Versuchspläne waren in der Rangfolge: (a) Randomisierte Studien mit Kontrollgruppe (50,0%; N=23), (b) Randomisierte Studien ohne Kontrollgruppe (37,0%; N=17), (c) Quasiexperimentelles Design (10,9%; N=5) und (d) Crossover-Design (2,2%; N=1). Es wurden generell nur Primärstudien mit einer Experimental- bzw. Treatmentphase zugelassen. Die Primärstudien wurden in 87,0% der Fälle begutachtet, wobei ein mittlerer Impactfactor von  $1,3 \pm 0,75$  (N=36) registriert wurde. Der Impactfaktor wurde a posteriori durch die Übersicht von Hopkins (2005) zugewiesen (34). In 13,0% konnten keine Angaben zum Begutachtungsverfahren gemacht werden.

## ERGEBNISSE

### Deskription der Primärliteratur – Stichprobenbeschreibung

Insgesamt gingen 2198 Probanden in die Metaanalyse ein. Die durchschnittliche Größe der Probandenstichprobe pro Primärstudie lag bei  $18,6 \pm 11,7$  Personen (Median = 14,0; Min = 6; Max = 59). Das durchschnittliche Alter aller Probanden betrug  $29,3 \pm 15,4$  Jahre (Median = 23,6; Min = 13,3; Max = 71,5). Die Teilnehmer an den Primärstudien waren insgesamt zu 42,4% männlich (N=50 Studien), zu 37,3% weiblich (N=44 Studien) und in 20,3% (N=24) der Studien waren beide Geschlechter beteiligt.

38,1% der Primärstudien hatten trainierte Probanden (N=45), 50,8% der Primärstudien rekrutierten untrainierte Probanden (N=60) und in 11% (N=13) konnten keine Informationen zum Trainingsstatus aus der Primärliteratur entnommen werden. Hier muss angemerkt werden, dass die Unterscheidung zwischen „trainiert“ und „untrainiert“ in den Primärstudien i.d.R. einen graduellen Prozess darstellte, und nicht immer analytisch exakt differenziert wurde.

Die Anzahl der verwendeten Testübungen lag im Mittel bei  $3,1 \pm 2,3$  Übungen. Das eigentliche Training wurde im Durchschnitt an  $6,6 \pm 3,5$  Geräten bzw. Übungen durchgeführt (Min = 1; Max = 24). Die maximal 24 unterschiedlichen Übungen resultierten durch ein so genanntes Split-Training an mehreren Tagen pro Woche. Die zumeist verwendeten Test- als auch Trainingsübungen waren für die oberen Extremitäten das Bankdrücken und für die unteren Extremitäten die Kniebeuge und das Beinpressen. Die Übungen wurden entweder frei oder an speziellen Geräten durchgeführt (23).

Bezüglich der Belastungsnormativa des Trainings lässt sich konstatieren: In 94,9% der Primärstudien wurden Angaben zur Belastungsintensität (N=112), in allen Studien zur Trainings-

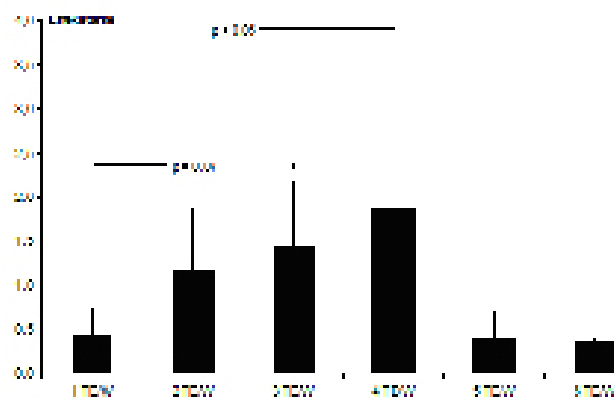


Abbildung 1: Effektstärken innerhalb verschiedener Trainingshäufigkeiten pro Woche.

häufigkeit bzw. zum Trainingsvolumen und in 39,8% zur Serienpause (N=47) gemacht. 44,9% der Primärstudien verwendeten zur progressiven Belastungssteigerung Periodisierungsstrategien (N=53). 55,1% der Studien machten hiervon keinen Gebrauch. Die mittlere Studiendauer betrug  $11,9 \pm 5,2$  Wochen (Median = 12; Min = 4; Max = 25).

Zur weiteren Charakterisierung der Trainingsintervention wurden verschiedene trainingsmethodische Kategorien gebildet: 54,2% der Primärstudien konnten so dem Bereich Muskelaufbautraining bzw. Hypertrophietraining (8-12-RM oder 65-85% 1-RM) (N=64), 9,3% dem Intramuskulären Koordinationstraining bzw. Maximalkrafttraining (3-6-RM oder  $\geq 85\%$  1-RM) (N=11) und 3,4% dem Kraftausdauertraining ( $\geq 15$ -RM oder  $\leq 60\%$  1-RM) (N=4) zugeordnet werden. 39 Studien ließen sich keinem exakten Trainingsbereich (-methode) zuordnen (33,1%).

Die durchschnittliche Trainingshäufigkeit lag bei  $2,6 \pm 0,9$  Trainingseinheiten pro Woche (Median = 3; Min = 1; Max = 6). Die prozentualen Häufigkeiten der bewältigten Trainingseinheiten pro Woche (TE/W) verteilten sich wie folgt: 1 TE/W = 7,6% (N=9); 2 TE/W = 37,3% (N=44); 3 TE/W = 44,1% (N=52); 4 TE/W = 7,6% (N=9); 5 TE/W = 1,7% (N=2); 6 TE/W = 1,7% (N=2). Die durchschnittliche Gesamttrainingshäufigkeit pro Primärstudie betrug  $32,2 \pm 18,9$  Trainingseinheiten. In allen Primärstudien wurden Angaben zur dynamischen Maximalkraftbestimmung (i.d.R. 1-RM-Bestimmung) sowie in 78,8% der Fälle zu weiteren anthropometrischen Variablen wie Größe, Gewicht, BMI, Körperfett etc. der Probanden gemacht.

### Inferenzstatistische Auswertung unterschiedlicher Trainingshäufigkeiten pro Woche

Insgesamt konnten 118 Effektstärken anhand der Primärstudien berechnet werden (zum Teil mehrere Treatmentbedingungen pro Primärstudie). Die Effektstärke als quantitatives Maß von Gruppenzugehörigkeit und Interventionsergebnis zeigte einen signifikanten Unterschied in der Trainingshäufigkeit pro Woche ( $F = 3,96$ ;  $df = 5$ ;  $p < 0,05$ ). Die mittels Scheffé-Test abgesicherten Post-hoc-Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede zwischen einer und vier Trainingseinheiten ( $p < 0,05$ ) und tendenzielle (nicht signifikante) Unterschiede zwischen einer und drei Trainingseinheiten pro Woche ( $p = 0,07$ ). Die weiteren Kombinationen waren nicht signifikant (Abbildung 1).

Zur weiteren inhaltlichen sowohl methodischen als auch methodologischen Klärung wurden die Effektstärken an der Studiendauer relativiert, das bedeutet, die Zeitdauer der

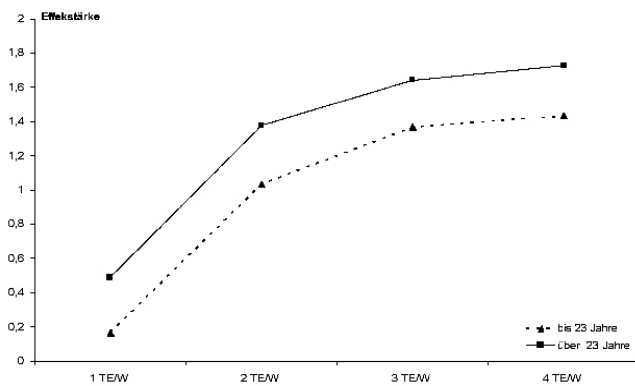


Abbildung 2: Interaktionsdiagramm Altersdifferenzierung und Trainingshäufigkeit.

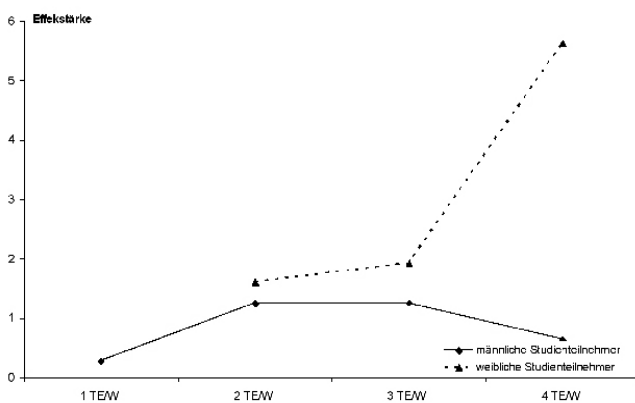


Abbildung 3: Interaktionsdiagramm Geschlechtsdifferenzierung und Trainingshäufigkeit.

Trainingsintervention sollte keinen weiteren Einfluss mehr besitzen. Darüber hinaus wurden Primärstudien, die länger als 20 Wochen andauerten (2 Studien) sowie die vier Studien mit einer Trainingshäufigkeit von fünf bzw. sechs TE von der weiteren Berechnung ausgeschlossen (Ausreißer bzw. geringe Fallzahl). Im Weiteren werden die unabhängigen Variablen: Alter und Geschlecht der Versuchspersonen, der Trainingszustand, die Trainingsmethode sowie die zusätzliche Verwendung von Periodisierungsstrategien in der Trainingsintervention untersucht.

In Abhängigkeit vom Alter der Probanden in den Primärstudien (Differenziert in bis 23 Jahre und über 23 Jahre) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl der Trainingshäufigkeiten ( $F=3,0$ ;  $df=3$ ;  $p<0,05$ ) festgestellt werden. Die Alterskohorten unterschieden sich nicht signifikant ( $F=0,7$ ;  $df=1$ ;  $p=0,40$ ). Die Interaktion war ebenfalls nicht signifikant ( $F=0,0$ ;  $df=3$ ;  $p=1,00$ ). Auffallend erscheint, dass alle Effektstärken über die einzelnen Trainingseinheiten pro Woche bei der Alterskohorte „älter als 23 Jahre“ über denen der Kohorte „jünger als 23 Jahre“ liegen. Da die Interaktionsgraphen gleichsinnig verlaufen, können die Haupteffekte global interpretiert werden (Abbildung 2).

Betrachtet man die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden in den Primärstudien so lässt sich konstatieren: a) es besteht ein signifikanter Unterschied innerhalb der Anzahl von Trainingseinheiten ( $F=4,0$ ;  $df=3$ ;  $p<0,05$ ), b) weiterhin besteht ein signifikanter Geschlechtsunterschied ( $F=26,9$ ;  $df=1$ ;  $p<0,05$ ) und schließlich zeigt sich c) eine signifikante Interaktion ( $F=8,6$ ;  $df=2$ ;  $p<0,05$ ). Alle Effektstär-

ken der Trainingsintervention, an denen Frauen teilgenommen haben, liegen über denen von Männern (Abbildung 3).

Der Trainingszustand in den normativen Kategorien „Trainierte“ und „Untrainierte“ Primärstudienteilnehmer wirkte sich wie folgt aus: a) Trainingshäufigkeit pro Woche ( $F=2,5$ ;  $df=3$ ;  $p=0,07$ ), b) Trainingszustand ( $F=0,0$ ;  $df=1$ ;  $p=0,93$ ) und c) Interaktion Trainingshäufigkeit mal Trainingszustand ( $F=1,9$ ;  $df=2$ ;  $p=0,16$ ) (Abbildung 4). Die verwendeten Trainingsmethoden in den Kategorien „Trainingsmethoden im Kraftausdauerbereich“, „Hypertrophietrainingsbereich“ und „Bereich des Intramuskulären Koordinationstrainings“ zeigten folgende Effekte über die verschiedenen Trainingshäufigkeiten. Die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche unterschied sich signifikant ( $F=5,3$ ;  $df=3$ ;  $p<0,05$ ). Die einzelnen Trainingsmethoden zeigten keinen statistischen Einfluss ( $F=0,3$ ;  $df=2$ ;  $p=0,72$ ), ebenso wie die Interaktion Trainingshäufigkeit mal Trainingsmethode ( $F=0,2$ ;  $df=2$ ;  $p=0,81$ ).

Betrachtet man die zusätzliche Verwendung von Periodisierungsmaßnahmen zur progressiven Belastungssteigerung innerhalb der Trainingsintervention, so lässt sich ein signifikanter Unterschied innerhalb des Haupteffektes Trainingshäufigkeiten nachweisen ( $F=4,4$ ;  $df=3$ ;  $p<0,05$ ). Der Haupteffekt Trainingsperiodisierung („ja“ oder „nein“) ist nicht signifikant ( $F=1,9$ ;  $df=1$ ;  $p=0,17$ ). Die Interaktion weist einen signifikanten Effekt aus ( $F=10,7$ ;  $df=2$ ;  $p<0,05$ ) (Abbildung 5).

## DISKUSSION

Betrachtet man die Effektstärken als quantitatives Maß der Trainingsinterventionen so kann allgemein festgestellt werden, dass verschiedene Trainingsfrequenzen zu unterschiedlichen Anpassungseffekten der Veränderung der Maximalkraft durch Krafttraining führen. Aus dieser Aussage lässt sich schließen, dass eine, fünf und sechs Trainingseinheiten weniger effizient sind als zwei, drei und vier Trainingseinheiten pro Woche. Legt man die Effektstärkenklassifizierung bei Krafttrainingsinterventionen von Rhea (2004) zugrunde, so kann man bei einer, fünf und sechs TE von geringer bzw. gewöhnlicher, bei zwei, drei und vier TE von moderater bis starker Veränderung sprechen (60). Somit würden unter Effizienzaspekten eine – zu geringe Auslenkung der Homöostase, – bzw. fünf und sechs Trainingseinheiten – mangelnde Erholungsfähigkeit physiologischer Parameter – als optimale Trainingsfrequenz pro Woche ausscheiden (5, 46, 73). Während bei nur einer Trainingseinheit pro Woche die Einflüsse auf die neuropsychologischen (gesteigerte Rekrutierung und Frequenzierung sowie optimierte Synchronisation von motorischen Einheiten) sowie die morphologischen Systeme (gesteigerter Protein-Turnover) nur im Sinne des Leistungserhalts wirken, scheinen bei fünf und sechs Trainingseinheiten die beanspruchten Systeme ihr Ausgangsniveau noch nicht erreicht zu haben, um erneute Trainingsreize verarbeiten zu können (47, 72). Eine Trainingseinheit könnte somit im Rahmen der Primärprävention Gültigkeit besitzen, während aufgrund der höheren Belastungstoleranz und des allgemein verbesserten Regenerationsverhaltens fünf und sechs Trainingseinheiten im Hochleistungssport durchaus ihre Berechtigung haben (3, 5, 74). Da beide Bereiche Prävention und Hochleistungssport im Rahmen der Primärstudienabschnitt jedoch stark unterrepräsentiert waren, sind abschließende Aussagen nur bedingt möglich.

Des Weiteren zeigte sich, dass in Abhängigkeit von verschiedenen intervenierenden Variablen wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Trainingsmethode etc. ein signifikanter Unterschied in der Trainingsfrequenz pro Woche besteht (3,5). Somit lässt sich der Haupteffekt Trainingshäufigkeit global interpretieren, indem davon auszugehen ist, dass zwei bis vier Trainingseinheiten pro Woche zu optimalen Anpassungseffekten der Maximalkraftentwicklung führen (3, 13, 16, 26, 36, 52, 59, 66, 73). Inwieweit zwei, drei oder vier Trainingseinheiten pro Woche zu überlegenen Anpassungseffekten führen, lässt sich anhand der Primärliteratur nicht endgültig entscheiden (3). Frauen scheinen etwas mehr von Krafttrainingsinterventionen zu profitieren als Männer, da davon auszugehen ist, dass Frauen ein geringeres Ausgangsniveau haben und bei kurzzeitigen Interventionen somit die Trainingsanpassung schneller vonstatten geht. Das Alter der Primärstudienteilnehmer, deren Trainingszustand sowie die verschiedenen Trainingsmethoden lassen sich nur schwer pauschal in Abhängigkeit von der Trainingshäufigkeit interpretieren. Durch Extremgruppenvergleiche beispielsweise Kinder vs. Senioren und Untrainierte vs. hochspezifisch Trainierte sowie durch ein Crossover-Design könnten mögliche Erklärungsvariablen identifiziert werden.

So stellte Hunter (1985) bei untrainierten Frauen und Männern bei der Zielübung Bankdrücken eine Überlegenheit von vier gegenüber drei Trainingseinheiten fest (36). Betrachtet man zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche, so ist die Forschungslage sehr indifferent (3). Während Brazell-Roberts und Thomas (1989), Carroll et al. (1998) und Stadler et al. (1997) keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei und drei Trainingseinheiten fanden (14, 16, 66), berichteten Braith et al. (1989) und Graves et al. (1988) von einer Überlegenheit von drei gegenüber zwei Trainingseinheiten pro Woche (13, 26).

Die Forschergruppe um Graves und Pollock führte eine interessante Studie zur Trainingsfrequenz durch, indem sie die Effekte von zwei bzw. drei Trainingseinheiten pro Woche über 10 bzw. 18 Wochen untersuchten und dann die Trainingshäufigkeiten um jeweils  $n-1$  reduzierten, also bei 3 mal Training pro Woche auf 2 mal etc. Dabei kam es jeweils zu negativen Trainingseffekten im Sinne von Verschlechterungen nach der Reduktion der Trainingshäufigkeit (26). Wirth (2004) untersuchte nicht nur die Veränderung der Maximalkraft, sondern explizit noch die Veränderung des Muskelquerschnitts nach einem achtwöchigen Hypertrophietraining bei Fortgeschrittenen und Anfängern, welche einmal, zwei- und dreimal pro Woche trainierten. Zwar konnten innerhalb der Gruppen keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, doch zeigte sich für die Anfängergruppe als auch für die Fortgeschrittenen, dass eine Trainingseinheit pro Woche zu den schlechtesten Ergebnissen führte. Zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche steigerten die dynamische Maximalkraft signifikant besser, ohne sich jedoch signifikant untereinander zu unterscheiden (73). Marx et al. (1998) stellten die höchsten Effektstärken bei einem periodisierten Krafttraining bei untrainierten Frauen mit vier Trainingseinheiten pro Woche fest (42). Dabei ist zu bedenken, dass bei untrainierten bzw. Krafttrainingsanfängern die höchsten Anpassungseffekte zu erwarten sind und dass die Überlegenheit eines periodisierten Trainings gegenüber einem nicht periodisierten Training als bewiesen angesehen wird. Peterson et al. (2004) fanden Effektstärken von  $0,70 \pm 0,76$  ( $n = 158$ ) bei zwei Trainingseinheiten und von  $0,69 \pm 1,13$  ( $n = 173$ ) bei drei Trainingseinheiten pro Woche (52). Ähnliche Effektstärken werden von Carroll et al. (1998) bzgl. 1-RM

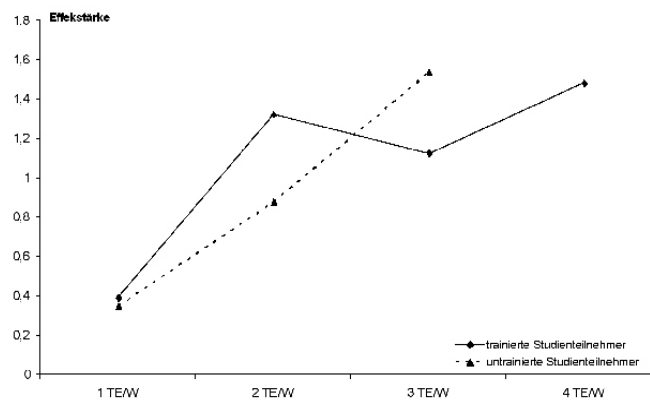


Abbildung 4: Interaktionsdiagramm Trainingszustand und Trainingshäufigkeit.

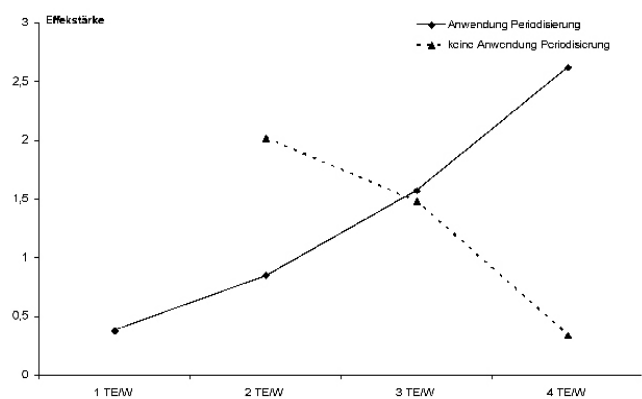


Abbildung 5: Interaktionsdiagramm Periodisierungsmaßnahmen und Trainingshäufigkeit.

Veränderung berichtet (16): 3 TE/W (6 Wochen): ES = 1,00; 2 TE/W (9 Wochen): ES = 0,71.

Rhea et al. (2003) konnten einen Einfluss des Trainingszustandes innerhalb der Trainingsfrequenz feststellen. Während für untrainierte Personen eine Trainingshäufigkeit von dreimal pro Woche zu den größten Anpassungseffekten führt, profitieren bereits Trainierte optimal von zwei Trainingseinheiten (59). Begründet wird dieses Ergebnis mit der höheren Trainingsbelastung und der somit verlängerten Erholungszeit von Trainingsinterventionen bei bereits Fortgeschrittenen (5). Somit decken sich die Untersuchungen von Rhea et al. (2003) mit den hier gefundenen Ergebnissen. Generell kann man aber davon ausgehen, dass nach intensivem Krafttraining mit hohen Belastungen die neurophysiologischen und metabolischen Systemenach 48 Stunden wieder das Ausgangsniveau erreicht haben (55,56), was ein dreimaliges Training pro Woche zulassen würde. Im Gegensatz dazu stehen die Aussagen von McLester et al. (2003) sowie Wernbom et al. (2007) welche 72-96 Stunden präferieren (47, 72). Dabei ist zu bedenken, dass Trainingshäufigkeiten sowie die individuellen Regenerationsverläufe zusätzlich von den verschiedenen Belastungsnormativa der Trainingsmethoden abhängen (Serienpausen, Intensitäten, Wiederholungen innerhalb der Serien, Serienzahl etc.).

Wirth (2004) fand bei Krafttrainingsanfängern und fortgeschrittenen vergleichbare Veränderungen nach achtwöchigem Training des 1-RM bei einer und drei Trainingseinheiten pro Woche (73).



Dass die Verwendung von Periodisierungsstrategien im Krafttraining als zusätzlicher Stimulus speziell bei Fortgeschrittenen zu größeren Anpassungseffekten führt, konnte in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen werden (20,22,59,68,69) und deckt sich mit den gefundenen Ergebnissen der vorliegenden Studie (12,31), innerhalb derer die Effektstärken bei Primärstudien mit Periodisierung über die Trainingseinheiten ansteigen, während sie bei Krafttrainingsinterventionen ohne Periodisierung von zwei über vier Trainingseinheiten kontinuierlich abnehmen (Abbildung 5).

Betrachtet man sich die Effektstärken bei unterschiedlichen Trainingsmethoden, respektive verschiedenen Trainingsbereichen, so ist festzustellen, dass die Effektstärken bei allen Trainingsmethoden (Kraftausdauer, Hypertrophie und IK-Training) bei drei Trainingseinheiten höher sind als bei zwei Trainingseinheiten: Kraftausdauerbereich 285,0 %, Hypertrophiebereich 129,3% und IK-Training 178,9%. Für die Trainingspraxis wäre dies ein weiterer Beleg für drei Trainingseinheiten pro Woche, was auch durch die gängige Literatur bestätigt wird (20,29,38,68). Da die verschiedenen Trainingsmethoden differenzierte Adaptationsprozesse evozieren und unterschiedliche neurophysiologische, energetische und physiologische Systeme unterschiedlich gewichtet angesprochen werden, wäre einer weiteren Vertiefung des Forschungsgegenstandes zuzuraten.

### Methodenkritik

Bezüglich der Interpretation der Ergebnisse sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen: Einerseits beziehen sich die Primärstudien nur auf den deutsch- und englischsprachigen Raum und stellen nur einen selektiven Teil der Primärstudienlage dar, was bei metaanalytischen Verfahren aufgrund der Selektionskriterien zu berücksichtigen ist. Dies schränkt in Teilen die allgemeine Repräsentativität ein. Hinzu kommt die mangelnde Anzahl deutscher Studien. Darüber hinaus liegt der Schwerpunkt bei Studien mit Trainingsintervention i.d.R. bei zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche, wobei Studien mit höherer Trainingsfrequenz eher selten zu finden sind (33) und direkte Vergleiche von Trainingshäufigkeiten (zwei, drei oder vier TE) keine abschließende Empfehlung zulassen. Explizite Forschungen im Sinne von randomisierten, kontrollierten Trainingsstudien und entsprechender Fallzahl wären hierzu wünschenswert.

Des Weiteren liegt ein Mangel bei empirischen Primärstudien darin begründet, dass statistische Angaben fehlen sowie die genaue Beschreibung der Untersuchungsmethodik nur unzureichend angegeben wird und somit bei Metaanalysen die Validität einschränken (mangelnde interne Validität sowie Konstruktvalidität). Weiterhin muss angemerkt werden, dass sich die bisherigen Ergebnisse nur auf die Effektstärken der Veränderung der konzentrischen Maximalkraft als einer Variablen zur Operationalisierung von Trainingsanpassungen beziehen. Darüber hinausgehende Aussagen und Generalisierungen auf z.B. Veränderung des Muskelquerschnitts, neuronale Anpassung, muskelergetische Adaptationen etc. sind somit nicht statthaft (eingeschränkte Aussagekraft).

### Danksagung und verwendete Primärstudien:

Die Autoren möchten sich bei den anonymen Gutachtern für konstruktive Hinweise und Diskussionsbeiträge bedanken. Die verwendeten Primärstudien waren: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16,

17, 18, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 39 (Studie ging 2-mal ein, da mehrere Experimente beschrieben sind), 40, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 57, 58, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 73.

*Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.*

### LITERATUR

1. ABE T, DEHOYOS DV, POLLOCK ML, GARZARELLA L: Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol* 81 (2000) 174-180.
2. AHTIAINEN JP, PAKARINEN A, ALEN M, KRAEMER WJ, HÄKKINEN K: Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influences on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *J Strength Cond Res* 19 (2005) 572-582.
3. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE: Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 364-380.
4. ANDERSON T, KEARNEY JT: Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res Q Exerc Sport* 53 (1982) 1-7.
5. BAECHLE T, EARLE R, WATHAN D: Resistance training, in: Baechle TR, Earle RW (Eds.): *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics, Champaign, Ill., 2000, 395-425.
6. BAKER D, WILSON G, CARLYON R: Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res* 8 (1994) 235-242.
7. BEELMANN A, BLIESENER T: Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychol Rundschau* 45 (1994) 211-233.
8. BEN-SIRA D, AYALON A, TAVI M: The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *J Strength Cond Res* 9 (1995) 143-148.
9. BIGLAND-RITCHIE B, WOODS JJ: Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & Nerve* 7 (1984) 691-699.
10. BORTSE, DE HOYOS DV, GARZARELLA L, VINCENT K, POLLOCK BH, LOWENTHAL DT, POLLOCK ML: Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 648-653.
11. BORTZ J, DÖRING N: *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin, Heidelberg u.a., 2006.
12. BOYER BT: A comparison of the effects of three strength training programs on women. *J Appl Sport Sci Res* 4 (1990) 88-94.
13. BRAITH RW, GRAVES JE, POLLOCK ML, LEGGETT SL, CARPENTER DM, COLVIN AB: Comparison of 2 vs 3 day/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *Int J Sport Med* 10 (1989) 450-454.
14. BRAZELL-ROBERTS JV, THOMAS LE: Effects of weight training frequency on the self-concept of college females. *J Appl Sport Sci Res* 3 (1989) 40-43.
15. BROWNRD, HARRISON JM: The effects of a strength training program on the strength and self concept of two female age groups. *Res Q Exerc Sport* 57 (1986) 315-320.
16. CARROLL TJ, ABERNETHY PJ, LOGAN PA, BARBER M, MCENIERY MT: Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol* 78 (1998) 270-275.
17. CHILIBECKPD, CALDER AW, SALE DG, WEBBER CE: A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol* 77 (1998) 170-175.
18. DERENNE C, HETZLER RK, BUXTON BP, HO KW: Effects of training frequency on strength maintenance in pubescent baseball players. *J Strength Cond Res* 10 (1996) 8-14.
19. FEIGENBAUMMS, POLLOCK ML: Prescription of resistance training for

- health and disease. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 38-45.
20. **FLECK SJ, KRAEMER WJ:** Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, Ill., 1997.
  21. **FLECK SJ:** Cardiovascular response to strength training, in: Komi PV (Eds.): *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 305-315.
  22. **FLECK SJ:** Periodized strength training: a critical review. *J Strength Cond Res* 13 (1999) 82-89.
  23. **FRÖHLICH M:** Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft* 36 (2006) 269-291.
  24. **FRÖHLICH M, EMRICH E, BÜCH M-P:** Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft* 37 (2007) 296-311.
  25. **GOTTLÖB A:** Differenziertes Krafttraining mit Schwerpunkt Wirbelsäule. Urban & Fischer, München, 2001.
  26. **GRAVES JE, POLLOCK ML, LEGGETT SH, BRAITH RW, CARPENTER DM, BISHOP LE:** Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sport Med* 9 (1988) 316-319.
  27. **GÜLLICH A, SCHMIDTBLEICHER D:** Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deut Z Sportmed* 50 (1999) 223-234.
  28. **HARRIS C, DEBELISO MA, SPITZER-GIBSON TA, ADAMS KJ:** The effects of resistance-training intensity on strength gain response in the older adult. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 833-838.
  29. **HARTMANN J, TÜNNEMANN H:** Modernes Krafttraining. Ullstein, Frankfurt/M., 1993.
  30. **HASS CJ, GARZARELLA L, DE HOYOS D, POLLOCK ML:** Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 235-242.
  31. **HERRICK AB, STONE WJ:** The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *J Strength Cond Res* 10 (1996) 72-76.
  32. **HICKSON RC, HIDAKA K, FORSTER C:** Skeletal muscle fibre type, resistance training, and strength-related performance. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1994) 593-598.
  33. **HOFFMAN JR, KRAEMER WJ, FRY AC:** The effects of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *J Appl Sport Sci Res* 4 (1990) 76-82.
  34. **HOPKINS WG:** Impact factors of journals in sport and exercise science, 2004. *Sportscience* 9 (2005) 14-16.
  35. **HUNTER GR, WETZSTEIN CJ, McLAFFERTY CL, ZUCKERMAN PA, LANDERS KA, BAMMAN MM:** High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2002) 1759-1764.
  36. **HUNTER GR:** Changes in body composition, body build and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *Nat Strength Cond Ass J* 7 (1985) 26-28.
  37. **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 (Eds.): *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. Pitman Medical, London, 1981, 59-74.
  38. **KRAEMER WJ, HÄKKINEN K (Ed.):** Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, Oxford, 2002.
  39. **KRAEMER WJ:** A series of studies - the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 131-142.
  40. **KRAMER JB, STONE MH, O'BRYAN HS, CONLEY MS, JOHNSON RL, NIEMAN DC, HONEYCUTT DR, HOKE TP:** Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 143-147.
  41. **MAIER-RIEHLE B, ZWINGMANN C:** Effektstärkevariation beim Eingruppen-Prä-Post-Design: Eine kritische Betrachtung. *Rehabilitation* 39 (2000) 189-199.
  42. **MARX JO, NINDL BC, GOTSHALK LA, VOLEK JS, HARMAN FS, DOHI K, BUSH JA, FLECK SJ, HÄKKINEN K, KRAEMER WJ:** The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women, in: Häkkinen K (Eds.): *International conference on weightlifting and strength training*. Gummerus Printing, Lathi, Finland, 1998, 167-168.
  43. **MASSEY D:** An analysis of full range of motion vs. partial range of motion training in the development of strength, in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Eds.): *Current results of strength training research*. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2005, 206-216.
  44. **MCCALL GE, BYRNES WC, DICKINSON A, PATTANY PM, FLECK SJ:** Muscular fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol* 81 (1996) 2004-2012.
  45. **MCGEED, JESSEE C, STONE MH, BLESSING D:** Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *J Appl Sport Sci Res* 6 (1992) 92-95.
  46. **MCLESTER JR, BISHOP JP, GUILLIAMS ME:** Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 273-281.
  47. **MCLESTER JR, BISHOP PA, SMITH J, WYERS L, DALE B, KOZUSKO J, RICHARDSON M, NEVETT ME, LOMAX R:** A series of studies - a practical protocol for testing muscular endurance recovery. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 259-273.
  48. **MESSIER SP, DILL ME:** Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to nautilus circuit weight training. *Res Q Exerc Sport* 56 (1985) 345-351.
  49. **NÓBREGA ACL, PAULA KC, CARVALHO CG:** Interaction between resistance training and flexibility training in healthy young adults. *J Strength Cond Res* 19 (2005) 842-846.
  50. **OSTROWSKI KJ, WILSON GJ, WEATHERBY R, MURPHY PW, LITTLE AD:** The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 148-154.
  51. **PAULSEN G, MYKLESTAD D, RAASTAD T:** The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 115-120.
  52. **PETERSON MD, RHEA MR, ALVAR BA:** Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 377-382.
  53. **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.
  54. **PLATONOV VN:** Belastung - Ermüdung - Leistung. Philippka, Münster, 1999.
  55. **RAASTAD T, GLOMSHELLER T, BJORO T, HALLÉN J:** Recovery of skeletal muscle contractility and hormonal responses to strength exercise after two weeks of high-volume strength training. *Scand J Med Sci Sports* 13 (2003) 159-168.
  56. **RAASTAD T, HALLÉN L:** Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol* 82 (2000) 206-214.
  57. **REMMERT H, SCHISCHEK A, ZAMHÖFER T, FERRAUTI A:** Influence of recovery duration on increase of strength and muscular growth within a high-intensity training (HIT), in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Eds.): *Current results of strength training research*. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2005, 89-102.
  58. **RHEA MR, ALVAR BA, BALL SD, BURKETT LN:** Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *J Strength Cond Res* 16 (2002) 525-529.
  59. **RHEA MR, ALVAR BA, BURKETT LN, BALL SD:** A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 456-464.
  60. **RHEA MR:** Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 918-920.
  61. **ROBINSON JM, STONE M, H., JOHNSON RL, PENLAND C, M., WARREN BJ, LEWIS RD:** Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J Strength Cond Res* 9 (1995) 216-221.
  62. **RUSTENBACH SJ:** Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung. Verlag Hans Huber, Bern u.a., 2003.
  63. **SANBORN K, BOROS R, HRUBY J, SCHILLING B, O'BRYAN HS, JOHNSON RL, HOKE TP, STONE ME, STONE MH:** Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to

- failure in women. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 328-331.
64. **SCHLUMBERGER A, SCHMIDTBLEICHER D:** Development of dynamic strength and movement speed after high-intensity resistance training, in: Häkkinen K (Eds.): International conference on weightlifting and strength training. Gummerus Printing, Lathi, Finland, 1998, 163-164.
65. **SCHLUMBERGER A, STEC J, SCHMIDTBLEICHER D:** Single- vs. multiple-set strength training in women. *J Strength Cond Res* 15 (2001) 284-289.
66. **STADLER LV, STUBBS NB, VUKOVICH MD:** A comparison of a 2-day and 3-day per week resistance training program on strength gains in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 29 (1997) suppl. 254.
67. **STARKEY DB, POLLOCK ML, ISHIDA Y, WELSCH MA, BRECHUE WF, GRAVES JE, FEIGENBAUM MS:** Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 1311-1320.
68. **STONE M, O'BRYAN H:** Weight Training: A scientific approach. Bellwether Press, Minneapolis, 1987.
69. **STONE MH, POTTEIGER JA, PIERCE KC, PROULX CM, O'BRYAN HS, JOHNSON RL, STONE ME:** Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 332-337.
70. **STONE WJ, COULTER SP:** Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *J Strength Cond Res* 8 (1994) 231-234.
71. **TESCH PA:** Training for bodybuilding, in: Komi PV (Eds.): Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 370-380.
72. **WERNBOM M, AUGUSTSSON J, THOMÉÉ R:** The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med* 37 (2007) 225-264.
73. **WIRTH K:** Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining. Unveröffentlichte Doktorarbeit, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main, 2004.
74. **ZATSIORSKY VM:** Science and practice of strength training. Human Kinetics, Champaign, Ill., 1995.
75. **ZIMMERMANN K:** Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining. Hofmann, Schorndorf, 2000.

**Korrespondenzadresse:**  
**Dr. phil. Michael Fröhlich**  
**Universität des Saarlandes**  
**Sportwissenschaftliches Institut**  
**Universität Campus B8 1**  
**66123 Saarbrücken**  
**E-Mail: m.froehlich@mx.uni-saarland.de**

## Beitrag VII

Fröhlich, M., Müller, T., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2009). Outcome-Effekte verschiedener Periodisierungsmodelle im Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60 (10), 307-314.





<sup>1</sup>Fröhlich M, <sup>1</sup>Müller T, <sup>2</sup>Schmidtbleicher D, <sup>1</sup>Emrich E

# Outcome-Effekte verschiedener Periodisierungsmodelle im Krafttraining

## *Outcome-Effects of different Periodization Models in Strength Training*

<sup>1</sup>Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes

<sup>2</sup>Institut für Sportwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main

### ZUSAMMENFASSUNG

Periodisierung im Krafttraining bezeichnet die gezielte Veränderung der Trainingsstrukturen innerhalb eines Trainingszyklus. Aktuelle Metaanalysen und Übersichtsarbeiten konnten eine Überlegenheit von periodisierten gegenüber nicht periodisierten Trainingsplänen nachweisen (32,56). Ungeklärt ist die Frage, ob ein blockförmiges oder ein wellenförmiges Modell überlegen ist. Mittels Metaanalyse konnten bei 35 Primärstudien insgesamt 129 Effektstärken berechnet werden. Die Primärstudien suchte erfolgte über Online-Recherche. Deskriptoren waren: Periodisierung, periodization, periodized, non-linear, undulating mit und ohne Training. Die Primärstudien wurden über einen offenen Kodierplan kodiert. Die Effektstärkenberechnung erfolgte nach Cohen's d im Pre-Post-Test Vergleich sowie mit gepoolter Standardabweichung. Das Studiendesign der Primärstudien beinhaltete randomisierte Studien mit (RCT) bzw. ohne Kontrollgruppe (RT), quasiexperimentelles Design und Interventionen von mindestens fünf Wochen Dauer. Über alle Primärstudien lag die Effektstärke (N=129) bei  $0.93 \pm 0.64$  (CI=0.82-1.04). Die mittlere Effektstärke für das blockförmig periodisierte Krafttraining betrug  $0.93 \pm 0.59$  (N=94; CI=0.81-1.06). Diejenige des wellenförmigen Periodisierungsmodells lag bei  $0.93 \pm 0.75$  (N=35; CI=0.67-1.18). Zwischen den Modellen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $F(1, 127) = 0.02$ ;  $p = 0.97$ ;  $\eta^2 = 0.000$ ). Auch das Einbeziehen von Moderatorvariablen wie Geschlecht, Trainingszustand, Übungen oder Studiendauer zeigte keine signifikanten Effekte. Die Effektstärken beider Modelle als quantitative Maße für praktische Relevanz indizieren einen großen Effekt, somit sind beide Modelle von großer praktischer Relevanz.

**Schlüsselwörter:** Krafttraining, Metaanalyse, Periodisierung, blockförmig, wellenförmig

### Einleitung und Problemexplikation

Krafttraining ist nicht nur im Leistungssport bedeutsam, sondern besitzt zahlreiche dokumentierte Effekte für Gesundheit, Prävention und Rehabilitation (2,32). Zur langfristigen Initiierung möglichst optimaler Adaptationen ist die richtige Dosierung von Belastungs- und Erholungsphasen essentiell. Durch die systematische Methodenvariation – Periodisierung – sollen einerseits bessere Erholungen zwischen den einzelnen Belastungsreizen erzielt, Leistungsstagnationen in Form von Anpassungsplateaus vermieden und andererseits langfristig größere Kraftzuwächse generiert sowie Übertrainingszustände vermieden werden (19,42,66). Innerhalb der Krafttrainingsforschung scheint ein allgemeiner Konsens darüber zu bestehen, dass Periodisierungsmodelle Trainingsinterventionen ohne entsprechende Belastungsvariation mittel- und langfristig in

### SUMMARY

The concept of periodization in strength training is characterized by planned variation and distribution of training parameters on a cyclic basis. Current meta-analysis reported periodized strength training programs to be superior to non-periodized programs (32,56). Nevertheless, it remains unclear whether a linear or an undulating periodization model is more effective in eliciting maximum strength. By means of a meta-analysis, 35 studies with 129 computable effect sizes could be identified. The literature search strategies covered online databases. Key words included Periodisierung, periodization, periodized, non-linear, and undulating with and without training. The studies were coded according to an open coding plan. Effect sizes were calculated according to Cohen's d with pre-post-test comparisons and pooled standard deviations. Randomized controlled studies (RCT), studies without control group (RT), as well as quasi-experimental design with intervention of at least five weeks were included. The overall effect size (N=129) resulted in  $0.93 \pm 0.64$  (CI=0.82-1.04). The mean effect size for linear periodization resulted in  $0.93 \pm 0.59$  (N=94; CI=0.81-1.06) and  $0.93 \pm 0.75$  (N=35; CI=0.67-1.18) for undulating periodization. No significant difference was found, neither between the two strategies ( $F(1, 127) = 0.02$ ;  $p = 0.97$ ;  $\eta^2 = 0.000$ ) nor for the consideration of moderator variables, e.g. sex, training experience, exercises, or study duration. As a quantitative magnitude for practical relevance, the effect sizes of either periodization strategy show a large effect. The effect sizes indicate a high practical relevance.

**Key Words:** strength training, meta-analysis, periodization, linear, undulating

Bezug auf Kraftentwicklung, Schnellkraft und physische Leistungsfähigkeit überlegen sind (4,17,18,19,33,37,50,66,69,76). Bezogen auf kurzfristige Interventionen im Zeitraum von vier bis sechs Wochen ist die Forschungslage indifferent (18,63) bzw. zeigt keine signifikanten Unterschiede (6), was u. a. in dem Zitat von Kraemer und Kollegen (2002, S.365) zum Ausdruck kommt: "both periodized and nonperiodized training are effective during short-term training, whereas variation is necessary for long-term resistance training". Die Anpassungseffekte bei kurzfristigen Interventionen beruhen jedoch hauptsächlich auf neuronalen Adaptationen (1). Darüber hinaus werden von Stone et al. (67) methodische Mängel und unzulängliche Interpretationen in diesem Zusammenhang diskutiert. Rhea und Alderman (56) untersuchten metaanalytisch

**Tabelle 1:** Classic strength/power periodization model (19)

| Weeks               | 1-2     | 3-4     | 5-6     | 7-8     | 8-10    | 11-12   |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Reps                | 10-12   | 4-6     | 8-10    | 3-5     | 5-7     | 2-3     |
| Sets                | 3       | 5       | 4       | 5       | 4       | 6       |
| Intensity           | 70-75 % | 82-88 % | 75-78 % | 85-90 % | 80-85 % | 90-95 % |
| Volume (total reps) | 30-36   | 20-30   | 32-40   | 15-25   | 20-28   | 12-18   |

zahlreiche Primärstudien zur Wirkungsweise von Periodisierungsmodellen und fanden, dass periodisiertes Training, unabhängig von Alter, Geschlecht oder Trainingsstatus, einer nicht periodisierten Variante überlegen ist. Dadurch widerlegen sie die von Baker, Wilson und Carlyon (6) gemachte Annahme, dass Untrainierte in den ersten vier Wochen die gleichen Maximalkraftzuwächse erfahren, egal welche Trainingsmethode sie befolgen.

Bis dato haben sich zwei große Periodisierungsmodelle im Krafttraining heraus gebildet, die klassische oder lineare (classic or linear periodized programs) sowie die wellenförmige (undulating periodized programs) Periodisierung (19).

Die lineare Blockperiodisierung besteht im Allgemeinen aus fünf einzelnen Mesozyklen zu je vier bis sechs Wochen Dauer (vgl. Tab.2). Die verschiedenen Phasen sind „Hypertrophy“, „Strength“, „Power“, „Peaking“ und „Active Rest“ (19,69). Generell steigt von Phase zu Phase die Belastungsintensität linear an, während das Belastungsvolumen kontinuierlich abnimmt (66).

Die wellenförmige Periodisierung geht auf Poliquin zurück (6,36,51). Nach seiner Erkenntnis verlieren Trainingsprogramme nach nur zwei Wochen ihre Effektivität, da sich der Körper sehr schnell an die Belastungen anpasst (vgl. Tab.1). Um dies zu verhindern, sollten Volumen und Intensität in einer hohen Frequenz variiert werden, um neuromuskuläre Anpassungen an die zu bewältigende Trainingslast zu erzwingen (11). Tan (73) bestätigt Poliquin in der Annahme, dass sich der menschliche Körper an einen stets gleichen Trainingsstimulus schnell anpasst. Allerdings erscheint ihm der Zeitraum von zwei Wochen als zu kurz und er weist auf Studien hin, die Trainingsplateaus um die zehnte Woche feststellen.

Theoretische und sportpraktische Überlegungen sprechen dem wellenförmigen Modell gewisse Vorteile, wie bessere Verträglichkeit in der Trainingsplanung und -umsetzung sowie flexiblere Individualisierung, zu (19,30,33). Die wissenschaftliche Evidenz, inwieweit lineare Blockperiodisierung bzw. wellenförmige Modelle in Abhängigkeit vom Trainingszustand, dem Geschlecht, der Trainingsdauer, der verwendeten Trainingsübungen etc. unterschiedliche Outcome-Effekte zeigen, ist bisher wenig untersucht (12).

## METHODIK

Nach Rhea (55) besitzt eine einzelne Studie wenig empirische Evidenz, wenn sie nicht in Verbindung zu anderen Untersuchungen des Forschungsgebiets gesehen wird. Dies impliziert eine Zusammenführung vergleichbarer Studien, welche einzeln aufgrund zu kleiner Stichproben bzw. unterschiedlicher Methoden keine verlässlichen, generalisierbaren Aussagen ermöglichen (8). Nach Aus-

**Tabelle 2:** Alternating accumulation and intensification phases for strength development (51)

|           | Hypertrophy | Strength | Power    | Peaking   | Active rest             |
|-----------|-------------|----------|----------|-----------|-------------------------|
| Sets      | 3-5         | 3-5      | 3-5      | 1-3       | Light physical activity |
| Reps/set  | 8-12        | 2-6      | 2-3      | 1-3       |                         |
| Intensity | Low         | Moderate | High     | Very high |                         |
| Volume    | Very high   | High     | Moderate | Low       |                         |

führungen von Leonhart und Maurischat (38) gewinnen narrative Reviews und Metaanalysen im Sinne der Evidence Based Medicine eine immer größere Bedeutung (8,62). Bliesener (9) nennt in diesem Zusammenhang u. a. drei Ziele der Metaanalyse: die Schätzung eines Populationsparameters aus vorliegenden Statistiken kleiner Stichproben, den Nachweis eines Effekts bei inkonsistenter Befundlage in den Primärstudien bzw. die Analyse von Drittvariablen und deren Wechselwirkung mit den abhängigen und unabhängigen Variablen. Weitere Vorteile der Metaanalyse sind eine höhere Präzision, Reliabilität, Validität und Teststärke (10). Stichprobenfehler und Methodenartefakte werden statistisch modelliert und geringe Stichprobenumfänge werden durch entsprechende Adjustierung der Studieneffekte ausgeglichen. Die Integration verschiedener Designs mit unterschiedlichen Populationen, Settings, Zeiten und Operationalisierungen verbessert die externe Validität bzw. Generalisierungsfähigkeit. Damit kann die Theorieentwicklung und -prüfung empirisch vorangetrieben werden, da moderierende Einflussfaktoren statistisch überprüft werden können (8,62).

Probleme und mögliche Lösungswege die im Zusammenhang mit der Durchführung einer Metaanalyse stehen, betreffen u. a. das garbage in/garbage out Argument, das apples and oranges Argument, das publication bias bzw. file drawer bias Argument und die statistische Unabhängigkeit der Effektstärken (8,9).

## Datenaggregation, Kodierung und Deskription der Primärbefunde

Die Primärstudien suchte entsprechend den Empfehlungen (8,10,62) in multipler Weise über Internetdatenbanken, Durchsicht einschlägiger Zeitschriften, Auswertung der Literaturverzeichnisse bereits vorliegender Primärstudien bzw. Übersichtsarbeiten, Konsultation von Experten sowie Suche in Fachbibliotheken realisiert.

Die Recherche in den Internetdatenbanken wurde einerseits über PubMed, Medpilot und MedLine und andererseits über die Virtuelle Fachbibliothek Sportwissenschaft (vifa-sport) sowie das BISp durchgeführt. Die Deskriptoren waren: periodisation bzw. periodization, periodised bzw. periodized, linear bzw. non-linear, undulating, Block, Welle, Periodisierung und periodisiert jeweils in Verbindung mit und ohne strength training bzw. Krafttraining. Jede aufgenommene Studie wurde nach weiteren Querverweisen durchsucht.

Die zusätzliche Durchsicht von Fachzeitschriften bezog sich auf Sportwissenschaft, Journal of Strength and Conditioning Research, Strength and Conditioning Journal und Medicine and Science in Sports and Exercise (die Zeitschriften wurden überproportional häufig in den Internetdatenbanken zur Thematik ausgewiesen). Die Selektionskriterien umfassten folgende Punkte (20,22,55,58): (a) mindestens fünf Probanden pro Untersuchungs-

gruppe; (b) Pre- und Post-Test-Design; (c) Angabe des 1-RM mit verwertbaren statistischen Angaben, um eine Effektstärke berechnen zu können; (d) Trainingsdesign über mindestens fünf Wochen; (e) Angabe des Trainingsprotokolls, das einem blockförmigen oder wellenförmigen Periodisierungsmodell zugeordnet werden kann; (f) Verwendung psychisch und physisch gesunder Probanden; (g) Publikationszeitpunkt innerhalb der letzten 20 Jahre; (h) Publizierung in englischer oder deutscher Sprache.

Anhand der Literaturrecherche konnten 35 Primärstudien identifiziert und 130 Effektstärken berechnet werden, die den Selektionskriterien entsprachen. Die überwiegende Publikationsquelle lag in Zeitschriftenartikeln (91,4%; N=32) und vereinzelt in Büchern (8,6%; N=3). Die in den Studien gefundenen Versuchsdesigns umfassten schwerpunktmäßig randomisierte Studien ohne Kontrollgruppe (62,9%; N=22), Studien mit quasiexperimentellem Design (22,9%; N=8) und randomisierte Studien mit Kontrollgruppe (14,3%; N=5). Rustenbach (62) merkt diesbezüglich an, dass die Argumentation zur Exklusion methodisch weniger restriktiv durchgeführter Primärstudien weder empirisch fundiert ist, noch theoretisch hergeleitet werden kann und eine Exklusion quasiexperimenteller Studien eher die Ergebnisse verzerrt als deren Inklusion. Eine Beschränkung auf RC-Studien hat zudem eine geringere Repräsentativität und Teststärke zur Folge.

Die Primärstudien lagen primär in englischer Sprache vor (in deutsch 8,6%; N=3). Eine Begutachtung fand in 88,6% der Fälle statt (N=31). Der mittlere Impactfaktor lag bei 1,57, wobei zu 4 Studien (11,4%) keine Angaben gefunden wurden. Die Kodierung der Primärstudien wurde nach einem offenen Kodierplan durchgeführt (20,22,56,58). Neben deskriptiven Angaben zu den Studien wurden Testmethodik und Trainingsprotokolle aufgenommen, Ergebnisse und Methodik bewertet sowie Einschätzungen des Autors beachtet.

Es wurden sowohl intervallskalierte (z. B. Publikationsjahr, Impact Faktor, Probandenalter und -zahl, Anzahl der Test- und Trainingsübungen, etc.) als auch kategoriale Merkmalskodierungen durchgeführt (z. B. Publikationsart und -name, Sprache, Studiendesign, Geschlecht, Trainingsstatus, Art der Test- und Trainingsübungen etc.). Die Kodierung der Variable Trainingsstatus wurde analog zu der Autoreneinschätzung durchgeführt. Die Kodierung der Dauer der einzelnen Blöcke bei einem klassisch linear periodisierten Trainingsprogramm wurde anhand der Autorenbeschreibung zur Wiederholungszahl mit entsprechender Intensität eingeteilt. Trainingsintensitäten zwischen 7-15-RM oder 65-85% des 1-RM wurden als Hypertrophie-Block gewertet, bei 6-RM und weniger bzw. über 85% des 1-RM wurde die Variable als Block mit Maximalkraft- bzw. intramuskulärem Koordinationstraining kodiert.

Die Bewertung der Methodik wurde mit „0=gering“, „1=moderat“ und „2=hoch“ vorgenommen, wobei die Einteilung, angepasst an den trainingswissenschaftlichen Forschungsbereich, nach der PEDro-Skala des Centre for Evidence-Based Physiotherapy durchgeführt wurde. Von den ursprünglich elf Kriterien dieser Skala, die für den medizinischen Bereich ausgelegt ist, wurden acht beibehalten, da eine Verblindung der Probanden, Therapeuten bzw. Untersucher im trainingswissenschaftlichen Studiendesign sehr selten ist. Für jedes mit „Ja“ beantwortete Kriterium wurde ein Punkt vergeben. Je nach Summe der Punkte wurde die untersuchte Methodik der Primärstudien für 0-2 Punkte als „gering“ (0), für 3-5 Punkte als „moderat“ (1) bzw. für 6-8 Punkte als „hoch“ (2) eingestuft. Die Beurteilung der Ergebnisqualität wurde anhand des CONSORT

Statements zur Qualitätsverbesserung von Darstellungen randomisierter Studien im Paralleldesign durchgeführt (44).

Ähnlich der Methodikklassifizierung wurden die Ergebnisse, bezogen auf die Detailliertheit der Ergebnisdarstellung, in „0=gering“, „1=moderat“ und „2=hoch“ eingeordnet. Die Kriterien umfassten Angaben zum Ein- und Ausschluss von Probanden, Intervention, Probandencharakteristika, Testverfahren und -größen sowie Darstellung der Ergebnisse in Absolutwerten für einzelne Gruppen. Das Fazit der Autoren wurde je nach Versuchsdesign in „pro Block“, „pro Welle“, „kein Unterschied“ oder „nicht untersucht“ kodiert.

In der vorliegenden Arbeit wurden keine statistischen Prozeduren zur Interraterreliabilität durchgeführt, sondern ein Konsens zur Beurteilung getroffen, insbesondere für die kategorialen Variablen. Mehrere Primärstudien wurden hierzu von drei verschiedenen Begutachtern verglichen. Die Vergleiche zeigten eine Übereinstimmung von über 90%, so dass abschließend von einer hohen Kodierungsgüte gesprochen werden kann.

### Statistische Verfahren

In der Literatur findet sich eine Vielzahl verschiedener Verfahren, nach denen Effektstärken berechnet werden können (13,14,62). Maier-Riehle und Zwingmann (39) stellen fest, dass bei der Berechnung der Effektstärken der Zähler einheitlich als Differenz zwischen dem Mittelwert der beiden Messzeitpunkte (bzw. Gruppen) ausgewiesen ist, aber bezüglich des Nenners drei verschiedene Möglichkeiten bestehen, die Formel zu vervollständigen. Sie weisen darauf hin, dass stets beschrieben werden sollte, welche Berechnungsmethode für Effektstärken ausgewählt wurde, da unterschiedliche Varianten nicht zu den gleichen Ergebnissen führen. In der vorliegenden Arbeit wurde hierzu die gepoolte Standardabweichung ausgewählt (45). Da in den vorhandenen Primärstudien Designs mit und ohne Kontrollgruppe vorlagen, wurden zur Berechnung der Effektstärken die bereits bei Fröhlich (20) und Rhea (55) beschriebenen Formeln verwendet (22,56,58,13,14). Sobald Mittelwerte und Streuungen für Vor- und Nachtest vorliegen, kann die Effektstärke für abhängige Stichproben nach der klassischen Methode berechnet werden, indem die Vortestergebnisse als Kontrollgruppe und die Nachtestergebnisse als Treatmentgruppe gedeutet werden. Die Formel gibt somit die Mittelwertsdifferenz zweier Gruppen (bzw. einer Gruppe mit Pre-Post-Test-Design) bezogen auf deren gepoolte Standardabweichung, d. h. die gemittelte Streuung beider Stichproben an, und „drückt somit den Abstand von Verteilungen in Einheiten der Standardabweichung aus“ (8). Die statistische Prüfung auf Gruppeneffekte wurde mittels ANOVA durchgeführt. Die Voraussetzungsprüfungen erfolgten mit Levene-Test (Varianzhomogenität) sowie mit Kolmogorov-Smirnov-Test (Normalverteilung). Post-hoc Einzelvergleiche wurden über Scheffé-Test abgesichert. Die Varianzklärung wurde über partielles  $\eta^2$  (kurz  $\eta^2$ ) vorgenommen (10). CI gibt das 95% Konfidenzintervall an. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0.05$  festgelegt. Die Berechnung erfolgte mit SPSS 16.0.

## ERGEBNISSE

**Deskription der Primärstudien und Stichprobenbeschreibung**

Insgesamt wurden 35 Studien identifiziert, wobei 2107 Probanden, aufgeteilt auf 130 Einzelgruppen, in die Stichprobe eingingen. Die mittlere Gruppengröße betrug  $16.21 \pm 18.01$  Personen (Median=12; Min=5; Max=135). Das durchschnittliche Alter der Studienteilnehmer lag bei  $21.20 \pm 4.50$  Jahren (Median=21; Min=15.3; Max=62). Insgesamt nahmen 69.2% Männer (N=90) und 15.4% Frauen (N=20) an der Untersuchung teil, bei 9.2% (N=12) der Studien waren beide Geschlechter beteiligt. Keine Angaben dazu wurden in 6.2% der Fälle (N=8) gemacht. Laut Autorenangaben waren 62.3% der in die Stichprobe eingegangenen Probanden als trainiert einzustufen (N=81), wohingegen 25.4% (N=33) als untrainiert anzusehen waren. 12.4% konnten nicht eindeutig einer der beiden Kategorien zugeordnet werden.

Die Angabe zum Trainingszustand in den Primärstudien ist oftmals normativ und weniger durch definierte Kriterien festgelegt (22). Überwiegend kam nur eine Testübung zum Einsatz (94.6%). Die am häufigsten genutzten Übungen bildeten Kniebeuge für die unteren Extremitäten und Bankdrücken für die oberen Extremitäten. Ein direkter Vergleich zwischen Trainingsprotokollen mit block- bzw. wellenförmiger Periodisierung wurde bei sieben Studien (20%) durchgeführt, wohingegen bei den restlichen 28 Studien (80%) lediglich eine Periodisierungsstrategie im Trainingsprotokoll zum Einsatz kam.

Bei Verwendung eines blockförmigen Trainingsdesigns lag die durchschnittliche Dauer des Hypertrophie-Blocks bei  $5.96 \pm 4.22$  Wochen. Ein Block mit intramuskulärem Koordinationstraining dauerte im Schnitt  $5.96 \pm 3.41$  Wochen. Es konnte eine mittlere Studiendauer von  $11.97 \pm 4.53$  Wochen festgestellt werden (Median=12; Min=5; Max=24). Die Belastungsnormativa wurden, außer bei einer Primärstudie, in 97.1% der Fälle (N=34) angegeben. Zwei von 35 Studien machten keine Angaben zur Belastungsintensität (5.7%). Das Volumen wurde bis auf eine Studie (2.9%) immer angegeben. Bezüglich der Serienpause konnten 25-mal Angaben verzeichnet werden (71.4%), 10-mal (28.6%) fehlte diese Information. Die Trainingshäufigkeit wurde in allen Studien angegeben, wobei durchschnittlich  $3.09 \pm 0.69$  Trainingseinheiten pro Woche gewählt wurden (Median=3; Min=2; Max=4.5).

Sämtliche Studien machten Angaben zur Testmethodik und speziell zur Messung der dynamischen Maximalkraft (1-RM). Die isometrische Maximal- bzw. Explosivkraft wurde in nur zwei Fällen angegeben (5.7%). In acht der Studien wurden Angaben zur Messung von Bewegungsgeschwindigkeiten gemacht (22.9%). Insgesamt wurde in 32 Fällen (91.4%) Daten zur Anthropometrie wie Körpergröße oder Körpermasse festgehalten, wohingegen drei Studien nichts darüber aussagten (8.6%). Bis auf zwei Studien (5.7%) gaben alle die statistischen Prüfverfahren bzw. Prüfgrößen an.

**Tabelle 3:** Deskription und Inferenzstatistik der Effektstärken

| Moderatorvariable | Kategorisierung            | Periodisierungsmodell |                 | Haupteffekt                      | Haupteffekt                      | Interaktions-effekt                |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|                   |                            | blockförmig           | wellenförmig    | Periodisierung                   | Moderatorvariable                | Periodisierung x Moderatorvariable |
| Alter             | ≤ 21 Jahre (N = 61)        | $0.85 \pm 0.52$       | $0.97 \pm 0.77$ | $F_{(1, 120)} = 0.01$ ;          | $F_{(1, 120)} = 0.29$ ;          | $F_{(1, 120)} = 0.73$ ;            |
|                   | >21 Jahre (N = 63)         | $1.03 \pm 0.67$       | $0.93 \pm 0.75$ | $p = 0.92$ ;<br>$\eta^2 = 0.000$ | $p = 0.59$ ;<br>$\eta^2 = 0.002$ | $p = 0.39$ ;<br>$\eta^2 = 0.006$   |
| Geschlecht        | Männlich (N = 90)          | $0.86 \pm 0.52$       | $0.90 \pm 0.50$ | $F_{(1, 105)} = 0.76$ ;          | $F_{(1, 105)} = 7.76$ ;          | $F_{(1, 105)} = 0.53$ ;            |
|                   | Weiblich (N = 19)          | $1.34 \pm 0.76$       | $1.71 \pm 1.97$ | $p = 0.39$ ;<br>$\eta^2 = 0.007$ | $p < 0.01$ ;<br>$\eta^2 = 0.069$ | $p = 0.47$ ;<br>$\eta^2 = 0.005$   |
| Trainingszustand  | Trainiert (N = 81)         | $0.90 \pm 0.61$       | $0.73 \pm 0.50$ | $F_{(1, 109)} = 0.47$ ;          | $F_{(1, 109)} = 8.48$ ;          | $F_{(1, 109)} = 2.97$              |
|                   | Untrainiert (N = 32)       | $1.09 \pm 0.57$       | $1.49 \pm 1.10$ | $p = 0.50$ ;<br>$\eta^2 = 0.004$ | $p < 0.01$ ;<br>$\eta^2 = 0.072$ | $p = 0.09$ ;<br>$\eta^2 = 0.026$   |
| Testübung         | untere Extremität (N = 74) | $1.01 \pm 0.63$       | $0.97 \pm 0.75$ | $F_{(1, 125)} = 0.00$ ;          | $F_{(1, 125)} = 1.12$ ;          | $F_{(1, 125)} = 0.12$ ;            |
|                   | obere Extremität (N = 55)  | $0.83 \pm 0.53$       | $0.88 \pm 0.77$ | $p = 0.99$ ;<br>$\eta^2 = 0.000$ | $p = 0.29$ ;<br>$\eta^2 = 0.009$ | $p = 0.73$ ;<br>$\eta^2 = 0.001$   |
| Studiendauer      | ≤ 12 Wochen (N = 98)       | $0.93 \pm 0.61$       | $0.83 \pm 0.66$ | $F_{(1, 125)} = 0.52$ ;          | $F_{(1, 125)} = 1.82$ ;          | $F_{(1, 125)} = 1.95$ ;            |
|                   | > 12 Wochen (N = 31)       | $0.93 \pm 0.55$       | $1.24 \pm 0.96$ | $p = 0.47$ ;<br>$\eta^2 = 0.004$ | $p = 0.18$ ;<br>$\eta^2 = 0.014$ | $p = 0.17$ ;<br>$\eta^2 = 0.015$   |

**Bewertung der Methodik und der Ergebnisse**

Generell ist den Primärstudien eine relativ hohe methodische Qualität zu bescheinigen. 65.7% der eingegangenen Studien konnten bezüglich der Qualität als „hoch“ bewertet werden (N=23) und 31.4% immerhin als „moderat“ (N=11). Lediglich eine Studie wurde als „gering“ kodiert (2.9%). Die Ergebnisqualität war in 80% der Fälle als „hoch“ (N=28) einzuschätzen, bei vier (11.4%) als „moderat“ und bei drei Studien (8.6%) als „gering“. Wie bereits besprochen wurde der Unterschied zwischen einem block- und einem wellenförmigen Periodisierungsmodell in lediglich sieben Studien direkt statistisch untersucht. 17.1% der Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede (N=6) und nur einmal wurde die Signifikanzgrenze überschritten (2.9%). Folglich lautete das Fazit der Autoren 28-mal „nicht untersucht“ (80%), viermal „kein Unterschied“ (11.4%). Auch wenn nicht alle Autoren ein signifikantes Ergebnis errechneten, so sprach man sich doch zweimal für ein wellenförmig periodisiertes (5.7%) und einmal für ein blockförmig periodisiertes Krafttraining (2.9%) aus.

**Inferenzstatistische Berechnungen**

Zusammengefasst gingen aus den 35 Primärbefunden insgesamt 130 Effektstärken in die Analyse mit ein. Ein Wert musste als Ausreißer von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen werden. Die mittlere Effektstärke für Gruppen mit einem blockförmig periodisierten Krafttraining betrug  $0.93 \pm 0.60$  (N=94; CI=0.81-1.06). Die Auswertung der wellenförmigen Periodisierung ergab eine Effektstärke von  $0.93 \pm 0.75$  (N=35; CI=0.67-1.18). Der Gruppenvergleich war entsprechend nicht signifikant ( $F(1, 127) = 0.002$ ;  $p = 0.97$ ;  $\eta^2 = 0.000$ ).

Die Effekte der Signifikanzprüfung, bezogen auf die einzelnen Moderatorvariablen wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand der Versuchsteilnehmer in den Primärstudien, der verwendeten Test-



übungen sowie der Studiendauer, sind in Tab.3 wiedergegeben. Bezüglich der Einflussvariable Alter konnten keinerlei signifikante Unterschiede, weder im Gruppenvergleich noch zwischen den Alterskategorien, festgestellt werden. Die Moderatorvariable Geschlecht lieferte im Haupteffekt einen signifikanten Unterschied zu Gunsten der Frauen.

Die Untersuchung des Trainingszustandes ergab für eine blockförmige Periodisierung bei trainierten Probanden eine Effektstärke von  $0.90 \pm 0.61$  (CI=0.74-1.06) und von  $1.09 \pm 0.57$  (CI=0.86-1.32) bei Untrainierten. Die wellenförmige Periodisierung wirkte sich mit einer Effektstärke von  $0.73 \pm 0.50$  bei Trainierten (CI=0.49-0.96) bzw. von  $1.49 \pm 1.10$  (CI=0.95-2.02) bei Untrainierten aus. Der Haupteffekt Trainingszustand war signifikant.

Der Einfluss der verwendeten Testübungen, differenziert für die unteren bzw. für die oberen Extremitäten, lieferte folgende Ergebnisse: Effektstärken von  $1.01 \pm 0.63$  (CI=0.84-1.18) für Testübungen für die unteren Extremitäten und von  $0.83 \pm 0.53$  (CI=0.63-1.03) für die oberen Extremitäten bei einem blockförmigen Modell. Analog hierfür ergab sich eine Effektstärke von  $0.97 \pm 0.75$  (CI=0.68-1.25) bzw.  $0.88 \pm 0.77$  (CI=0.55-1.20) bei einer wellenförmigen Periodisierung.

Als weiteres Kriterium wurde die Interventionsdauer der Primärstudien analysiert. Für die blockförmige Periodisierung resultierte eine Effektstärke von  $0.93 \pm 0.61$  (CI=0.79-1.09) bei einer Studiendauer von kleiner/gleich 12 Wochen und von  $0.93 \pm 0.55$  (CI=0.66-1.19) bei Studiendauer über zwölf Wochen. Bei einer wellenförmigen Periodisierung wurde eine Effektstärke von  $0.83 \pm 0.66$  kleiner/gleich zwölf Wochen (CI=0.59-1.08) bzw.  $1.24 \pm 0.96$  über zwölf Wochen (CI=0.8-1.69) errechnet. Es konnten keine signifikanten Haupt- und Interaktionseffekte festgestellt werden.

## DISKUSSION

Nach Maier-Riehle und Zwingmann (39) kommt es beim Vergleich von unkontrollierten mit kontrollierten Studien bei ersteren im Allgemeinen zu größeren Effektstärken aufgrund einer minderen Qualität bei der Studiendurchführung. Die Analyse der Methodenqualität der in die Berechnung eingegangenen Primärstudien in der vorliegenden Arbeit ergab jedoch, dass die Effektstärken in keiner Weise von der Methodenqualität beeinflusst wurden bzw. eine Überschätzung vorliegt. Im Gegenteil zeigte sich für Studien, die als methodisch schwach kodiert wurden, eine nur geringe mittlere Effektstärke ( $0.40 \pm 0.18$ ), wohingegen der durchschnittliche Wert bei qualitativ moderat bis hoch eingeschätzten Studien im Schnitt bei  $0.93 \pm 0.63$  lagen.

Die gefundenen globalen Effektstärken für ein block- bzw. wellenförmig periodisiertes Krafttraining liegen, verglichen mit der Klassifikation von Cohen für ANOVA, deutlich über dem Wert von 0.40, weswegen beide Modelle einen starken Effekt haben und somit praktische Relevanz aufweisen (13,14). Orientiert an der trainingswissenschaftlichen Effektstärkeinteilung nach Rhea (54) zeigen beide Modelle verallgemeinert einen moderaten Effekt. Man kann also konstatieren, dass beide Periodisierungsmodelle zu gleichwertigen Effekten führen und damit alternative Lösungen für ein effektives Krafttraining darstellen, da sowohl untrainierte als auch trainierte Probanden sowie Männer und Frauen verschiedenen Alters in die Berechnungen mit eingingen.

Die gefundenen Ergebnisse werden durch die Studien von

Baker, Buford et al., de Hoyos et al., Hartmann et al., Niknafs und Kok sowie Peterson et al. gestützt, die ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Periodisierungsmodellen feststellen konnten (6,11,16,27,48,50). Im Gegensatz dazu stehen die Resultate von Rhea und Kollegen, die eine Überlegenheit der wellenförmigen Periodisierung zeigten (59).

Bezogen auf die Moderatorvariable Alter konnte kein signifikanter oder trainingsbedeutsamer Unterschied gefunden werden. In zwei Studien mit durchschnittlich 15-jährigen Probanden von Szymanski et al. (71,72) konnte die Effektivität eines blockförmigen Periodisierungsmodells nachgewiesen werden. Kraemer und Kollegen (34) verglichen 30-jährige mit 60-jährigen Männern, die jeweils ein 10-wöchiges, wellenförmig periodisiertes Krafttrainingsprogramm durchführten. Neben den zu erwartenden Differenzen der Hormonkonzentration und der Maximalkraft zwischen den beiden Gruppen, konnten die Autoren die Effektivität eines wellenförmigen Periodisierungsmodells bei Probanden im höheren Alter nachweisen.

Ähnliche Ergebnisse zeigte auch die Studie von Newton et al. (46). Nach einem wellenförmigen Trainingsprogramm über zehn Wochen wurde eine deutliche Steigerung der Sprungkraft sowohl bei jüngeren (im Schnitt 29 Jahre) als auch bei älteren (im Schnitt 61 Jahre) Probanden gemessen. Haff (26) diskutiert in diesem Zusammenhang folgende Aspekte: Bei jüngeren Athleten sollte bei einem Periodisierungsmodell lediglich die Spanne der Wiederholungszahlen erweitert werden, wobei Intensitäten im Bereich des 6-RM die Anfangsbelastung für eine IK-Trainingseinheit darstellen sollen. Solche Einheiten sollten dagegen für Ältere weniger häufig ausgewählt werden, genauso wie die Anwendung von Intensitätstechniken bzw. Sätzen bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens (PMF), um so die Gelenkbelastung zu minimieren und Verletzungen vorzubeugen (21).

Die Prüfung signifikanter Geschlechtsunterschiede ergab, dass Frauen unabhängig vom Periodisierungsmodell deutlich stärker von einem Krafttraining profitieren als Männer. Diese Ergebnisse decken sich mit den Resultaten anderer Studien, bei denen Frauen ebenfalls größere Anpassungen zeigten (11,41). Gründe hierfür liegen wahrscheinlich im geringeren Ausgangsniveau sowie in der Selektivität der Stichprobe (22,28). Nach Herrick und Stone (28) liegt der durchschnittliche Prozentsatz der weiblichen Maximalkraft bei 56% im Vergleich zu Männern, wenn die oberen Extremitäten betrachtet werden. Bezogen auf die unteren Extremitäten liegt der Prozentsatz bei 57-86%. Diese Unterschiede sind jedoch nur quantitativ und nicht abhängig vom Periodisierungsmodell.

Wie zu erwarten, erzielten Untrainierte im Allgemeinen signifikant höhere Ergebnisse als Trainierte (22,23,55,58). Während Trainierte kaum Unterschiede zwischen den Modellen zeigten, profitieren nach den gefundenen Ergebnissen Untrainierte mit 0.73 Effektstärkepunkten deutlich mehr von einer wellenförmigen Periodisierung als von einer blockförmigen Variante. Ordnet man diese Effektstärken in die nach Trainingsstatus spezifizierte Klassifikation von Rhea (54) ein, so ergibt sich für ein blockförmiges Modell für Trainierte ein mittlerer und bei Untrainierten ein kleiner Effekt. Bei einem wellenförmigen Modell kann analog für Trainierte und Untrainierte von einem moderaten Effekt gesprochen werden.

Betrachtet man Übungen für die unteren im Gegensatz zu den oberen Extremitäten, so ergeben sich keine bedeutsamen Unterschiede, jedoch zeigen die Ergebnisse, dass Übungen für die unteren Extremitäten wie Beinpresse oder Kniebeugen effektiver waren als

beispielsweise Bankdrücken. Diese Resultate decken sich mit den Ergebnissen von verschiedenen anderen Studien, die für die oberen Extremitäten geringere Maximalkraftverbesserungen als für die unteren fanden (6, 11, 48, 50).

Hartmann et al. (27) führten mit krafttrainingserfahrenen Sportstudenten ein 14-wöchiges Krafttraining mit einer Block- bzw. DUP-Periodisierung (täglich wechselnde Periodisierung) durch. Die Autoren konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Modellen aufzeigen. Berechnet man allerdings die Effektivität, so zeigt sich für die Blockperiodisierung ein Wert von 0.87 und für die wellenförmige Periodisierung einer von 0.33, womit durchaus ein deutlicher Unterschied zu Gunsten einer Blockperiodisierung zu sehen ist. Schlussfolgernd wird in der oben genannten Studie davon gesprochen, dass sich beide Modelle als gleichwertig für die Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft erwiesen haben, wobei für Mannschaftssportarten durchaus eine wellenförmige Periodisierung in Frage kommt, jedoch für Individualsportarten der Großteil des Krafttrainings in Form eines Blocktrainings mit dem Schwerpunkt Hypertrophie zu gestalten ist. Die Autoren raten von einer wellenförmigen Periodisierung auf ein- bzw. zweiwöchentlicher Basis für Leistungssportler ab, da aufgrund der zu geringen Reizdichte und inadäquater Auslastung nicht die entsprechenden Querschnittszunahmen ausgelöst werden (27).

Dass diese Modelle dennoch für Freizeitsportler relevant sein können, zeigt die Studie von Buford et al. (11). Sie untersuchten die Effektivität einer Blockperiodisierung (LP) und eines wellenförmigen Modells mit einem Wechsel auf täglicher (DUP) bzw. auf einwöchentlicher Basis (WUP), wobei ebenfalls kein signifikanter Unterschied in der dynamischen Maximalkraft festgestellt werden konnte. Betrachtet man in dieser Studie die Effektivitäten sowie prozentualen Veränderungen der Gruppen, so erscheint eine wellenförmige Periodisierung auf einwöchentlicher Basis (WUP) leicht im Vorteil (ESLP=0.57 bzw. 2.20; ESDUP=0.37 bzw. 2.09; ES WUP=0.84 bzw. 2.82). Die Autoren folgern dennoch, dass alle drei Periodisierungsmodelle für kurz- bzw. mittelfristiges Training bei Freizeitsportlern angebracht sind.

Lediglich die Studie von Peterson et al. (50) konnte tendenzielle Vorteile einer wellenförmigen Periodisierung gegenüber einer klassischen Blockperiodisierung feststellen. Die Effektivität von block- und wellenförmig periodisiertem Krafttraining wurde in zahlreichen Untersuchungen in der Sportpraxis bestätigt (5, 35, 47).

Wie Goto et al. (25) konstatieren, bleibt immer noch unklar, welche Faktoren genau zu einer Maximalkraftverbesserung führen. Die Anpassungen eines blockförmig periodisierten Krafttrainings scheinen hierbei auf der additiven Wirkung einzelner Trainingseinheiten zu beruhen, wobei das Ausmaß der Effekte abhängig von den physiologischen Regenerations- und Adaptionsprozessen ist (27). Beim wellenförmig periodisierten Krafttraining werden von Beginn an Intensitäten im Bereich des 3-RM angestrebt, wodurch sich die Frage stellt, inwieweit dieser schnelle Wechsel in der Belastungsdynamik tatsächlich gleichwertige Effekte nach sich zieht. Schmidtbleicher und Frick (65) konnten eine Wiedererlangung des Schnellkraftvermögens erst 72 Stunden nach einer Kraftausdauer bzw. Hypertrophieeinheit feststellen, im Gegensatz zu drei Stunden nach einem Maximalkrafttraining. Bei einem wellenförmigen Modell auf täglicher Basis scheint somit gerade genug Zeit zwischen den verschiedenen Einheiten zu liegen (z. B. Freitag auf Montag), um im erforderlichen ausgeruhten Zustand ein Maximalkrafttraining

zu absolvieren. Mit diesem Hintergrund der ausreichenden Regenerationszeit ist ein schneller Wechsel in den entsprechenden Intensitätsbereichen, wie es ein wellenförmig periodisiertes Krafttraining vorsieht, möglich.

### VERWENDETE PRIMÄRSTUDIEN

Die in die Metaanalyse aufgenommenen Primärstudien waren: 3, 6, 7, 11, 15, 24, 27, 28, 29, 31 (2-mal), 34, 36, 40, 41, 43, 48, 49, 50, 52, 53, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 68, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 78.

*Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.*

### LITERATUR

1. AAGAARD P, MAYER F: Neuronal adaptations to strength training. Dtsch Z Sportmed 58 (2007) 50-53.
2. ACSM: American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. Med Sci Sports Exerc 30 (1998) 975-991.
3. ANDERSON CE, SFORZO GA, SIGG JA: The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. J Strength Cond Res 22 (2008) 567-574.
4. BAECHLE TR, EARLE RW: Essentials of strength training and conditioning. Human Kinetics, Champaign, Illinois, 2008.
5. BAKER D: The effects of an in-season of concurrent training on the maintenance of maximal strength and power in professional and college-aged rugby league football players. J Strength Cond Res 15 (2001) 172-177.
6. BAKER D, WILSON G, CARLYON R: Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. J Strength Cond Res 8 (1994) 235-242.
7. BARTHOLOMEW JB, STULTS-KOLEHMAINEN MA, ELROD CC, TODD JS: Strength gains after resistance training: the effect of stressful, negative life events. J Strength Cond Res 22 (2008) 1215-1221.
8. BEELMANN A, BLIESENER T: Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. Psychologische Rundschau 45 (1994) 211-233.
9. BLIESENER T: Methoden der systematischen Befundintegration - Eine Übersicht über die Möglichkeiten und Grenzen der Meta-Analyse, in: Wiemeyer J (Eds.): Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport. Czwalina, Hamburg, 1999, 55-71.
10. BORTZ J, DÖRING N: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin, Heidelberg u.a., 2006.
11. BUFORD TW, ROSSI SJ, SMITH DB, WARREN AJ: A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. J Strength Cond Res 21 (2007) 1245-1250.
12. CISSIK J, HEDRICK A, BARNES M: Challenges applying the research on periodization. Str Cond J 30 (2008) 45-51.
13. COHEN J: A power primer. Quantitative methods in psychology 112 (1992) 155-159.
14. COHEN J: Statistical power analysis for the behavioral sciences. Academic Press, New York, London u. a., 1969.
15. COUTTS AJ, MURPHY AJ, DASCOMBE BJ: Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players. J Strength Cond Res 18 (2004) 316-323.
16. DE HOYOS D, CALDWELL A, CALDWELL R, SHUTE M, BARNHILL J, RICHARDSON J, MORROW L, WALKER J: Muscular strength and body composition adaptations to short-term, linear and undulating periodized resistance training. Med Sci Sports Exerc 37 (2005) Suppl. 184.
17. FLECK SJ: Periodization of training, in: Kraemer WJ, Häkkinen K (Eds.): Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, Oxford u. a., 2002, 55-68.

18. FLECK SJ: Periodized strength training: a critical review. *J Strength Cond Res* 13 (1999) 82-89.
19. FLECK SJ, KRAEMER WJ: Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, Illinois, 2004.
20. FRÖHLICH M: Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft* 36 (2006) 269-291.
21. FRÖHLICH M, GIESSING J, SCHMIDTBLEICHER D, EMRICH E: Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining - ein explorativer Ansatz. *Dtsch Z Sportmed* 58 (2007) 25-30.
22. FRÖHLICH M, SCHMIDTBLEICHER D: Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Dtsch Z Sportmed* 59 (2008) 34-42.
23. FRÖHLICH M, SCHMIDTBLEICHER D, EMRICH E: Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche - ein metaanalytischer Zugang. *Spectrum der Sportwissenschaften* 19 (2007) 6-21.
24. GONZALEZ-BADILLO JJ, IZQUIERDO M, GOROSTIAGA EM: Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res* 20 (2006) 73-81.
25. GOTO K, NAGASAWA M, YANAGISAWA O, KIZUKA T, ISHII N, TAKAMATSU K: Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 730-737.
26. HAFF GG: Roundtable discussion: periodization of training - part 1. *Strength Cond J* 26 (2004) 50-69.
27. HARTMANN H, BOB A, WIRTH K, SCHMIDTBLEICHER D: Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Leistungssport* 38 (2008) 17-22.
28. HERRICK AB, STONE WJ: The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *J Strength Cond Res* 10 (1996) 72-76.
29. HOFFMAN JR, RATAMESS NA, COOPER JJ, KANG J, CHILAKOS A, FAIGENBAUM AD: Comparison of loaded and unloaded jump squat training on strength/power performance in college football players. *J Strength Cond Res* 19 (2005) 810-815.
30. KRAEMER WJ: Implementing a nonlinear resistance training program, in: Fleck SJ, Kraemer WJ, Brown LE, Antonio J, Weir J, Ebben WP, Stout J (Eds.): 6th International Conference on Strength Training. National Strength and Conditioning Association, Colorado Springs, 2008, 365-368.
31. KRAEMER WJ: A series of studies - the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 131-142.
32. KRAEMER WJ, ADAMS K, CAFARELLI E, DUDLEY GA, DOOLY C, FEIGENBAUM MS, FLECK SJ, FRANKLIN B, FRY AC, R. HJ, NEWTON RU, JEFFREY P, STONE MH, RATAMESS NA, TRIPLETT-MCBRIDE T: Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 364-380.
33. KRAEMER WJ, FLECK SJ: Optimizing strength training. Human Kinetics, Champaign, Illinois, 2007.
34. KRAEMER WJ, HÄKKINEN K, NEWTON RU, NINDL BC, VOLEK JS, MCCORMICK M, GOTSHALK LA, GORDON SE, FLECK SJ, CAMPBELL WW, PUTUKIAN M, EVANS WJ: Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* 87 (1999) 982-992.
35. KRAEMER WJ, HÄKKINEN K, TRIPLETT-MCBRIDE NT, FRY AC, KOZIRIS LP, RATAMESS NA, BAUER JE, VOLEK JS, MCCONNELL T, NEWTON RU, GORDON SE, CUMMINGS D, HAUTH J, PULLO F, J. ML, MAZZETTI SA, KNUTTGEN HG: Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 157-168.
36. KRAEMER WJ, NINDL BC, RATAMESS NA, GOTSHALK LA, VOLEK JS, FLECK SJ, NEWTON RU, HÄKKINEN K: Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 697-708.
37. KRAEMER WJ, RATAMESS NA, FRY AC, TRIPLETT-MCBRIDE T, KOZIRIS LP, BAUER JA, LYNCH J, M., FLECK SJ: Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *Am J Sports Med* 28 (2000) 626-633.
38. LEONHART R, MAURISCHAT C: Meta-Analysen auf Primärdatenbasis - Problem und Lösungsansätze. *Zeitschrift für Evaluation* 3 (2004) 21-34.
39. MAIER-RIEHELE B, ZWINGMANN C: Effektstärkevariation beim Eingruppen-Prä-Post-Design: Eine kritische Betrachtung. *Rehabilitation* 39 (2000) 189-199.
40. MANGINE GT, RATAMESS NA, HOFFMAN JR, FAIGENBAUM AD, KANG J, CHILAKOS A: The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men. *J Strength Cond Res* 22 (2008) 132-139.
41. MARX JO, RATAMESS NA, NINDL BC, GOTSHALK LA, VOLEK JS, DOHI K, BUSH JA, GÓMEZ AL, MAZZETTI SA, FLECK SJ, HÄKKINEN K, NEWTON RU, KRAEMER WJ: Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 635-643.
42. MATWEJEW LP: Grundlagen des sportlichen Trainings. Sportverlag, Berlin, 1981.
43. MAYHEW JL, JOHNSON BD, LAMONTE MJ, LAUBER D, KEMMLER W: Accuracy of prediction equations for determining one repetition maximum bench press in women before and after resistance training. *J Strength Cond Res* 22 (2008) 1570-1577.
44. MOHER D, SCHULZ KF, ALTMAN DG: The CONSORT statement: revised recommendations for improving the quality of reports of parallel-group randomised trials. *Lancet* 357 (2001) 1191-1194.
45. MORRIS SB: Estimating effect sizes from pretest-posttest-control group designs. *Organizational Res Meth* 11 (2008) 364-386.
46. NEWTON RU, HÄKKINEN K, HÄKKINEN A, MCCORMICK M, VOLEK J, KRAEMER WJ: Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 1367-1375.
47. NEWTON RU, ROGERS RA, VOLEK JS, HÄKKINEN K, KRAEMER WJ: Four weeks of optimal load ballistic resistance training at the end of season attenuates declining jump performance of women volleyball players. *J Strength Cond Res* 20 (2006) 955-961.
48. NIKNAFS S, KOK L-Y: A comparison of linear and undulating periodization for improving maximal strength and strength endurance in untrained men, in: Fleck SJ, Kraemer WJ, Brown LE, Antonio J, Weir J, Ebben WP, Stout J (Eds.): 6th International Conference on Strength Training. National Strength and Conditioning Association, Colorado Springs, 2008, 143-144.
49. OSTROWSKI KJ, WILSON GJ, WEATHERBY R, MURPHY PW, LYTTLER AD: The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 148-154.
50. PETERSON MD, DODD DJ, ALVAR BA, RHEA MR, FAVRE M: Undulation training for development of hierarchical fitness and improved firefighter job performance. *J Strength Cond Res* 22 (2008) 1683-1695.
51. POLIQUIN C: Five steps to increasing the effectiveness of your strength training program. *N Strength Cond As J* 10 (1988) 34-39.
52. RATAMESS NA, HOFFMAN JR, FAIGENBAUM AD, MANGINE GT, FALVO MJ, KANG J: The combined effects of protein intake and resistance training on serum osteocalcin concentrations in strength and power athletes. *J Strength Cond Res* 21 (2007) 1197-1203.
53. RATAMESS NA, KRAEMER WJ, VOLEK JS, FRENCH DN, RUBIN MR, GÓMEZ AL, NEWTON RU, MARESH CM: The effects of ten weeks of resistance and combined plyometric/sprint training with the Meridian Elyte athletic shoe on muscular performance in women. *J Strength Cond Res* 21 (2007) 882-887.
54. RHEA MR: Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 918-920.
55. RHEA MR: Synthesizing strength and conditioning research: the meta-analysis. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 921-923.
56. RHEA MR, ALDERMAN B: A meta-analysis of periodized versus nonperiodized strength and power training programs. *Res Q Exerc Sport* 75 (2004) 413-422.
57. RHEA MR, ALVAR BA, BALL SD, BURKETT LN: Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *J Strength Cond Res* 16 (2002) 525-529.
58. RHEA MR, ALVAR BA, BURKETT LN, BALL SD: A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 456-464.



59. RHEA MR, BALL SD, PHILLIPS WT, BURKETT LN: A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. *J Strength Cond Res* 16 (2002) 250-255.
60. RHEA MR, PHILLIPS WT, BURKETT LN, STONE WJ, BALL SD, ALVAR BA, THOMAS AB: A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 82-87.
61. RØNNESTAD BR: Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 839-845.
62. RUSTENBACH SJ: Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung. Verlag Hans Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 2003.
63. SCHIOTZ MK, POTTEIGER JA, HUNTSINGER PG, DENMARK DC: The short-term effects of periodized and constant-intensity training on body composition, strength, and performance. *J Strength Cond Res* 12 (1998) 173-178.
64. SCHLUMBERGER A, WIRTH K, LIU Y, STEINACKER J, SCHMIDTBLEICHER D: Effekte eines Trainings mit einer Schnellkraftmethodenkombination. *BISp-Jahrbuch* (2001) 157-160.
65. SCHMIDTBLEICHER D, FRICK U: Kurzfristige und langfristige Regeneration nach Krafttraining. in: (Eds.): *BISp Jahrbuch 1997*. Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Köln, 1998, 221-226.
66. STONE MH, O'BRYANT H, SCHILLING BK, JOHNSON RL, PIERCE KC, HAFF GG, KOCH AJ, STONE M: Periodization: Effects of manipulating volume and intensity. part 1. *Strength Cond J* 21 (1999) 56-62.
67. STONE MH, O'BRYANT H, SCHILLING BK, JOHNSON RL, PIERCE KC, HAFF GG, KOCH AJ, STONE M: Periodization: Effects of manipulating volume and intensity. part 2. *Strength Cond J* 21 (1999) 54-60.
68. STONE MH, POTTEIGER JA, PIERCE KC, PROULX CM, O'BRYANT HS, JOHNSON RL, STONE ME: Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 332-337.
69. STOPPANI J: Defining periodization. *IDEA Fitness Journal* 3 (2006) 1-5.
70. SYROTUIK DG, BELL GJ, BURNHAM R, SIM LL, CALVERT RA, MACLEAN M: Absolute and relative strength performance following creatine monohydrate supplementation combined with periodized resistance training. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 182-190.
71. SZYMANSKI DJ, SZYMANSKI JM, BRADFORD TJ, SCHADE RL, PASCOE DD: Effect of twelve weeks of medicine ball training on high school baseball players. *J Strength Cond Res* 21 (2007) 894-901.
72. SZYMANSKI DJ, SZYMANSKI JM, MOLLOY JM, PASCOE DD: Effect of 12 weeks of wrist and forearm training on high school baseball players. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 432-4040.
73. TAN B: Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res* 13 (1999) 289-304.
74. WILDER N, GILDERS R, HAGERMAN F, DEIVERT RG: The effects of a 10-week, periodized, off-season resistance-training program and creatine supplementation among collegiate football play. *J Strength Cond Res* 16 (2002) 343-351.
75. WILLARDSON JM, BURKETT LN: The effect of different rest intervals between sets on volume components and strength gains. *J Strength Cond Res* 22 (2008) 146-152.
76. WILLOUGHBY DS: The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *J Strength Cond Res* 7 (1993) 2-8.
77. WINCHESTER JB, MCBRIDE JM, MAHER MA, MIKAT RP, ALLEN BK, KLINE DE, MCGUIGAN MR: Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *J Strength Cond Res* 22 (2008) 1728-1734.
78. WIRTH K, SCHMIDTBLEICHER D: Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 2: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktischen Anwendungen im Schnellkrafttraining. *Leistungssport* 37 (2007) 16-20.

Korrespondenzadresse:

Dr. Michael Fröhlich

Universität des Saarlandes

Sportwissenschaftliches Institut

Universität Campus Gebäude B8 I

66123 Saarbrücken

E-Mail: m.froehlich@mx.uni-saarland.de



## Beitrag VIII

Fröhlich, M., Klein, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2004). Belastungsreaktionen beim Kraftausdauertraining (KA-T) über mehrere Serien. In H. Riehle (Hrsg.), *Biomechanik als Anwendungsforschung. Transfer zwischen Theorie und Praxis* (S. 291-297). Hamburg: Czwalina Verlag.



## **Belastungsreaktionen beim Kraftausdauertraining (KA-T) über mehrere Serien**

### **Einleitung und Problemstellung**

Die Kraft, als Basis aller sportmotorischen Leistungen, nimmt im Kanon der konditionellen Fähigkeiten eine besondere Rolle ein. Diese exponierte Stellung der Kraft bzw. des Krafttrainings, innerhalb des sportlichen Trainings, ist seit längerer Zeit anerkannt (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993). Seit den 80er Jahren erfährt das Krafttraining jedoch auch in anderen Bereichen Beachtung. Zu nennen sind die (Sport-)Therapie, die Prävention und Rehabilitation, der Gesundheitssport mit all seinen Facetten u.v.m. (vgl. ZIMMERMANN 2000). Im Bereich des Gesundheitstrainings wird häufig der Erhalt und die Verbesserung der Leistungsfähigkeit sowie die verbesserte Belastungsverträglichkeit des Haltungs- und Bewegungsapparates herausgestellt (BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000, 9ff.). Des Weiteren ist in Alltagssituationen ein Mindestmaß an Kraft für jede Aktivität notwendig. Speziell betrifft dieser Umstand jedoch den älteren Menschen, da auf diese Weise beispielsweise das Heben und Tragen besser bewältigt werden kann und orthopädische Beschwerden gezielt reduziert werden können. Ein gezieltes Krafttraining kann hier im Sinne eines Beitrages zu einem verbesserten und eigenständigen Leben verstanden werden. In diesem Zusammenhang darf nicht vergessen werden, dass der nichttrainierte Mensch ab dem 45. Lebensjahr ca. 5% seiner Muskelkraft pro Lebensdekade verliert. Ein gesundheitsorientiertes Krafttraining zielt dabei vor allem auf die Verbesserung der Kraftausdauer ab. MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 332) verstehen hierunter beispielsweise wirkungsvolle Kräftigung der Muskulatur, verbesserte Halte- und Beanspruchungsfunktion für den Alltagsgebrauch sowie die Optimierung der Ermüdungsresistenz. Beim Kraftausdauertraining werden einerseits ausreichend hohe Belastungsreize gesetzt, um die erforderlichen Anpassungserscheinungen zu initiieren, andererseits stehen die orthopädischen und internistischen Risiken in einem günstigeren Verhältnis als dies bei anderen Krafttrainingsmethoden der Fall ist (vgl. URHAUSEN u.a. 2000). Darüber hinaus ist das Kraftausdauertraining als Basis für weitere Krafttrainingsmethoden, beispielsweise Muskelaufbautraining, intra- und intermuskuläres Koordinationstraining und/oder Reaktivkrafttraining, anzusehen (BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 1998, 42). Weiterhin tritt die Kraftausdauerfähigkeit als leistungsbestimmende Fähigkeit bei all jenen Sportarten bzw. sportlichen Disziplinen in Erscheinung, in denen die Leistung im Wettkampf oder im Training von der Kraft- und von der Ausdauerfähigkeit abhängt, wie im Kanurennsport, Schwimmen und im Ringen (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 159). Tabelle 1

gibt einen Überblick über die Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer. Auf die Problematik der Begriffsbestimmung von Kraftausdauer und deren Abgrenzung sowie auf die unterschiedlichen Trainingsmethodiken soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

Tab. 1: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer (n. GÜLLICH/SCHMIDT-BLEICHER 1999, 232).

| <b>Reizkonfiguration</b>                       |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)    | 50 bis 60%        |
| Wiederholungen pro Serie                       | 20 bis 40         |
| Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe) | 6 bis 8           |
| Serienpause                                    | 0,5 bis 1 min     |
| Kontraktionsgeschwindigkeit                    | langsam bis zügig |

Wie alle Krafttrainingsmethoden so wird auch das Kraftausdauertraining über die Belastungsmerkmale Intensität, Umgang, Dauer, Dichte und Häufigkeit beschrieben. In der Regel wird dabei eine Intensitätssteuerung über Prozentangaben im Verhältnis zur isometrischen bzw. konzentrischen Maximalkraft vorgenommen. Eine solche deduktive Trainingssteuerung aufgrund der Maximalkraft bringt jedoch in der Praxis zahlreiche Probleme wie orthopädische und internistische Belastungsspitzen (Pressatmung, hoher Blutdruck, Gelenkbelastung) sowie motivationale Aspekte (durch besondere Willensanspannungen) etc. mit sich (vgl. BOECKH-BEHRENS/ BUSKIES 2000, 66). Darüber hinaus wird diese Belastungsgestaltung, in Anlehnung an die Untersuchung von ZATSIORSKY und KULIK (1965), an einem festen Verhältnis von Intensität und Wiederholungszahl für die Steuerung des Trainings festgemacht. Es wird dabei übersehen, dass das Verhältnis von deduzierter Intensität und Wiederholungszahl unter anderem abhängig von der Krafttrainingsübung, der Krafttrainingserfahrung (Trainingszustand), der Art des langjährigen Trainings (eher Schnellkraftsportart oder Kraftausdauersportart) sowie von der Anzahl der beteiligten arthro-muskulären Einheiten und vom Geschlecht (vgl. BUSKIES 1999; BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000; FRÖHLICH 2001; HOEGER u.a. 1987 und 1990; MARSCHALL/ FRÖHLICH 1999) ist. RADLINGER u.a. (1998, 45) halten hierzu fest:

„Unseres Erachtens erscheint es wichtig, den gewünschten Zielbereich (intramuskuläres Koordinationstraining oder Muskelaufbautraining) anhand des Kriteriums ‚Ausbelastung in einer methodenspezifischen Belastungsdauer‘ beschreiben zu können. Bei wieviel Prozent sich dieser Bereich einordnet, ist nebensächlich und hat für die richtige Therapieintensität keine Bedeutung.“

Aufbauend auf diesem Hintergrundwissen sowie den Erfahrungen aus der Untersuchung von FRÖHLICH u.a. (2001) sollte in der vorliegenden explorativen Untersuchung überprüft werden, ob sich bei einer vorgegebenen, konstanten Wiederholungszahl die Gewichtslast über mehrere Serien verändert und ob diese Veränderung ab einer bestimmten Serienzahl konstant bleibt.

## Untersuchungsmethodik

An der Erkundungsstudie nahmen sechs freiwillige, krafttrainingserfahrene Probanden (Alter  $31,8 \pm 10,3$  Jahre; Gewicht  $78,6 \pm 7,8$  kg; Größe  $180 \pm 5,8$  cm; konzentrische Maximalkraft im Bankdrücken  $79,7 \pm 14,2$  kg) teil. Zu genauen untersuchungsmethodischen Aspekten wie Gewöhnung, Testdurchführung, Bestimmung der Maximalkraft usw. sei auf FRÖHLICH u.a. (2001) verwiesen. Nachdem sich in dieser Untersuchung (ebd.) herausgestellt hat, dass sich die Last in Abhängigkeit von einer konstanten Wiederholungszahl (25 Wdh.) bzw. die Anzahl der Wiederholungen in Abhängigkeit von einer konstanten Intensität (50% der konzentrischen Maximalkraft) über sechs Serien beim Bankdrücken signifikant verringert, sollte in der vorliegenden Studie untersucht werden, ob sich diese Veränderung (Verringerung) auf ein bestimmtes Niveau einregelt („Dauerleistungsgrenze“). Aufgabenstellung für die Probanden war, eine konstante Wiederholungszahl (25 Wiederholungen pro Serie) über zehn Serien mit einer exakten Serienpause von einer Minute, bei der Übung Bankdrücken an einer Multipresse, zu bewältigen. Die einzelnen Serien wurden bis zur methodenspezifischen Ausbelastung durchgeführt. Abhängige Variablen der Untersuchung waren die bewältigte Last in Kilogramm<sup>1</sup>, die benötigte Zeit sowie der zurückgelegte Hubweg innerhalb der einzelnen Serien. Aus diesen Parametern wurde sowohl die verrichtete Arbeit [Nm] ( $\text{Last} \times \text{Hubweg} \times \text{Wiederholungszahl}$ ) als auch die erbrachte Leistung [Nm/s] ( $(\text{Last} \times \text{Hubweg} \times \text{Wiederholungszahl})/\text{Zeit}$ ) für die einzelne Serie sowie für alle zehn Serien berechnet.

## Ergebnisse

In Tabelle 2 ist die durchschnittlich benötigte Zeit für „25 Wiederholungen“, die mittlere, tatsächliche Wiederholungszahl bei Vorgabe 25 Wiederholungen und die durchschnittlich bewältigte Last bei Vorgabe „25 Wiederholungen“ enthalten. Bildet man den gewogenen Mittelwert über die zehn Serien, so erhält man eine durchschnittliche Belastungszeit von  $53,3 \pm 11,5$  Sekunden. In dieser Zeit werden  $25,5 \pm 3,0$  Wiederholungen mit einer Last von  $245,92 \pm 67,12$  Newtonmeter durchgeführt. Bezug nehmend auf die obige Aussagen, soll darauf hingewiesen werden, dass sich die Autoren der Problematik bewusst sind, die Mittelwerte einer Messwertreihe ein weiteres mal zu mitteln (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 28). Dieses Vorgehen dient in diesem Fall nur einer übersichtlicheren Darstellung der Gesamtsituation.

---

1 Die Last in Kilogramm wurde zur Bestimmung der Arbeit in Newtonmeter umgerechnet.

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichung von Zeit, Wiederholungszahl und Last über die Serien.

| Zeit [s]   | SERIE 1 | SERIE 2 | SERIE 3 | SERIE 4 | SERIE 5 | SERIE 6 | SERIE 7 | SERIE 8 | SERIE 9 | SERIE 10 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Mittelwert | 56,17   | 47,33   | 50,00   | 55,33   | 56,50   | 54,00   | 55,67   | 52,33   | 54,67   | 50,50    |
| Std. Abw.  | 7,36    | 14,02   | 11,03   | 15,03   | 18,13   | 11,66   | 8,41    | 8,55    | 10,39   | 9,95     |
| Wdh.-Zahl  | SERIE 1 | SERIE 2 | SERIE 3 | SERIE 4 | SERIE 5 | SERIE 6 | SERIE 7 | SERIE 8 | SERIE 9 | SERIE 10 |
| Mittelwert | 25,83   | 21,00   | 22,83   | 25,67   | 27,83   | 27,00   | 26,83   | 25,33   | 27,00   | 25,17    |
| Std. Abw.  | 2,23    | 4,94    | 2,48    | 3,56    | 5,08    | 2,53    | 1,60    | 2,42    | 2,37    | 3,43     |
| Last [N]   | SERIE 1 | SERIE 2 | SERIE 3 | SERIE 4 | SERIE 5 | SERIE 6 | SERIE 7 | SERIE 8 | SERIE 9 | SERIE 10 |
| Mittelwert | 423,47  | 333,54  | 269,78  | 228,90  | 207,65  | 201,11  | 197,84  | 197,84  | 194,57  | 194,57   |
| Std. Abw.  | 79,31   | 77,74   | 71,22   | 74,88   | 64,00   | 59,10   | 61,24   | 61,24   | 61,24   | 61,24    |

Betrachtet man die bewältigte Last über die einzelnen Serien, so fällt auf, dass in den ersten drei Serien die Verringerung deutlicher ausgeprägt ist, als das in den weiteren Serien der Fall ist. So verändert sich die Last von der ersten bis zur vierten Serie von 423,47 Nm auf 228,90 Nm, was einer Reduktion von ca. 46 % entspricht. Die Veränderung der Last von Serie vier zu Serie zehn beträgt dagegen nur 34,3 Nm, was einem Rückgang um 15 % entspricht. Generell kann festgehalten werden, dass die Gewichtsbelastung bei konstanter Wiederholungszahl angepasst werden muss. Darüber hinaus scheint es jedoch im Verlauf der Serienbelastung eine Schwelle zu geben, ab der sich die Reduktion auf ein bestimmtes Niveau einregelt. Betrachtet man die berechneten Parameter Arbeit und Leistung über die einzelnen Serien, so erhält man ein annähernd gleiches Bild (vgl. Abb. 1 und Abb. 2).

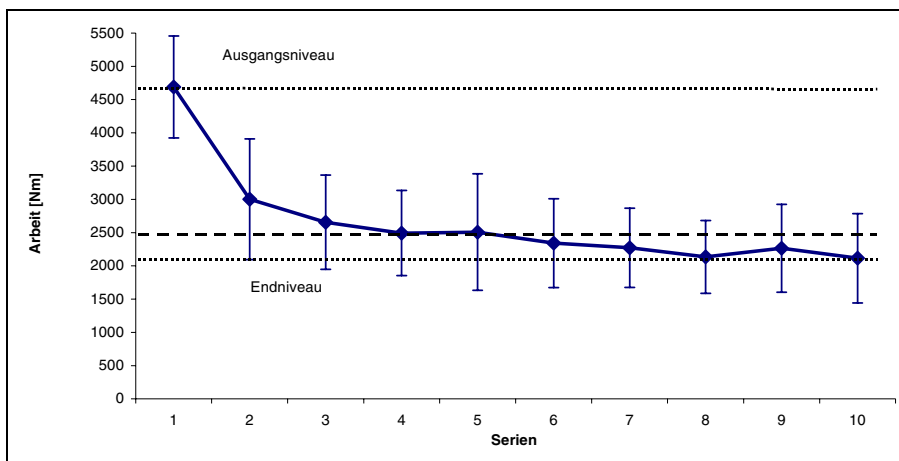


Abb. 1: Veränderung der verrichteten Arbeit [Nm] über zehn Serien.

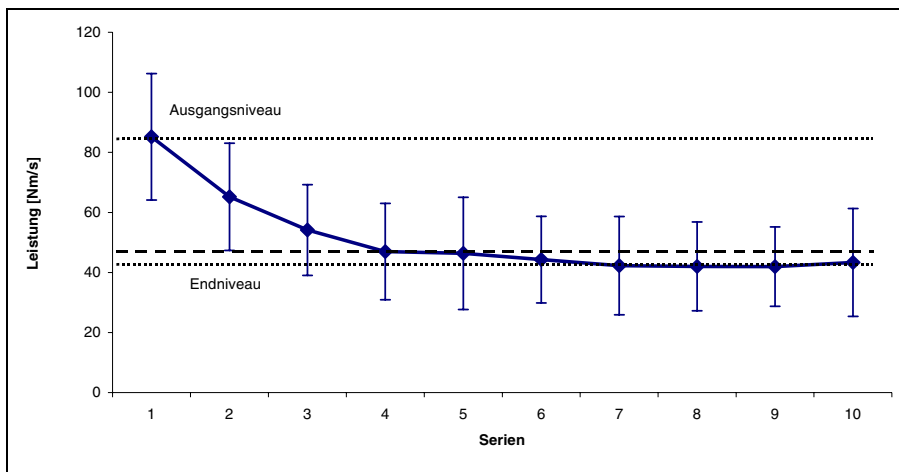


Abb. 2: Veränderung der verrichteten Leistung [Nm/s] über zehn Serien.

Dieses Plateau stellt sich etwa bei 50% der verrichteten Arbeit bzw. der Leistung ein (vgl. Tab. 3). Wird mit dieser Plateaubelastung weiter trainiert, so kommt es zu keiner weiteren Verringerung der verrichteten Arbeit bzw. der Leistung. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde auf eine Signifikanzprüfung verzichtet. Die deskriptiven Darstellungen sollten im Sinne explorativer Forschung als Grundlage zur Generierung prüfbarer Hypothesen dienen (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 327ff.).

Tab. 3: Verrichtete Arbeit und Leistung über die Serien in Prozent, ausgehend von der ersten Serie.

|                        | SERIE 1 | SERIE 2 | SERIE 3 | SERIE 4 | SERIE 5 | SERIE 6 | SERIE 7 | SERIE 8 | SERIE 9 | SERIE 10 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| <b>ARBEIT [Nm]</b>     | 4690,77 | 3001,45 | 2656,65 | 2493,88 | 2508,22 | 2340,58 | 2272,29 | 2134,90 | 2264,03 | 2115,05  |
| % SERIE 1              | 100     | 63,9    | 56,6    | 53,2    | 53,5    | 49,9    | 48,4    | 45,5    | 48,3    | 45,1     |
| <b>LEISTUNG [Nm/s]</b> | 85,20   | 65,21   | 54,14   | 46,96   | 46,36   | 44,28   | 42,28   | 42,02   | 41,96   | 43,34    |
| % SERIE 1              | 100     | 76,5    | 63,5    | 55,1    | 54,4    | 52,0    | 49,6    | 49,3    | 49,2    | 50,9     |

## Zusammenfassung und Diskussion

Um gesundheitsrelevante Adaptationen durch Krafttraining zu erreichen, greift man vorwiegend auf Krafttrainingsmethoden zurück, die im Bereich des Kraftausdauertrainings beheimatet sind. Diese Methoden stellen auf der einen Seite einen ausreichend hohen Belastungsreiz dar, um positive Veränderungen zu gewährleisten. Auf der anderen Seite sind die internistischen und orthopädischen Belastungen bei hinreichend guter Bewegungsausführung und Bewegungskontrolle tolerierbar. Die Primärsteuerung des Krafttrainings erfolgt dabei über die Belastungsintensität. Als Bezugsgröße der Intensität dient entweder die bewältigte Last oder der Krafteinsatz

in Prozent im Verhältnis zur isometrischen bzw. konzentrischen Maximalkraft. Der hierbei verwendete Begriff Intensität bezieht sich jedoch nur auf die bewältigte Last und gibt nicht den Grad der Ausschöpfung der zugrundeliegenden Stoffwechselprozesse und mechanischen Beanspruchungen spezifischer Trainingsziele an (MARSHALL/FRÖHLICH 1999, 311). Aus diesen und weiteren Gründen (Motivation, Verletzungsgefahr, etc.) wurde die Trainingssteuerung über eine „konstante“ Wiederholungszahl (vgl. Tab. 2) vorgenommen. Das heißt, die äußere Belastung sollte über alle zehn Serien annähernd konstant sein. Dies bedeutet jedoch nicht, dass bei konstanter Wiederholungszahl und angepasster Last, die zugrundeliegende Beanspruchung ebenfalls intra- als auch interindividuell sich auf einem „konstanten“ Niveau befindet. So konnten FRÖHLICH/FELDER/EMRICH (2001) nachweisen, dass die Beanspruchung (neuronale Aktivität) sowohl individuell als auch intraindividuell in Abhängigkeit von der deduzierten Intensität unterschiedlich ist. Weitergehende Forschungen müssten hier ansetzen. Somit bleibt als erstes festzustellen, dass bei einer konstanten Wiederholungszahl, die Last über die einzelnen Serien angepasst werden muss. Diese Tatsache mag trivial erscheinen, in entsprechenden Empfehlungen zum Krafttraining wird jedoch implizit und explizit nicht darauf verwiesen. Im Gegenteil, es wird eine konstante Last über die Serien unterstellt. Da die benötigte Zeitspanne für das Realisieren von 25 Wiederholungen ca. 50 bis 55 Sekunden bei den einzelnen Serien beträgt und der Hubweg konstant bleibt, verändert sich die Arbeit und die Leistung in einer ähnlichen Charakteristik wie die Last. Während in der ersten Serie die Arbeit und die Leistung am höchsten war, kam es in den weiteren Serien zu einem „kontinuierlichen“ Abfall. Ab der vierten Serie pendelte sich die verrichtete Arbeit und die Leistung auf ein Niveau ein, welches bei ca. 50 bis 55% in Relation zur ersten Serie liegt (vgl. FRÖHLICH u.a. 2001). Die weiteren Serien befinden sich ebenfalls in diesem Bereich. Inwieweit dieser Bereich in Anlehnung an HOLLMANN/HETTINGER (1990) als Dauerleistungsgrenze zu bezeichnen ist, muss spekulativ bleiben. Festgestellt werden kann hingegen, dass dieser Bereich bei ca. 50% der Belastung der ersten Serie liegt. Darüber hinaus liegt dieser Bereich bei ca. 30% der Gewichtsbelastung des konzentrischen Einwiederholungsmaximums. Aufgrund der geringen Stichprobengröße und weiterer forschungsmethodischer Probleme dürfen diese Ergebnisse jedoch nicht überinterpretiert werden. Die Ergebnisse liefern jedoch einige interessante Tendenzen für weitere Fragestellungen zu diesem Themengebiet. Die nachfolgende Auflistung soll einen Überblick hierüber vermitteln:

- Wie verändern sich die Arbeit und die Leistung bei einem Trainingsexperiment mit konstanter Wiederholungszahl in den einzelnen Serien?
- Wie verändern sich die Arbeit und die Leistung bei einem Trainingsexperiment mit konstanter Wiederholungszahl vs. konstanter Intensität?
- Wie sieht die zugrundeliegende Beanspruchungssituation bei konstanter Wiederholungszahl vs. konstanter Intensität aus?
- Wie verändert sich in einem Trainingsexperiment die zugrundeliegende Beanspruchungssituation bei konstanter Wiederholungszahl vs. konstanter Intensität?

- Lässt sich eine „Individuelle Dauerleistungsgrenze (IDG)“ im Kraftausdauertraining identifizieren?
- Lässt sich eine „Individuelle Dauerleistungsgrenze (IDG)“ im Kraftausdauertraining physiologisch belegen?
- Lässt sich durch einen entsprechenden Kraftausdauerterst eine gezieltere Trainingssteuerung vornehmen, als dies anhand der Maximalkraft möglich ist?
- Inwieweit können die Erfahrungen im Bereich des Kraftausdauertrainings auf andere Krafttrainingsbereiche (Hypertrophietraining, Intramuskuläres Krafttraining) übertragen werden?

## Literatur

- BOECKH-BEHRENS, W.-U./BUSKIES, W.: Gesundheitsorientiertes Fitnessstraining. Lüneburg 1998
- BOECKH-BEHRENS, W.-U./BUSKIES, W.: Fitnesskrafttraining. Die besten Übungen und Methoden für Sport und Gesundheit. Reinbek bei Hamburg 2000
- BORTZ, J./DÖRING, N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg u.a. 1995
- BUSKIES, W.: Sanftes Krafttraining. Köln 1999
- Fröhlich, M.: Belastungssteuerung im Krafttraining – S teuergröße Intensität ein überholtes Konzept? Kongress Abstract „Haltungsschwächen und muskuläre Dysbalancen im Sport. Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes. Saarbrücken 2001
- FRÖHLICH, M./FELDER, H./EMRICH, E.: Belastungs-Beanspruchungssituation bei mehrgelenkigen Bewegungen. In: Gesundheitssport und Sporttherapie 17 (2001), 4-8
- FRÖHLICH, M./KLEIN, M./EMRICH, E./SCHMIDTBLEICHER, D.: Arbeit als Bruttokriterium der Belastung im Kraftausdauertraining. In: Leistungssport 31 (2001), 2, 24-28
- GÜLLICH, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999), 7/8, 223-234
- HOEGER, W.W.K./HOPKINS, D.R./BARETTE, S.L./HALE, D.F.: Relationship between Repetitions and Selected Percentages of one Repetition Maximum: A Comparison between Untrained and Trained Males and Females. In: Journal of Applied Sport Science Research 4 (1990), 47-54
- HOEGER, W.W.K./BARETTE, S.L./HALE, D.F./HOPKINS, D.R.: Relationship between Repetitions and Selected Percentages of One Repetition Maximum. In: Journal of Applied Sports Science Research 1 (1987), 11-13
- HOLLMANN, W./HETTINGER, T.: Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Stuttgart, New York 2000
- MARSCHALL, F./FRÖHLICH, M.: Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999), 10, 311-315
- MARTIN, D./CARL, K./LEHNERTZ, K.: Handbuch Trainingslehre, Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport. Schorndorf 1993
- RADLINGER, R./BACHMANN, W./HOMBURG, J./LEUENBERGER, U./THADDEY, G.: Rehabilitatives Krafttraining. Stuttgart, New York 1998
- SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A. (Hrsg.): Trainingswissenschaft. Berlin 1997
- URHAUSEN, A./SCHWARZ, M./STEFAN, S./GABRIEL, H./KINDERMANN, W.: Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraftausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 51 (2000), 4, 130-136
- ZATSORSKY, V.M./KULIK, N.G.: Zwei Arten von Ausdauer-Kennwerten. In: Teorija i Praktika Fizičeskoj Kultury 27 (1965), 2, 35-41
- ZIMMERMANN, K.: Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining, Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport. Schorndorf 2000



## Beitrag IX

Fröhlich, M. & Gießing, J. (2006). Nachermüdung als trainingsmethodische Alternative im Krafttraining. *Leistungssport*, 36 (2), 39-44.



Michael Fröhlich/Jürgen Gießing

# Nachermüdung als trainingsmethodische Alternative im Krafttraining

Das Muskelaufbautraining zielt vorrangig auf die Steigerung der Muskelmasse durch Muskelfaser-Hypertrophie ab. Eine These hierzu lautet, dass die Ausbelastung der Muskulatur als adaptiver Reiz (neben der möglichen energetischen Ausschöpfung) anzusehen ist. Gießing, Preuss und Fröhlich (2005) konnten u. a. zeigen, dass die Vorerrmüdung als Intensitätstechnik zur muskulären Ausbelastung in seiner Wirkungsweise überschätzt

wurde. Vielmehr wird von den Autoren die intensive Nachermüdung als Maßnahme zur Optimierung der Ausbelastungsintensität im Muskelaufbautraining angesehen. Die nachfolgende Studie vergleicht die Wirkungsweise der Vor- und Nachermüdung als Intensitätstechnik bei 12 krafttrainingsspezifisch trainierten Freizeitsportlern. Anhand der Parameter *verrichtete physikalische und physikalische Ar-*

*beit* sowie der *physikalischen Ermüdungsrate* kann gezeigt werden, dass die Nachermüdung eine sinnvolle Alternative zu gängigen Ausbelastungsstrategien darstellt und in ihrer Wirkungsweise der Vorerrmüdung überlegen scheint. Erste Verwertungshinweise und praktische Einsatzmöglichkeiten werden diskutiert.

Eingegangen: 8.12.2005

## 1. Einleitung und Problemidentifikation

### Theoretischer Zugang und wissenschaftliches Desiderat

Obwohl derzeit noch ein wissenschaftliches Desiderat bezüglich der optimalen Reizkonfiguration sowie der genauen Mechanismen und Wirkfaktoren zur Erzielung entsprechender Adaptationen im Muskelaufbautraining besteht, kann als zentrales Merkmal sowohl eine muskuläre Ausbelastung (eventuell auch Schwellenbelastung) als auch eine hinreichend lange Reizspannungsdauer (energetische Ausschöpfung<sup>1</sup>) angenommen werden (vgl. Campos, 2002; Fry, 2004; Lichtenegger, 2005; Steinacker et al., 2002; Tesch, 1998). Letztlich steht jedoch noch der empirische qualitative und quantitative Beweis auf zellulärer Ebene aus, inwieweit eine Ausbelastung für das Zustandekommen eines Hypertrophiereizes notwendig ist (vgl. Liu & Steinacker, 2002). Bezug nehmend auf die Problematik der Operationalisierung von Ausbelastung sowie auf mögliche definitorische Abgrenzungen verschiedener Ausbelastungsstrategien, wird auf Gießing et al. (2005) verwiesen. Zur Ausbelastung der Muskulatur über den Punkt des momentanen Muskelversagens<sup>2</sup> (PmM) hinaus (training beyond the point of momentary failure) werden speziell im Bodybuilding so genannte Intensitätstechniken verwendet (vgl. Bührle & Werner, 1984; Fleck &

Kraemer, 1997; Gießing, 2005a; Stone & O'Bryant, 1987). Sinn und Zweck dieser Intensitätstechniken<sup>3</sup> ist eine zusätzliche Intensivierung des progressiven adaptiven Reizes, dies sowohl im Hinblick auf die zugrunde liegende Energetik als auch im Sinne der Reizspannungshöhe. Im Laufe der Zeit hat sich eine Vielzahl von Intensitätstechniken als wirksam herausgestellt. Zu nennen wären u.a.: abgefaschte Wiederholungen, Intensivwiederholungen, Teilwiederholungen, Reduktionssätze, Stotterwiederholungen, Negativwiederholungen etc. (vgl. Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, S. 64 f.; Fleck & Kraemer, 1997, S. 118-130; Gießing, 2005a, S. 12 f.; Stone & O'Bryant 1987, S. 146). Im Folgenden soll die Intensitätstechnik *Supersatz* (Verbundsatz) mit Vorerrmüdung als Ausbelastungsstrategie näher beschrieben und diskutiert werden.

### Definitorische Abgrenzung und erste empirische Verwertungshinweise

#### Super- und Verbundsätze<sup>4</sup>

Unter *Supersätzen* versteht man die Ausführung von zwei antagonistischen Übungen direkt nacheinander, ohne dass eine nennenswerte „Pause“ zwischen den Übungen eingelegt wird (vgl. Baechle, Earle & Wathan, 2000, S. 406). Die Pause zwischen den beiden Übungen wird nur zum Wechsel der Übungen selbst genutzt. Ein klassischer *Supersatz* für die Ober-

armmuskulatur würde demnach aus einem Satz Armbeugen (Curls für die Armbeuger) und einem sich direkt anschließenden Satz Armstrecken (Trizepsdrücken) bestehen. Die eigentliche *Supersatzpause* erfolgt erst, wenn beide Sätze abgeschlossen sind. Beziehen sich beide Übungen des *Supersatzes* auf ein und den selben Zielmuskel, so spricht man von *Verbundsätzen* (vgl. Baechle, Earle & Wathan, 2000, S. 406). Ein *Verbundsatz* für die Brustmuskulatur (hauptsächlich M. pectoralis major) würde beispielsweise aus Bankdrücken und Fliegenden Bewegungen bestehen.

#### Intensitätstechnik Vorerrmüdung

Die Intensitätstechnik *Vorerrmüdung* (pre-exhaustion) basiert auf der Erkenntnis, dass große Muskeln wie der M. pectoralis, M. latissimus dorsi 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 (vgl. Gießing, 2005a, S. 12). Bei der Grundübung Bankdrücken beispielsweise werden neben der Brustmuskulatur die Trizeps- und vordere Deltamuskulatur beansprucht, was zur Folge haben kann, dass diese kleineren Muskeln („weak links“) bereits ermüdet sind, bevor die Brustmuskulatur auch nur annähernd einem ausreichenden Trainingsreiz ausgesetzt war.

<sup>1</sup> Einerseits wird die Ausschöpfung der muskelzellulären Energiespeicher (vermehrter ATP- und KP-Abbau) noch immer als Stimulus für die Proteinsynthese betrachtet. Andererseits wird der Muskelspannung (Mikrotraumen, Satellitenzellenaktivierung etc.) proteinsynthetische Wirkung zugeschrieben (vgl. Fry, 2004; MacDougall, 1992; Tesch, 1998).

<sup>2</sup> Der Punkt des momentanen Muskelversagens (PmM) kann definiert werden als „Terminating a set when concentric failure has been reached, i. e. the final repetition can not be fully completed due to fatigue“ (Gießing et al., 2005, S. 17).

<sup>3</sup> In der Regel beruhen die Handlungsempfehlungen

der Intensitätstechniken auf theoretischen Überlegungen (z.B. maximale Rekrutierung und Frequenzierung von motorischen Einheiten durch Überlastung der Muskulatur und optimale Synchronisation, vgl. Stone & O'Bryant 1987, S. 146) sowie auf Alltagserfahrungen in der Praxis Tätiger. Weit weniger liegen explizit empirische Studien zur Wirkungsweise vor.

<sup>4</sup> Super- und Verbundsatz werden definitorisch durch die agonistische bzw. antagonistische Übung differenziert. In der Mehrzahl der Studien wird jedoch entweder eine synonyme Verwendung der Begriffe vorgenommen, oder eine explizite definitorische Abgrenzung unterbleibt. In der englischsprachigen Literatur wird in der

Regel keine Abgrenzung vorgenommen und allgemein von „superset“ gesprochen.

<sup>5</sup> Zum Begriff der Trainingseffizienz bzw. -effektivität im Hinblick auf die optimale Serienzahl im Krafttraining sei auf die Ausführungen von Fröhlich (2006, in Druck) rekurriert.

<sup>6</sup> Isolationsübungen konzentrieren sich in der Regel auf einen bestimmten Muskel, eine isolierte Beanspruchung ist in der Trainingsrealität jedoch nicht möglich. „Weak links“ sind „Schwachstellen“ bei einer Bewegungsausführung (Kraft-Winkel-Relation), deren Ermüdung die maximale Ausschöpfung der Zielmuskulatur in Frage stellt.

Um eine solche Beeinträchtigung der Trainings-effizienz<sup>5</sup> der großen Muskelgruppen zu mini-mieren, werden den Grundübungen so genann-te Isolationsübungen<sup>6</sup> vorangestellt. So soll z.B. die Effizienz des Bankdrückens als Brust-übung dadurch optimiert werden, dass zuvor eine Übung ohne Trizepsbeteiligung, wie etwa Butterfly oder Fliegende Bewegungen, ausge-führt wird.

## Verbundsatz mit Vorerermüdung als Intensitätstechnik

Durch die Kombination von Verbundsatz und zusätzlicher Vorerermüdung der Zielmuskulatur durch Grundübungen sollte eine maximale Ausschöpfung und somit maximale Ausbelas-tung der Muskulatur mit entsprechender Hyper-trophie erzielt werden (vgl. Fleck & Krae-mer, 1997, S. 127). Derzeit wird jedoch die Effi-zienz und hohe Wirksamkeit von Verbundsatz und Vorerermüdung als Intensitätstechnik so-wohl theoretisch (vgl. Gießing, Preuss & Fröh-lich, 2005) als auch empirisch (vgl. Augustsson et al., 2003; Maynard & Ebben, 2003) disku-tiert.

Augustsson et al. (2003) fanden z. B. bei 17 männlichen Probanden innerhalb eines Ver-bundsatzes, bestehend aus Beinpressen und Beinstrecken, nach vorausgegangener Vorer-müdung sowohl geringere Wiederholungszah-len bei der anschließenden Grundübung als auch eine geringere muskuläre Aktivität. Die Autoren schließen daraus, dass die Voreremü-dung weniger effektiv ist als gemeinhin ange-

nommen, da sie in der Untersuchung genau das Gegenteil des gewünschten Effekts bewirk-te: „Our study showed that pre-exhaustion exercise had the exact opposite effect on muscle activation as suggested by weight train-ers using this technique. (...) Thus the lower muscle activity and reduction of strength when using pre-exhaustion exercise compared with regular weight training implies the pre-ex-haustion technique may be less effective in muscular development and strength acquisi-tion“ (Augustsson et al., 2003, S. 414).

Dass in vorermüdetem Zustand weniger Wie-derholungen bei der anschließenden Grund-übung möglich sind, ist eine logische Konse-quenz der Vorerermüdung. Entscheidend in der Studie von Augustsson et al. (2003) war jedoch, dass die Beanspruchung der Zielmuskulatur (hier gezeigt am Beispiel des M. vastus lateralis und des M. rectus femoris) nach Vorerermüdung signifikant geringer ausfällt als ohne.

Maynard und Ebben (2003) untersuchten die Effektivität eines antagonistischen Supersatzes (Beinstrecken und Beinbeugen) bei 20 männli-chen Probanden (Division I wrestlers). Hierzu sollten die Probanden fünf maximale Bein-streckungen ausführen. Die durchgeführte Vor-ermüdung der Beinbeuger zeigte keine Er-höhung der EMG-Aktivität des M. quadrizeps beim anschließenden Beinstrecken. Die Auto-ren konstatieren: „This study demonstrates that antagonist/agonist superset training may not be the most effective system of weight training as evidenced by a reduction of torque,

time to peak, and power during subsequent agonist sets“ (Maynard & Ebben, 2003, S. 473). Resümierend schließen Gießing, Preuss und Fröhlich (2005, S. 84) aus den beiden empiri-schen Befunden, dass eine Umkehrung der Rei-henfolge der Übungen wesentlich sinnvoller zur Steigerung der Ausbelastungsintensität sei: „Since pre-exhaustion does not provide a solu-tion for this problem, the logical consequence of these findings can only be reversing the or-der of the exercises performed. Since it is true that the relative weakness of smaller muscles affects training intensity negatively when per-forming multiple-joint exercises, it is obvious that multiple-joint exercises should be per-formed first. After the set has been taken to the PMF (Punkt des momentanen Muskelversa-gens, Anm. der Autoren), it is immediately fol-lowed by a single-joint exercise which does not depend on the strength of the smaller muscles as much as the execution of a multiple-joint exercise does“.

Als Fazit kann zum derzeitigen Stand der For-schung bzgl. Vor- und Nachermüdung als In-tensitätstechnik konstatiert werden, dass die Kombination aus Isolationsübungen (meist kleine Muskelgruppen) und Grundübungen (meist große Muskelgruppen) zu einem Ver-bundsatz eine sinnvolle Vorgehensweise dar-stellt. Bei der Vorerermüdung wurde lediglich die Reihenfolge falsch gewählt. Eine konsequente Reihenfolge von Grundübungen und Isola-tionsübungen in einem Verbundsatz ist bei-spielsweise in Tab. 1 wiedergegeben.

Unter Bezugnahme auf die theoretischen Über-legungen und vorliegenden empirischen Befun-de war es Zielstellung der nachfolgend be-schriebenen Studie, bei drei verschiedenen Übun-gen innerhalb eines Verbundsatzes in Abhängig-keit von der Reihenfolge „Vor- vs. Nachermü-dung“, die physikalisch und physiologisch ver-richtete Arbeit bei 12 ambitionierten Freizeit-sportlern mit langjähriger Krafttrainingserfah-rung zu erheben und somit trainingsmethodi-sche Handlungsempfehlungen zu überprüfen.

## 2. Untersuchungsmaterial und -methode

An der nachfolgend beschriebenen empirischen Querschnittsstudie nahmen 12 leistungsorien-tierte Kraftsportler mit einer durchschnittlichen Trainingserfahrung von  $11,8 \pm 7,0$  Jahren teil (Min. 4, Max. 25, Median 10,5 Jahre). Die wei-terführenden anthropometrischen Probanden-merkmale sind in Tab. 2 aufgelistet. Die Studi-enteilnehmer absolvierten in dieser Zeit in der Regel zwei- bis dreimal pro Woche Krafttrain-ing. Zusätzlich wurden ein bis zwei aerobe Ausdauerheiten durchgeführt. Durch die überdurchschnittliche Trainingserfahrung der Probanden können so genannte Lern- und Ge-wöhnungseffekte an die Testsituation sowie an die Geräte und somit koordinative Anpassungen auf neuronaler Ebene nahezu ausgeschlossen werden (vgl. Kraemer & Fry, 1995).

Die Probanden wurden zum ersten Untersu-chungstermin je zur Hälfte der Vor- bzw. Nach-ermüdungsgruppe zugewiesen. Exakt eine Woche

**TAB. 1** Grund- und Isolationsübungen im Verbundsatz

| Zielmuskel         | Verbundsatz Grundübungen                         | Verbundsatz Isolationsübungen |
|--------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| M. pectoralis      | Bankdrücken                                      | Butterfly                     |
| M. latissimus      | Klimmzüge in den Nacken mit schulterweisem Griff | Überzüge mit einer Kurzhantel |
| M. quadrizeps      | Beinpressen                                      | Beinstrecken                  |
| Mm. ischiocrurales | Kreuzheben mit gestreckten Beinen                | Beinbeugen                    |
| M. deltoideus      | Frontpressen                                     | Seitheben                     |
| M. trapezius       | Rudern aufrecht                                  | Schulterheben                 |

Grundübungen und anschließende Isolationsübungen in einem Verbundsatz.

Sowohl die Grundübung als auch die anschließende „Isolationsübung“ werden mit 8-RM bis 10-RM bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens ausgeführt. Die Pause zwischen beiden Teilen des Verbund-satzes besteht lediglich aus dem Wechsel vom ersten Teil des Verbundsatzes zum zweiten Teil.

**TAB. 2** Anthropometrische Daten

|                          | N  | Mittelwert | Standardabweichung | Median | Min.  | Max.  |
|--------------------------|----|------------|--------------------|--------|-------|-------|
| Alter (J.)               | 12 | 35,17      | 7,60               | 36,00  | 21,00 | 50,00 |
| Größe (m)                | 12 | 1,83       | 0,07               | 1,83   | 1,70  | 1,91  |
| Gewicht (kg)             | 12 | 83,89      | 6,65               | 85,15  | 72,00 | 97,10 |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 12 | 25,23      | 2,45               | 25,18  | 21,50 | 29,72 |
| Körperfett (%)           | 12 | 14,73      | 3,80               | 13,65  | 8,40  | 20,80 |

Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer

später wurde der zweite Messtermin in umgekehrter Reihenfolge der Verbundsätze durchgeführt. Durch diese Vorgehensweise sollten zirkadianrhythmische Einflüsse minimiert werden (vgl. Oschütz, 1994). Die Testübungen bestanden aus Bankdrücken und Butterfly, Latissimusziehen in den Nacken und Überzügen am Kabel mit fast gestreckten Armen sowie aus Beinpressen und Beinstrecken. Die Übungen wurden an den entsprechenden Maschinen durchgeführt. Zwischen den Übungen lag eine Pause von ca. 10 Sekunden (max. 15 s). Die Pause zwischen den Verbundsätzen betrug bei den Übungen für die Brust- und Nackenmuskulatur (Rücken) jeweils 2 Minuten, für die Beinübungen 2,5 Minuten. Insgesamt wurden drei Verbundsätze realisiert. Die Bewegungsreichweite (ROM) wurde konstant gehalten. Zum zweiten Testtermin wurde die Reihenfolge innerhalb des Verbundsatzes getauscht, die Reihenfolge der zu trainierenden Muskeln blieb jedoch konstant. Die Gewichtslast, die bei jeweils 12-RM liegen sollte, wurde protokolliert und diente zum zweiten Testtermin als Grundlage. Durch die Bestimmung der zu realisierenden Wiederholungszahl bei konstanter Last konnte die physikalisch verrichtete Arbeit (Total Force) pro Verbundsatz ebenso wie insgesamt (Total Total Force) berechnet werden (vgl. Fröhlich et al., 2001). Zusätzlich wurden als abhängige Variablen erhoben: Time under Tension (TUT) als physiologische Arbeit, Fatigue Rate (FR) als physikalischer Ermüdungsparameter (vgl. Gießing, 2005b), die Herzfrequenz als physiolo-

<sup>7</sup> Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf die Ergebnisdarstellung der physikalischen und physiologischen Parameter Last, Wiederholungen, Total Force, Total Total Force, Time under Tension und Fatigue Rate. Die Parameter Herzfrequenz und subjektive Belastungseinschätzung werden einer gesonderten Ergebnisdarstellung unterzogen.

ABB. 1 Untersuchungsdesign

| 1. Verbundsatz |        |        |        | 2. Verbundsatz |        |        |        | 3. Verbundsatz |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| Hf B 1         | Hf E 1 | Hf B 2 | Hf E 2 | Hf B 1         | Hf E 1 | Hf B 2 | Hf E 2 | Hf B 1         | Hf E 1 | Hf B 2 | Hf E 2 |
|                | PRE 1  |        | PRE 2  |                | PRE 1  |        | PRE 2  |                | PRE 1  |        | PRE 2  |
| Last 1         | Wdh. 1 | Last 2 | Wdh. 2 | Last 1         | Wdh. 1 | Last 2 | Wdh. 2 | Last 1         | Wdh. 1 | Last 2 | Wdh. 2 |
| TUT 1          |        | TUT 2  |        | TUT 3          |        | TUT 4  |        | TUT 5          |        | TUT 6  |        |

Legende: Hf B 1 = Herzfrequenz zu Beginn des 1. Satzes, Hf E 1 = Herzfrequenz am Ende des 1. Satzes, Hf B 2 = Herzfrequenz zu Beginn des 2. Satzes, Hf E 2 = Herzfrequenz am Ende des 2. Satzes; PRE 1 = subjektive Belastungseinschätzung am Ende des 1. Satzes, PRE 2 = subjektive Belastungseinschätzung am Ende des 2. Satzes; Last 1 = bewältigte Last (kg) im 1. Satz, Wdh. 1 = realisierte Wiederholungen im 1. Satz, Last 2 = bewältigte Last (kg) im 2. Satz, Wdh. 2 = realisierte Wiederholungen im 2. Satz; TUT 1 bis TUT 6 = Time under Tension pro Satz

gischer Parameter zur Quantifizierung der kardiopulmonalen Beanspruchung sowie die subjektive Belastungseinschätzung (Borgskala 1-10). Die Herzfrequenz wurde jeweils zu Beginn und am Ende des Satzes bestimmt. Somit resultierten insgesamt 12 Messzeitpunkte. Die subjektive Belastungseinschätzung wurde jeweils am Ende eines jeden Satzes erhoben (6 Messzeitpunkte<sup>7</sup>). Die Time under Tension konnte sechsmal bestimmt werden (3 Verbundsätze à 2 Übungen). Das Untersuchungsdesign ist in Abb. 1 wiedergegeben.

### 3. Statistik

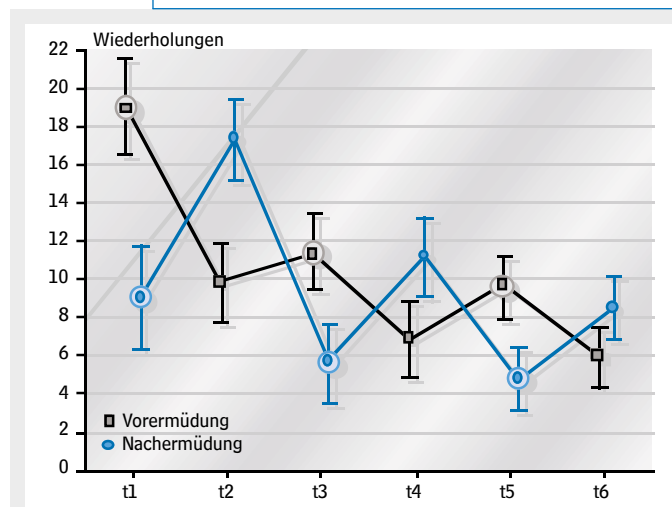
Zur Beschreibung wurden Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum, Median sowie Konfidenzintervalle berechnet. Die inferenzstatistische Berechnung auf Unterschiede erfolgte mit t-Test für gepaarte Stichproben sowie über ANOVA mit Messwiederho-

lung. Die Überprüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde mit den entsprechenden Verfahren (z.B. Histogramme, Levene-Test) durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit STATISTICA 6.1. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

### 4. Untersuchungsergebnisse

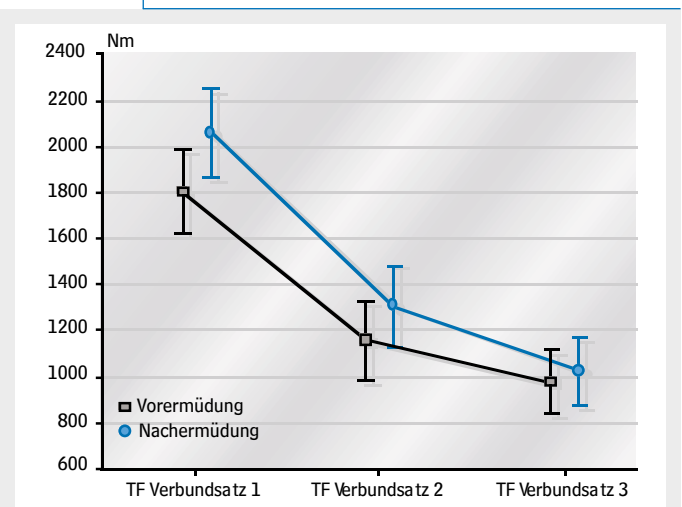
Um die Ergebnisdarstellung möglichst übersichtlich zu gestalten, werden zunächst die einzelnen Parameter innerhalb der beiden Treatmentbedingungen im Überblick wiedergegeben. Des Weiteren werden die Verbundsätze in der Reihenfolge „Bankdrücken und Butterfly“, „Latissimusziehen und Überzüge“ und „Beinpressen und Beinstrecken“ dargestellt. Darüber hinaus werden die Parameter zwischen den Treatmentbedingungen sowohl einzeln als auch miteinander summiert (z.B. Total Total Force) verglichen.

ABB. 2 Wiederholungszahlverlauf



Wiederholungszahlverlauf bei den Übungen Bankdrücken und Butterfly innerhalb der Treatments Vor- und Nachermüdung über drei Verbundsätze (t1, t3 und t5 = Wdh. Bankdrücken vs. Butterfly, t2, t4 und t6 = Wdh. Butterfly vs. Bankdrücken) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

ABB. 3 Total Force I



Total Force zwischen Trainingsmethode Vorermüdung und Nachermüdung über die drei Verbundsätze bei den Übungen Bankdrücken und Butterfly (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)



## Bewältigte Last und realisierte Wiederholungen

Die durchschnittlich bewältigte Last (kg) bei Vorgabe 12-RM in den Verbundsätzen betrug beim Bankdrücken  $93,75 \pm 14,12$  kg, beim Butterfly  $48,75 \pm 10,68$  kg, beim Latissimusziehen  $64,17 \pm 6,34$  kg, bei den Überzügen  $24,96 \pm 4,86$  kg, beim Beinpressen  $138,33 \pm 22,08$  kg und beim Beinstrecken  $71,88 \pm 20,34$  kg. Die realisierten Wiederholungen pro Supersatz reduzierten sich sowohl innerhalb des Verbundsatzes als auch über die 3 Verbundsätze hinweg (alle  $p < 0,05$ ). Exemplarisch ist in Abb. 2 der Wiederholungszahlverlauf bei den Übungen Bankdrücken und Butterfly über die Verbundsätze wiedergegeben.

### Total Force (TF) und Total Total Force (TTF)

Die Total Force (TF = Last x Wiederholungszahl pro Verbundsatz) unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Treatment Vorermüdung und Nachermüdung bei der Übung für die Brustmuskulatur ( $F = 2,05$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,17$ ). Über die Verbundsätze hinweg kam es zu einer signifikanten Reduktion der TF ( $F = 261,51$ ;  $df = 2$ ;  $p < 0,05$ ). Die Interaktion Treatment mal Verbundsätze verfehlt knapp das Signifikanzniveau ( $F = 3,06$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0,06$ ). Die Graphen des Interaktionsdiagramms verlaufen ordinal, sodass die Haupteffekte global interpretiert werden können (vgl. Abb. 3). Die Total Total Force (TTF = Summe der TF der 3 Verbundsätze) in der Treatmentbedingung Nachermüdung ist signifikant höher ( $4378,6 \pm 640,7$  Nm) als bei der Trainingsmethode Vorermüdung ( $3738,9 \pm 549,5$  Nm) ( $t = -8,09$ ;  $df = 10$ ;  $p < 0,05$ ). Die Differenz beträgt 639,7 Nm.

Die TF innerhalb der Übungen für die Rückenmuskulatur (Latissimusziehen und Überzüge)

unterscheidet sich signifikant zwischen den beiden Trainingsmethoden ( $F = 10,26$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ) (vgl. Abb. 4). Über die Serien hinweg kam es zu einer signifikanten Reduktion ( $F = 196,79$ ;  $df = 2$ ;  $p < 0,05$ ). Die Interaktion war ebenfalls signifikant ( $F = 3,47$ ;  $df = 2$ ;  $p < 0,05$ ). Innerhalb der Trainingsmethode Nachermüdung ( $2818,1 \pm 530,9$  Nm) ist die TTF signifikant höher als bei der Vorermüdung ( $2270,5 \pm 262,7$  Nm) ( $t = -4,76$ ;  $df = 11$ ;  $p < 0,05$ ). Die Differenz beträgt 547,7 Nm.

Die TF unterscheidet sich bei den Verbundsätzen für die Beinmuskulatur nicht signifikant zwischen den Treatments Vorermüdung und Nachermüdung ( $F = 0,85$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,37$ ). Zwischen den 3 Verbundsätzen besteht ein signifikanter Unterschied ( $F = 55,70$ ;  $df = 2$ ;  $p < 0,05$ ). Die Interaktion Trainingsmethode und Serienzahle ist nicht signifikant ( $F = 0,16$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0,85$ ). Die Interaktionsgraphen verlaufen ordinal, was eine globale Interpretation der Haupteffekte (Treatment und Serie) erlaubt (vgl. Abb. 5). Die TTF ist bei der Trainingsmethode Nachermüdung ( $7798,1 \pm 2880,4$  Nm) signifikant höher als bei der Vorermüdung ( $6867,7 \pm 1967,4$  Nm) ( $t = 2,42$ ;  $df = 11$ ;  $p < 0,05$ ). Insgesamt resultiert eine Differenz von 930,4 Nm zwischen Vor- und Nachermüdung.

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

Die Ergebnisse der inferenzstatistischen Berechnung der Variable Time under Tension (TUT) pro Verbundsatz bei den Übungen für die Brust-, Rücken- und Beinmuskulatur sind in Tab. 3 wiedergegeben. Die Variable TUT unterscheidet sich weder zwischen den Trainingsmethoden Vor- bzw. Nachermüdung noch bei den drei einzelnen Übungen. Zwischen den Serien im Verbundsatz unterscheidet sich die Reizspan-

nungsdauer signifikant. Das heißt, es kommt zu einer signifikanten Reduktion der Reizspannungsdauer auf das athromuskuläre System über die 3 Verbundsätze.

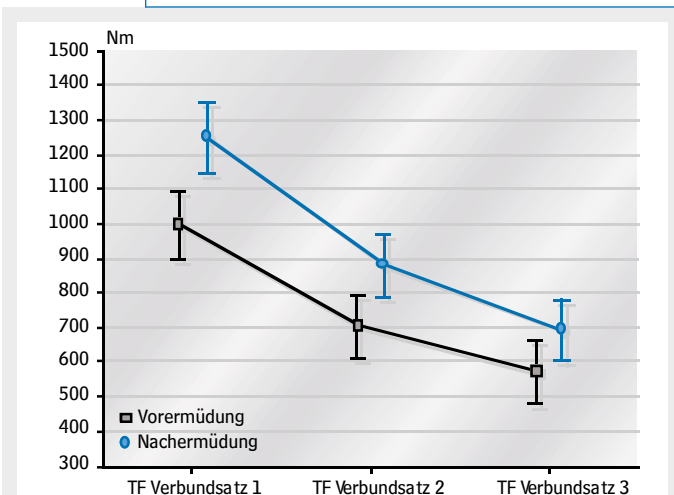
Die Total TUT (Summe 3 Verbundsätze mal 2 Übungen), als Parameter für die physiologisch geleistete Arbeit innerhalb der gesamten Trainingsmethode Vor- bzw. Nachermüdung, unterscheidet sich bei den Übungen für die Brust- ( $t = 1,66$ ;  $df = 11$ ;  $p = 0,13$ ) und die Rückenmuskulatur ( $t = 1,56$ ;  $df = 11$ ;  $p = 0,15$ ) nicht signifikant zwischen Vor- und Nachermüdung. Innerhalb der Experimentalbedingung für die Beinmuskulatur liegt die TUT bei der Vorermüdung signifikant höher als bei der Nachermüdung ( $t = 2,92$ ;  $df = 11$ ;  $p < 0,05$ ). Abb. 6 nimmt hierauf Bezug.

### Fatigue Rate (FR)

Die Berechnung der Fatigue Rate (FR) als physikalischer Ermüdungsparameter (Differenz der Total Force zwischen dem ersten und zweiten Verbundsatz sowie zwischen dem zweiten und dritten Verbundsatz) über die Verbundsätze sowie über die einzelnen Muskelgruppen hinweg zeigte folgendes Ergebnis:

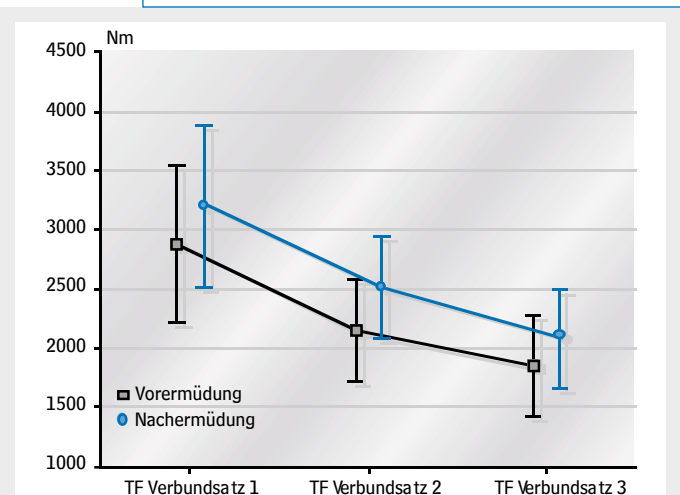
- Brustmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F = 4,62$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ), Haupteffekt Serienzahle ( $F = 59,15$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F = 0,00$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,98$ ).
- Rückenmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F = 4,44$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ), Haupteffekt Serienzahle ( $F = 9,67$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F = 0,12$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,73$ ).
- Beinmuskulatur: Haupteffekt Trainingsmethode (Vor- vs. Nachermüdung) ( $F = 0,09$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,76$ ), Haupteffekt Serienzahle ( $F = 6,43$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ) und Interaktionseffekt ( $F = 0,30$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,59$ ).

ABB. 4 Total Force II



Total Force zwischen Trainingsmethode Vorermüdung und Nachermüdung über die drei Verbundsätze bei den Übungen Latissimusziehen und Überzüge (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

ABB. 5 Total Force III



Total Force zwischen Trainingsmethode Vorermüdung und Nachermüdung über die drei Verbundsätze bei den Übungen Beinpressen und Beinstrecken (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Fatigue Rate von Vor- und Nachermüdung sind in Tab. 4 aufgelistet. Zur exemplarischen Verdeutlichung ist in Abb. 7 die Interaktion von Trainingsmethode und Serienzahl der Fatigue Rate bei der Muskelgruppe Beine dargestellt. Die Ermüdungsrate bei der Trainingsmethode Nachermüdung ist, außer beim 1. Supersatz für die Beinmuskulatur, deutlich größer als bei der Voreremüdung.

## 5. Diskussion

Die bewältigten Lasten bei Vorgabe 12-RM verdeutlichen die krafttrainingsspezifische Erfahrung der Probanden. Die Studienteilnehmer zeichnen sich des Weiteren durch eine jahrelange Trainingserfahrung aus, sodass testspezifische und/oder koordinative Einflüsse auf die Treatmentbedingungen nahezu auszuschließen sind. Wie bereits Fröhlich, Schmidtbleicher und Emrich (2002) zeigen konnten, kommt es bei Ausbelastung innerhalb einer Serie über mehrere Serien, hier mehrere Verbundsätze, hinweg zu einer Reduktion der Wiederholungszahlen. Die Wiederholungszahlreduktion betraf in dieser Studie sowohl die Wiederholungszahl bei den Grundübungen als auch bei den Isolationsübungen (vgl. Abb. 2). Durch die Berechnung der Total Force konnten die beiden Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung miteinander verglichen werden (vgl. Fröhlich et al., 2001; Klein, Fröhlich & Gießing, 2005). Hierbei zeigte sich, dass bei den Übungen für die Rückenmuskulatur zwischen den Trainingsmethoden signifikante Unterschiede bestehen. Für die Brustmuskeln konnten statistisch keine Unterschiede festgestellt werden, wobei auch hier anzumerken ist, dass die Total Force bei der Nachermüdung mindestens 4,5 Prozent (3. Verbundsatz, Voreremüdung 973,13 Nm vs. Nachermüdung 1017,3 Nm, vgl. Abb. 3) größer ist als bei der Voreremüdung. So kann bezüglich der Total Force und der Total Total Force resümiert werden, dass bei der Treatmentbedingung Nachermüdung höhere Werte resultieren, was als größere äußere Belastung interpretiert werden kann. Das bedeutet weiterhin eine höhere

**TAB. 3** Time under Tension

|                     | Brustmuskulatur |    |      | Rückenmuskulatur |    |      | Beinmuskulatur |    |      |
|---------------------|-----------------|----|------|------------------|----|------|----------------|----|------|
|                     | F               | df | p    | F                | df | p    | F              | df | p    |
| Treatment           | 0,15            | 1  | 0,70 | 0,27             | 1  | 0,61 | 1,05           | 1  | 0,32 |
| Serien              | 80,46           | 2  | 0,00 | 84,05            | 2  | 0,00 | 39,87          | 2  | 0,00 |
| Treatment mal Serie | 0,17            | 2  | 0,84 | 0,08             | 2  | 0,93 | 1,03           | 2  | 0,37 |

Ergebnis der inferenzstatistischen Berechnung der Time under Tension in Abhängigkeit von der Trainingsmethode, der Anzahl der Verbundsätze sowie der beteiligten Muskelgruppen

**TAB. 4** Fatigue Rate

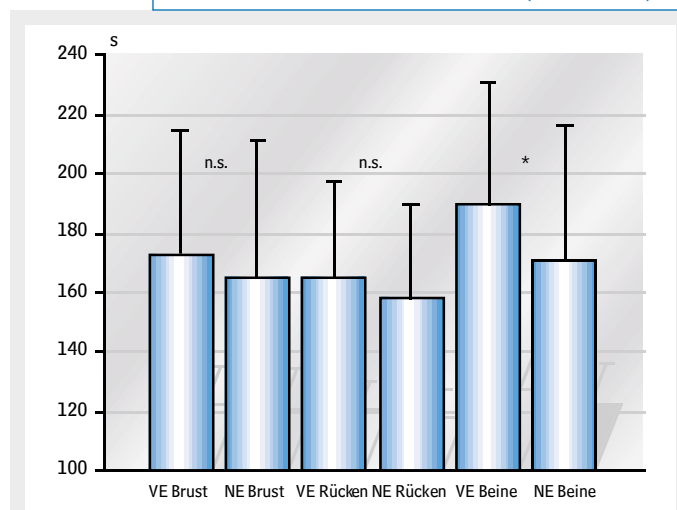
|                       | Voreremüdung |              | Nachermüdung |              |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                       | Mittelwert   | Standardabw. | Mittelwert   | Standardabw. |
| FR Brustmuskulatur 1  | 647,5        | 220,9        | 750,9        | 231,0        |
| FR Brustmuskulatur 2  | 181,0        | 97,9         | 288,0        | 167,6        |
| FR Rückenmuskulatur 1 | 288,8        | 87,3         | 364,6        | 158,2        |
| FR Rückenmuskulatur 2 | 181,0        | 97,9         | 288,0        | 167,6        |
| FR Beinmuskulatur 1   | 730,2        | 542,0        | 689,2        | 615,0        |
| FR Beinmuskulatur 2   | 294,4        | 248,0        | 408,5        | 299,2        |

Fatigue Rate von Treatment Vor- und Nachermüdung bei den Übungen für die Brust-, Rücken- und Beinmuskulatur (FR = Fatigue Rate; 1 = Differenz der Fatigue Rate 1. Verbundsatz und 2. Verbundsatz; 2 = Differenz der Fatigue Rate 2. Verbundsatz und 3. Verbundsatz)

müdung 1017,3 Nm, vgl. Abb. 3) größer ist als bei der Voreremüdung. So kann bezüglich der Total Force und der Total Total Force resümiert werden, dass bei der Treatmentbedingung Nachermüdung höhere Werte resultieren, was als größere äußere Belastung interpretiert werden kann. Das bedeutet weiterhin eine höhere

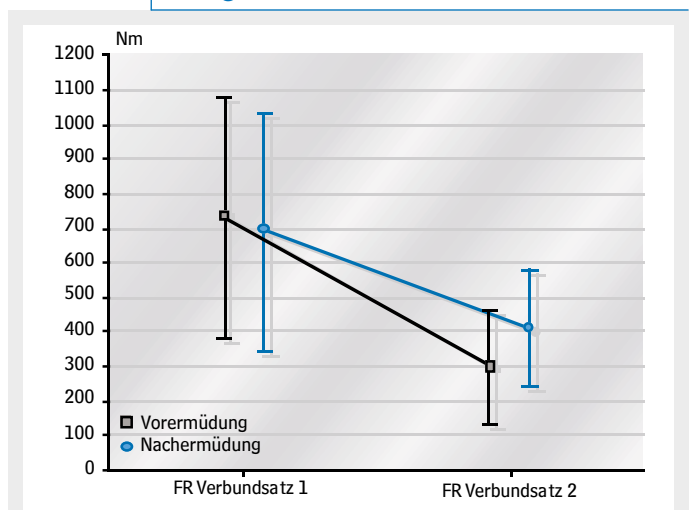
muskuläre Belastung auf Seiten der Nachermüdung und somit einen hypothetischen Vorteil gegenüber der Voreremüdung als Ausbelastungsstrategie im Muskelaufbautraining. Generell unterscheidet sich die Time under Tension als physiologischer Belastungsparameter nicht zwischen den Trainingsmethoden Vor- und

**ABB. 6** Total Time under Tension (Total TUT)



Total TUT [s] in Abhängigkeit von Vor- bzw. Nachermüdung sowie den beteiligten Muskelgruppen (VE = Treatment Voreremüdung; NE = Treatment Nachermüdung; Brust = Verbundsatz als Bankdrücken und Butterfly; Rücken = Verbundsatz aus Latissimusziehen und Überzügen; Beine = Verbundsatz aus Beinpressen und Beinstrecken)

**ABB. 7** Fatigue Rate



Fatigue Rate von Treatment Vor- und Nachermüdung beim 1. und 2. Verbundsatz bei der Beinmuskulatur (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

**Nachermüdung:** Die mittlere Spannweite 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 Verstoffwechselung der ATP- und KP-Speicher sowie in Teilen der anaeroben Glykolyse vorliegt (vgl. Hultman & Sjöholm, 1986; Stone & O'Bryant, 1987; Viru, 1996). So reicht nach Fleck und Kraemer (1997, S. 57) der ATP-KP-Pool für 3 Sätze mit 10-RM und 1 Minute Serienpause aus. Die Reizspannungsdauer dürfte somit für beide Trainingsmethoden einen vergleichbaren Einfluss auf die adaptiven Prozesse des Muskelwachstums haben (vgl. im Überblick Hemmling, 1994). Die Fatigue Rate als kumulativer physikalischer Ermüdungsparameter ist bei der Nachermüdung und den weniger alltäglich beanspruchten Muskelgruppen wie Brust und Rücken signifikant höher als bei der Voreremüdung. Bei den im Alltag zusätzlich beanspruchten Muskelgruppen der Beine (hier M. quadrizeps) besteht zwischen Vor- und Nachermüdung kein signifikanter Unterschied, wobei kein einheitlicher Trend zu erkennen ist. So weisen die Graphen des Interaktionsdiagramms (vgl. Abb. 7) einen disordinalen Verlauf aus.

## Nachermüdung und zusätzliche Intensitätstechniken

Durch die Voreremüdung im Rahmen von Isolationsübungen ist die Ausführung der Grund-

übungen beeinträchtigt. Daher verbietet sich der Einsatz zusätzlicher Intensitätstechniken wie Teil- oder Intensivwiederholungen etc. 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 anschließen. Hierbei sollte jedoch die Wiederholungszahl (z.B. 12-RM) auf 6- bis 8-RM reduziert werden, da durch die Reduktionssätze bzw. Intensivwiederholungen zusätzlich ein muskelstimulierender Hypertrophie reiz ausgelöst wird (vgl. Gießing, Preuss & Fröhlich, 2005, S. 85 f.). Blicke man bei den ursprünglichen 12-RM und würde noch zusätzlich Intensitätstechniken anschließen, würde die Time under Tension in den zum Teil laktaziden Bereich verschoben und somit eher im Kraftausdauerbereich (15- bis 20-RM) trainiert werden (vgl. Fröhlich, 2003). Dadurch wäre die optimale Wirksamkeit der Nachermüdung plus weiterer Intensitätstechniken in Frage gestellt.

## Praktischer Verwertungszusammenhang

Die vorliegende Querschnittsuntersuchung lieferte erste empirische Ergebnisse zur Vor- bzw. Nachermüdung bei hochspezifisch Trainierten und verschiedenen Muskelgruppen im Krafttraining. Die Effizienz (Grad der Wirksamkeit) der Nachermüdung als lohnende Alternative im Krafttraining konnte im Querschnitt gezeigt

werden. Ihre Wirkanalyse im Längsschnitt steht jedoch noch aus.

\*

Die Literaturliste ist auf [www.leistungssport.net](http://www.leistungssport.net) als PDF-Download abrufbar.

\*

## Die Autoren

Dr. Michael FRÖHLICH, Laufbahnberater am Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportsoziologie Prof. Dr. Eike Emrich am Sportwissenschaftlichen Institut des Saarlandes. Studium Sportwissenschaft, Kontaktstudium Systemische Beratung – Case Management Fachhochschule Heidelberg. Promotion an der Goethe-Universität Frankfurt.

Anschrift: Universität des Saarlandes, Sportwissenschaftliches Institut, Universität Campus Gebäude B81-B83, 66041 Saarbrücken

E-Mail: [m.froehlich@olympiastuetzpunkt.org](mailto:m.froehlich@olympiastuetzpunkt.org)

Dr. Dr. Jürgen GIESSING, Studienrat im Hochschuldienst an der Universität Marburg, Studium der Fächer Sport, Anglistik und Erziehungswissenschaft an der Universität Marburg und der Thames Valley University in London. Promotion in Erziehungswissenschaft an der Universität Marburg, Promotion in Sportwissenschaft an der Universität Tübingen.

Anschrift: Philipps-Universität Marburg, Wilhelm-Röpke-Straße 6B, 35032 Marburg

E-Mail: [giessing@staff.uni-marburg.de](mailto:giessing@staff.uni-marburg.de)

## Danksagung

Die Autoren möchten sich bei den Studienteilnehmern recht herzlich für die Bereitschaft zur Mitwirkung an der Untersuchung bedanken. Ohne ihr Engagement wäre diese Studie nicht möglich gewesen. Des Weiteren gebührt Herrn Knut Wienbeck (Charisma Fitness Frankenberg) unser Dank für die kostenneutrale Überlassung der Räumlichkeiten zur Durchführung der Studie.

## INFO

### Traineroffensive gestartet

Der Bundesvorstand Leistungssport des Deutschen Sportbunds hat sich die Verbesserung der Trainersituation in Deutschland auf die Fahnen geschrieben. In seiner letzten Sitzung vergangenen Jahres erfolgte der Startschuss für eine längst überfällige Traineroffensive, die auf die nachhaltige Stärkung des Trainerberufs in Deutschland abzielt. Der Trainer ist nach wie vor der wichtigste Partner des Athleten. Von seiner Kompetenz hängen die sportliche Leistungsfähigkeit und die Erfolge der Athletinnen und Athleten maßgeblich ab, denn letztlich wird ein Athlet nur so gut sein wie sein Trainer. In der heutigen Zeit muss Letzterer nicht nur Fachmann für Trainings- und Wettkampffragen sein, vielmehr ist er als Psychologe, Pädagoge, Berater für Fragen des sportlichen Umfelds und Architekt der Leistungssportkultur gleichermaßen gefragt. Prägend für die dringend erforderliche Verbesserung der Trainersituation in Deutschland sind die folgenden drei Bereiche, die in der ersten Sitzung der AG Traineroffensive am 16.2.2006 in Frankfurt im Haus des Deutschen Sports mit Vertretern des Bundesministerium des Innern (BMI), der Sportministerkonferenz (SMK) sowie der Trainerakademie Köln des DSB thematisiert wurden:

- Aufwertung und Wertschätzung des Trainerberufs: Im Mittelpunkt öffentlichen Interesses stehen vielfach nur die Athleten. Die für deren Persönlichkeits- und Leistungsentwicklung verantwortlichen Trainer finden in der Öffentlichkeit kaum Beachtung und fristen – von einigen Ausnahmesportarten und -disziplinen abgesehen – ein „Mauerblümchendasein“. Mit der öffentlichkeitswirksamen Verleihung eines Trainer-Preises soll der Stellenwert des Train-

erberufs und damit seine Vorbildfunktion für Nachwuchstrainer eine nachhaltige Stärkung erfahren. Im Rahmen des Bundestrainer-Großseminars vom 25. bis 27.9.2006 werden in einer Auftaktveranstaltung der Öffentlichkeit u.a. die Schirmherrschaft, die Jury sowie der Wahlmodus für den künftigen Trainerpreis präsentiert. Im nächsten Jahr ist die erste Ehrung und Preisverleihung für den Trainer sowie den Nachwuchstrainer 2007 vorgesehen.

- Verbesserung der Traineraus- und -fortbildung: Vom aktuellen Know-how des Trainers wird die Leistungsentwicklung der durch ihn zu betreuenden Athleten maßgeblich mitbestimmt. In einer qualifizierten Aus- und Fortbildung liegt somit ein Schlüssel für sportliche Erfolge. Der Stellenwert der Traineraus- und -fortbildung in den Spitzenverbänden und die damit korrespondierenden Mittel im Rahmen der Jahresplanung der Spitzenverbände sind aber vielfach unzureichend und müssen dringend internationalen Standards angepasst werden. Eine wichtige Aufgabe kommt hierbei qualifizierten Lehrreferenten zu. Diese Position ist in den Spitzenverbänden – wenn überhaupt – in der Regel ehrenamtlich besetzt. In der hauptamtlichen Absicherung dieser Position liegen wichtige Reserven, die zu einem Qualitätsschub beitragen. Außerdem sind weitere Optimierungen sowie die Erweiterung des Fortbildungsangebots der Trainerakademie Köln des DSB – u. a. Bundestrainer-Kleinseminare – wünschenswert.

- Verbesserung der arbeitsrechtlichen und finanziellen Bedingungen: Hoher Erfolgsdruck, ausgeprägtes Misserfolgsrisiko und daraus resultierende

Unsicherheit des Arbeitsplatzes aufgrund der arbeitsrechtlichen Bedingungen kennzeichnen den Trainerberuf. Bei neuen Verträgen sind günstigere Vertragsregelungen mit entsprechenden Abfindungsklauseln anzustreben. Hinzu kommt eine häufig unzureichende Bezahlung. Die in der Öffentlichkeit gehandelten Millionengehälter ausgewählter Bundesligatrainer sind für das Gros der Bundestrainerinnen und -trainer in den Spitzenverbänden des DSB reine Utopie. Vielfach erreichen die Gehälter nicht einmal die im Leistungssportpersonal-Konzept empfohlenen Minimalsummen der Trainervergütung. Eine Anpassung der Trainergehälter ist folglich ebenso angezeigt wie die Bereitstellung von Leistungsprämien für herausragende sportliche Erfolge. Zielwettkampf im Leistungssport sind die Olympischen Spiele. Mit abgestuften Erfolgsprämien für die Plätze 1 bis 6 sind vergleichbare Bedingungen zu Trainern aus anderen führenden Sportnationen zu realisieren.

Als Fazit muss konstatiert werden, dass die Umsetzung der skizzierten konkreten Forderungen für die Verbesserung der Trainersituation in Deutschland keinen weiteren Aufschub duldet. Die Wahrung der Chancengleichheit im internationalen Maßstab sowie die Verhinderung von weiteren Abwanderungen erfolgreicher Trainer ins Ausland ist nicht zum Nulltarif zu haben. In der nächsten Sitzung des Bundesvorstands Leistungssport am 27. und 28. März 2006 werden die Zwischenergebnisse der AG vorgestellt. Es werden erste Beschlüsse erwartet, um der Offensive den weiteren notwendigen Rückenwind zu verleihen.

**Helmut Nickel**

Michael Fröhlich/Jürgen Gießing

# Nachermüdung als trainingsmethodische Alternative im Krafttraining

## Literatur

Augustsson, J., Thomeé, R., Hörnstedt, P., Lindblom, J., Karlsson, J. & Grimby, G. (2003). Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (2), 411-416.

Baechle, T., Earle, R. & Wathan, D. (2000). Resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (pp. 395-425). Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Boeckh-Behrens, W.-U. & Buskies, W. (2000). *Fitness-Krafttraining. Die besten Übungen und Methoden für Sport und Gesundheit*. Reinbek: Rowohlt.

Bührle, M. & Werner, E. (1984). Das Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. *Leistungssport*, 14 (3), 5-9.

Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J. & Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 50-60.

Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (1997). *Designing resistance training programs*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Fröhlich, M. (2003). *Kraftausdauertraining. Eine empirische Studie zur Methodik*. Göttingen: Cuvillier Verlag.

Fröhlich, M. (2006). *Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung*. Sportwissenschaft (in Druck).

Fröhlich, M., Klein, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2001). Arbeit als Bruttokriterium der Belastung im Kraftausdauertraining. *Leistungssport*, 31 (2), 24-28.

Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2002). Belastungssteuerung im Muskelaufbautraining – Belastungsnormativ Intensität versus Wiederholungszahl. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (3), 79-83.

Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34 (10), 663-679.

Gießing, J. (2005a). Intensive Nachermüdung als Maßnahme zur Optimierung der Ausbelastungsintensität beim Muskelaufbautraining. *Leistungssport*, 35 (2), 11-14.

Gießing, J. (2005b). The concept of the hypothetical maximum (h1-RM) as a safe alternative to maximum single repetitions. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (eds.), *Current*

*results of strength training research, first edition* (pp. 24-34). Göttingen: Cuvillier Verlag.

Gießing, J., Preuss, P. & Fröhlich, M. (2005). High-intensity post-exhaustion for maximizing training intensity in muscle hypertrophy training. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (eds.), *Current results of strength training research, first edition* (pp. 80-88). Göttingen: Cuvillier Verlag.

Gießing, J., Preuss, P., Greiwing, A., Goebel, S., Müller, A., Schischek, A. & Stephan, A. (2005). Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training for muscle hypertrophy. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (eds.), *Current results of strength training research, first edition* (pp. 9-23). Göttingen: Cuvillier Verlag.

Hemmling, G. (1994). *Anpassungen des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode*. Köln: Sport und Buch Strauß.

Hultman, E. & Sjöholm, H. (1986). Biochemical causes of fatigue. In N. L. Jones, N. McCartney & A. J. McComas, *Human Muscle Power* (pp. 215-238). Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Klein, M., Fröhlich, M. & Gießing, J. (2005). A theoretical concept for quantifying the effectiveness of muscle endurance training. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (eds.), *Current results of strength training research, first edition* (pp. 164-172). Göttingen: Cuvillier Verlag.

Kraemer, W. J. & Fry, A. C. (1995). Strength Testing: Development and Evaluation of Methodology. In P. J. Maud & C. Foster, *Physiological assessment of human fitness* (pp. 115-138). Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Lichtenegger, N. (2005). The relationship between myostatin function, strength gain and muscular hypertrophy. In J. Gießing, M. Fröhlich & P. Preuss (eds.), *Current results of strength training research, first edition* (pp. 195-205). Göttingen: Cuvillier Verlag.

Liu, Y. & Steinacker, J. M. (2002). Die Rolle von HSP im Skelettmuskel. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (12), 361-367.

MacDougall, D. J. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. In P. V. Komi, *Strength and Power in Sport* (pp. 230-238). Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Maynard, J. & Ebben, W. (2003). The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (3), 469-474.

Oschütz, H. (1994). Zirkadianrhythmische Aspekte muskulärer Beanspruchung und wiederherstellungsfördernder Maßnahmen. In L. Zichner, M. Engelhardt & J. Freiwald, *Die Muskulatur. Sensibles, integratives und meßbares Organ* (pp. 173-180). Wehr: Ciba-Geigy Verlag.

Steinacker, J., Wang, L., Lormes, W., Reißnecker, S. & Liu, Y. (2002). Strukturanpassung des Skelettmuskels auf Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (12), 354-360.

Stone, M. & O'Bryen, H. (1987). *Weight Training: A scientific approach*. Minneapolis, MN: Bellwether Press.

Tesch, P. A. (1998). Strength training and muscle hypertrophy. In K. Häkkinen (ed.), *International conference on weightlifting and strength training* (pp. 17-22). Lathi: Gumnerus Printing.

Viru, A. (1996). Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 6, 2-14.

\*

## Die Autoren

Dr. Michael FRÖHLICH, Laufbahnberater am Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportsoziologie Prof. Dr. Eike Emrich am Sportwissenschaftlichen Institut des Saarlandes. Studium Sportwissenschaft, Kontaktstudium Systemische Beratung – Case Management Fachhochschule Heidelberg. Promotion an der Goethe-Universität Frankfurt.

*Anschrift: Universität des Saarlandes, Sportwissenschaftliches Institut, Universität Campus Gebäude B81-B83, 66041 Saarbrücken*  
*E-Mail: m.froehlich@olympiastuetzpunkt.org*

Dr. Dr. Jürgen GIESSING, Studienrat im Hochschuldienst an der Universität Marburg, Studium der Fächer Sport, Anglistik und Erziehungswissenschaft an der Universität Marburg und der Thames Valley University in London. Promotion in Erziehungswissenschaft an der Universität Marburg, Promotion in Sportwissenschaft an der Universität Tübingen.

*Anschrift: Philipps-Universität Marburg, Wilhelm-Röpke-Straße 6B, 35032 Marburg*  
*E-Mail: giessing@staff.uni-marburg.de*



## Beitrag X

Fröhlich, M., Gießing, J., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining – ein explorativer Methodenvergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 25-30.



Fröhlich M<sup>1,4</sup>, Gießing J<sup>2</sup>, Schmidbleicher 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 Vorerrmüdung 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 Vorerrmüdung 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, Satellitenzellenaktivie-

### 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 Vorermüdung als hochintensive Ausbelastungsstrategie im Sinne eines Konstrukts zur Beschreibung möglicher Anpassungseffekte auf Krafttrainingsreize.

### Definitorische Präzisierung und erste empirische Verwertungshinweise

#### Super- und Verbundsätze

Baechle, 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 Vorermüdung

Die Intensitätstechnik Vorermüdung (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 Vorermüdung als Intensitätstechnik

Durch die Kombination von Verbundsatz und zusätzlicher Vorermüdung 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 Vorermüdung 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 Vorermüdung 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 Vorermüdung 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 neuro-naler Ebene nahezu ausgeschlossen werden (19).

#### Untersuchungstreatment

Die Probanden wurden zum ersten Untersuchungstermin je zur Hälfte der Vor- bzw. Nachermüdungsgruppe zuge-  
lost. 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:

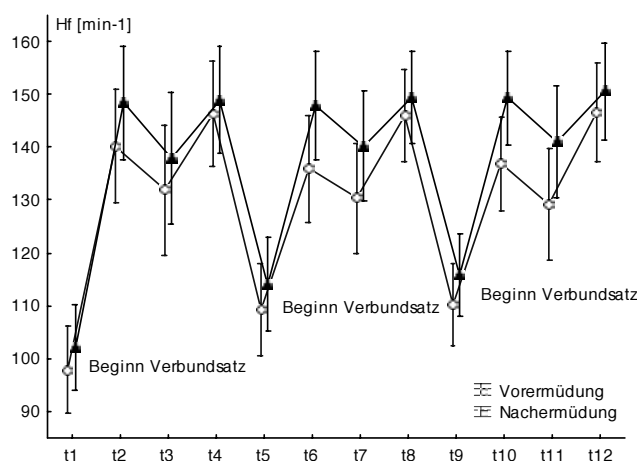


Abbildung 1: Herzfrequenzverhalten innerhalb der 3 Verbundsätze bei den Übungen Bankdrücken und Butterfly in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung (t1 - t4 = 1. Verbundsatz, t5 - t8 = 2. Verbundsatz, t9 - t12 = 3. Verbundsatz) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

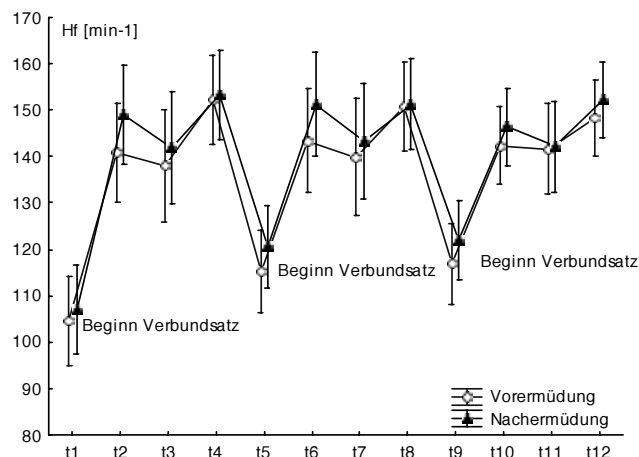


Abbildung 2: Herzfrequenzverhalten innerhalb der 3 Verbundsätze bei den Übungen Latissimusziehen und Überzüge in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung (t1 - t4 = 1. Verbundsatz, t5 - t8 = 2. Verbundsatz, t9 - t12 = 3. Verbundsatz) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

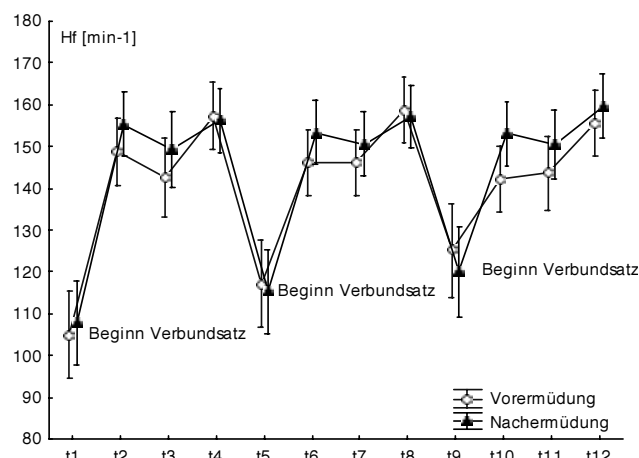


Abbildung 3: Herzfrequenzverhalten innerhalb der 3 Verbundsätze bei den Übungen Beinpressen und Beinstrecken in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden Vor- und Nachermüdung (t1 - t4 = 1. Verbundsatz, t5 - t8 = 2. Verbundsatz, t9 - t12 = 3. Verbundsatz) (vertikale Balken bedeuten 0,95 Konfidenzintervall)

- 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 Brustmuskulübungen ( $F=1,49$ ;  $df=1$ ;  $p=0,24$ ). 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 ( $130,1 \pm 14,9$  min<sup>-1</sup>) vs. Nachermüdung ( $137,2 \pm 13,6$  min<sup>-1</sup>).
- Rückenmuskulatur: Vorermüdung ( $136,2 \pm 16,6$  min<sup>-1</sup>) vs. Nachermüdung ( $140,1 \pm 13,9$  min<sup>-1</sup>).
- Beinmuskulatur: Vorermüdung ( $140,7 \pm 12,1$  min<sup>-1</sup>) vs. Nachermüdung ( $144,0 \pm 11,8$  min<sup>-1</sup>).

## 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) ( $F=0,66$ ;  $df=1$ ;  $p=0,42$ ), Haupt-



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-<br>ermüdung | Nach-<br>ermüdung | Vor-<br>ermüdung | Nach-<br>ermüdung | Vor-<br>ermüdung | Nach-<br>ermüdung |
| 1. VS | 1. Serie | 6,2 $\pm$ 1,2    | 6,2 $\pm$ 1,3     | 6,4 $\pm$ 1,4    | 6,3 $\pm$ 1,3     | 6,8 $\pm$ 1,4    | 6,8 $\pm$ 1,3     |
|       | 2. Serie | 7,7 $\pm$ 1,2    | 7,2 $\pm$ 1,1     | 7,9 $\pm$ 0,9    | 6,9 $\pm$ 0,9     | 7,8 $\pm$ 1,3    | 8,1 $\pm$ 0,9     |
| 2. VS | 3. Serie | 7,3 $\pm$ 1,1    | 7,5 $\pm$ 1,0     | 7,1 $\pm$ 1,4    | 7,1 $\pm$ 1,2     | 7,7 $\pm$ 0,7    | 7,8 $\pm$ 0,9     |
|       | 4. Serie | 8,2 $\pm$ 0,8    | 8,2 $\pm$ 0,9     | 8,3 $\pm$ 0,6    | 8,0 $\pm$ 0,7     | 8,8 $\pm$ 0,8    | 8,4 $\pm$ 0,9     |
| 3. VS | 5. Serie | 7,8 $\pm$ 1,1    | 7,9 $\pm$ 1,0     | 7,3 $\pm$ 1,6    | 7,3 $\pm$ 1,3     | 8,0 $\pm$ 0,9    | 8,3 $\pm$ 1,0     |
|       | 6. Serie | 8,7 $\pm$ 0,7    | 8,3 $\pm$ 1,3     | 8,4 $\pm$ 0,9    | 7,9 $\pm$ 1,2     | 9,3 $\pm$ 0,5    | 9,2 $\pm$ 0,6     |

- 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).

## 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 Verstoffwechselung 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

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 höch-

sten Herzfrequenzwerte erzielt werden, deckt sich mit den Studien von Fleck und Dean sowie Fleck und Kraemer (7, 8).

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.

## 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 neu entwickelte Trainingsmethode. *Sport und Buch Strauß*, Köln, 1994.
18. Hultman E, Sjöholm H: Biochemical causes of fatigue, in: Jones NL, McCartney 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'Bryen 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

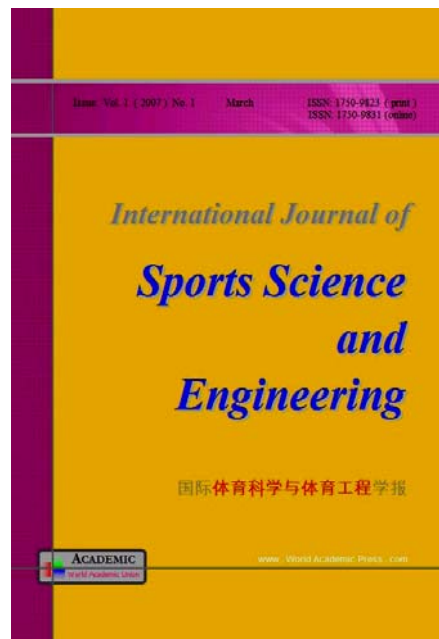
Universität Campus Gebäude B8.1

66123 Saarbrücken

e-Mail: m.froehlich@mx.uni-saarland.de

## Beitrag XI

Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E., & Gießing, J. (2008). Consequences of the three disciplines on the overall result in olympic-distance triathlon. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2 (4), 204-210.





# Consequences of the Three Disciplines on the Overall Result in Olympic-distance Triathlon

Michael Fröhlich<sup>1, +</sup>, Markus Klein<sup>1</sup>, Andrea Pieter<sup>2</sup>, Eike Emrich<sup>1</sup>, Jürgen Gießing<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Sports Sciences, University of Saarland, 66123 Saarbrücken, Germany

<sup>2</sup> DHPG University of Applied Sciences, 66123 Saarbrücken, Germany

<sup>3</sup> Institute of Sport Science, University Koblenz-Landau, 76829 Landau, Germany

*(Received October 08, 2008, accepted November 14, 2008)*

**Abstract.** Olympic-distance triathlon (OD) is a multidisciplinary sport that comprises three different disciplines which are conducted in succession. Overall triathlon time consists of the three disciplines and the two transition times between the three disciplines. In order to achieve the fastest overall time possible, the times needed for each discipline have to be minimized. The aim of the study was to determine the effects of the three disciplines on the overall result in the OD. Methods: Overall times and rankings as well as rankings and times for each of the three disciplines (swimming, cycling, and running) of all elite athletes (participations of the world championship) who competed in the men's Olympic-distance triathlon world championships between 2004 and 2007 were analyzed. The sample consisted of 318 athletes, ten of which competed in all of the world championships from 2004 to 2007. Results: The highest correlations (pearson coefficient) between the times of the individual disciplines and the overall time can be found for the run. The correlations were even higher for the 20 best-placed athletes. An athlete's placing after the swim or the cycle has little prognostic relevance for his final placing. Statistical clearing of variance shows the greatest effect for the run. Conclusions: The swim and the cycle act as so-called feeders for the run and have to lay the foundations for the run, which decides over winning or losing more than the other two disciplines. Judging from an efficiency-oriented perspective, triathletes should emphasize training the run rather than emphasising the swim or the cycle.

**Key Words:** prognostic relevance, success, economic considerations, drafting, competition.

## 1. Introduction

The Olympic-distance triathlon (OD) consists of a 1.5-km swim, a 40-km cycle, and a 10-km run. The overall result of a triathlon race consists of the sum of the times needed for each discipline, the transition between the swim and the cycle and the transition between the cycle and the run. Successful male athletes at elite international level need between 01:45 and 02:00 hours for the overall distance. Overall times differ depending on the distance profile, geographic, and climatic factors, as well as on specific tactical and technical elements. In order to be on an elite international level the following split times are necessary: 17:00 to 19:00 minutes for the swim, 50:00 to 55:00 minutes for the cycle and 30:00 to 32:00 minutes for the run. When looking at how total competition times break down into the times needed for each of the three disciplines, it can be stated that elite triathletes spend circa 15% of their total competition time in the water, circa 55% on the bicycle and the run accounts for circa 29% of total competition time (Landers et al., 2008). Both transitions together account less than 1% of total competition time (Millet et al., 2000). The same tendency can be found when analyzing how much time elite triathletes spend on training the three different disciplines (Millet et al., 2002). On average they swim 1,000 to 1,250 km (7% of total training distance), cycle 10,000 to 13,500 km (72% of total training distance), and run 2,800 to 4,000 km (21% of total training distance).

In order to be competitive on an elite level in Olympic triathlon, the times required for each of the three disciplines have to be reduced to the greatest extent possible. The ideal triathlete would, therefore, be a person who swims faster, cycles faster and runs faster than all of his or her competitors and needs less time

---

<sup>+</sup> Corresponding author. Dr. Michael Fröhlich, Institute of Sports Sciences, University of Saarland, Campus Building B8 1, 66123 Saarbrücken, Germany. E-mail address: m.froehlich@mx.uni-saarland.de

for the transitions. However, such an athlete can hardly be found since every athlete has got his or her individual strengths and weaknesses, but most of the athletes are competitive on an international level in each individual discipline.

In Olympic-distance triathlons, drafting in the water and on the bicycle is allowed, whereas drafting is not allowed in ironman-distance triathlons. Triathletes who draft behind other competitors will be disqualified in these competitions (Millet et al., 2004). Drafting is mainly used in sport physiology and biomechanics to describe the tactic of performing a mode of activity in a sheltered position (Brisswalter et al., 2008).

Since the so-called drafting rule was introduced in Olympic-distance triathlons in 1995, cycling performance was reduced (yet cycling is extremely important and challenging from a tactical and technical perspective) and by drafting athletes can substantially reduce their energy expenditure during the cycle (Brisswalter et al., 2008; Chatard et al., 2003; Millet et al., 2004). In order to correct this devaluation of the cycle, the organizers of Olympic-distance triathlons recently often opt for challenging cycle routes.

Studies have shown that by drafting during the swim, water resistance can be reduced by up to 20% for the athlete who swims behind a competitor (Chatard et al., 2003). In cycling energy expenditure can even be reduced by up to 30% for the same speed. This means that triathletes who take advantage of drafting may benefit tremendously and may gain a decisive advantage over their competitors (Brisswalter et al., 2008; Hausswirth et al., 1999; Millet et al., 2000; Vleck et al., 2006). Bentley et al. (2002) emphasize that reduced energy expenditure brought about by drafting is associated with a considerably better running performance. Millet und Vleck (2000) further point out: "Steady state cycling in a sheltered position during the entire cycle of a triathlon led to a considerable reduction in the required energy expenditure at a given speed, and created the conditions for decreased physiological stress at the onset of the triathlon run." Hausswirth et al. (1999) found significantly reduced heart rates during the cycle, as well as reduced oxygen consumption and reduced lactate levels in athletes who competed in competitions in which drafting was allowed in contrast to those in which drafting was not allowed.

Peeling et al. (2005) showed that reducing intensity during the swim to 90-95% or even 80-85% of maximal intensity has a significant influence on the overall time. Especially cycling performance seems to benefit enormously from sub-maximal swimming intensity: The study by Peeling et al. (2005) shows that the swimming intensity during a sprint distance triathlon does affect the subsequent cycle and overall triathlon performance. Landers et al. (2008) showed that swimming position had a significant influence on triathlon outcome.

This explains why it is not only the endurance capacity of an athlete which decides whether or not he or she is successful. Drafting as a tactic also plays an important role as pointed out by Vleck et al. (2006): "In elite Olympic-distance triathlon, the athletes are allowed to draft during the swimming and cycle stages. This tactic results in a considerable energy saving when compared to exercise in 'isolation'. The athletes who draft may therefore attain a better position in the field than would normally be in line with his or her individual physiological capacity. For this reason, many athletes attempt to position themselves behind athletes of the same or slightly better ability." Whereas Vleck et al. (2006) showed that for 24 male triathletes the performance in the swim and the run had a more significant influence on overall performance than the cycle, this article focuses on the following questions:

- To which extent can a general pattern of the interrelation of cycle, swim, and run performance on overall performance be observed?
- Are there differences between certain levels of performance (e.g. all finishers vs. the 20 fastest)?
- Is it possible to identify the decisive discipline via multiple stepwise linear regressions?

The following observations concentrate on the empirical basis of the recent development in Olympic-distance triathlon and individual consequences for potentially successful strategies for athletes are discussed.

## 2. Methods

In order to assess the relative significance of the three disciplines for overall success in Olympic-distance triathlon on an elite level, individual discipline times and overall placings of the competitors in the world championships (WC) from 2003 to 2007 (elite men) were analyzed. Data analysis was based on the list of results published by the International Triathlon Union ITU (<http://www.triathlon.org>). Transition times were not listed explicitly in each year. The first transition time was added to swim time and the second transition time was added to the cycle time. The distances of three disciplines can differentiate with different

competitions. Besides the distance profiles as well as the geographic profiles can differ (level bicycle, and run distance in Hamburg vs. hilly bicycle distance in Lausanne). The discipline times and rank places were covered to the single competitions. The data of 318 athletes could be analyzed (Queenstown ITU WC 2003  $n = 57$ ; Madeira ITU WC 2004  $n = 72$ ; Gamagori ITU WC 2005  $n = 55$ ; Lausanne ITU WC 2006  $n = 68$ ; Hamburg BG WC 2007  $n = 66$ ). The actual number of competitors in these world championships exceeded this number but due to drop outs, disqualifications and missing data the sample size was reduced to the data of 318 athletes. The data analyzed consisted of overall the athletes' overall placings as well as overall times and times for each one of the three disciplines and transition times. Ten athletes competed in every world championships from 2003 to 2007. Description of the results refers to all finishers (all) as well as the top 20 finishers ( $\leq 20$ ).

### 3. Statistical Analysis

Statistical analysis included descriptive reference parameters (mean, standard deviation, minimum, maximum) as well as calculations of correlation and multiple stepwise linear regression. Precondition tests were carried out using the usual methods (e.g. K-S-Test for Gaussian distribution). In order to compare the different disciplines, discipline times were z-transformed. Levels of significance were defined as  $P < 0.05$ . All calculations were carried out using the statistical program SPSS 14.0.

### 4. Results

The mean times for all disciplines in the world championships 2003 to 2007 are shown in Table 1. Transition times had to be included into the swim and cycle times respectively since they were not listed separately. So the times for the swim include the first transition, and the times for the cycle include the second transition.

Table 1: Times of the individual disciplines of the finishers in the world championships 2003 to 2007

| WC         | N  | Minimum | Maximum | Mean    | SD      |
|------------|----|---------|---------|---------|---------|
| swim 2003  | 57 | 0:17:39 | 0:19:42 | 0:18:05 | 0:00:21 |
| cycle 2003 | 57 | 1:02:12 | 1:10:34 | 1:05:21 | 0:01:35 |
| run 2003   | 57 | 0:32:08 | 0:40:44 | 0:35:26 | 0:01:48 |
| total 2003 | 57 | 1:54:14 | 2:08:36 | 1:58:52 | 0:03:06 |
| swim 2004  | 72 | 0:18:55 | 0:20:31 | 0:19:37 | 0:00:21 |
| cycle 2004 | 72 | 0:51:27 | 0:55:32 | 0:52:56 | 0:01:09 |
| run 2004   | 72 | 0:29:54 | 0:39:40 | 0:32:34 | 0:01:50 |
| total 2004 | 72 | 1:41:05 | 1:51:02 | 1:45:08 | 0:02:36 |
| swim 2005  | 55 | 0:18:45 | 0:19:57 | 0:19:09 | 0:00:16 |
| cycle 2005 | 55 | 0:58:09 | 1:02:27 | 0:59:04 | 0:00:44 |
| run 2005   | 55 | 0:31:35 | 0:40:35 | 0:34:24 | 0:02:01 |
| total 2005 | 55 | 1:49:32 | 2:00:39 | 1:52:37 | 0:02:23 |
| swim 2006  | 68 | 0:18:01 | 0:19:35 | 0:18:42 | 0:00:24 |
| cycle 2006 | 68 | 1:01:50 | 1:12:11 | 1:04:48 | 0:02:13 |
| run 2006   | 68 | 0:30:47 | 0:38:18 | 0:33:31 | 0:01:38 |
| total 2006 | 68 | 1:51:34 | 2:07:26 | 1:57:01 | 0:03:32 |
| swim 2007  | 66 | 0:17:42 | 0:18:46 | 0:18:20 | 0:00:14 |
| cycle 2007 | 66 | 0:54:59 | 0:58:25 | 0:55:59 | 0:01:11 |
| run 2007   | 66 | 0:29:42 | 0:38:00 | 0:32:19 | 0:01:36 |
| total 2007 | 66 | 1:43:18 | 1:54:46 | 1:46:38 | 0:02:23 |

Since total time consists of the addition of the three discipline times and the two transitions the variable total time (100%) could be determined by multiple stepwise linear regressions. Table 2 shows the regression coefficient of the predictor variable as well as the R-square for all finishers. In 2003, 2004, 2005, and 2007 the run was the predictor variable with the highest value. Variance clarification is between 71.8% and 90.5%. In 2006, the cycle had the highest variance clarification (82.4%). Potential correlations between the individual discipline times and overall times were analyzed and are shown in Table 3. The highest correlation found between overall time and running time. Between swimming time and overall time the correlation was lower, and partly negative.

Table 2: Regression coefficients of the multiple stepwise linear regressions (R) as well as  $R^2$  of the individual discipline times in the world championships (WC) 2003 to 2007 for all finishers

|       | WC 2003           |       | WC 2004           |       | WC 2005           |       | WC 2006           |       | WC 2007           |       |
|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| model | R                 | $R^2$ | R                 | $R^2$ | R                 | $R^2$ | R                 | $R^2$ | R                 | $R^2$ |
| 1     | .860 <sup>a</sup> | .740  | .863 <sup>a</sup> | .746  | .951 <sup>a</sup> | .905  | .908 <sup>d</sup> | .824  | .848 <sup>a</sup> | .718  |
| 2     | .995 <sup>b</sup> | .990  | .994 <sup>b</sup> | .987  | .994 <sup>b</sup> | .987  | .995 <sup>e</sup> | .989  | .996 <sup>b</sup> | .992  |
| 3     | 1.00 <sup>c</sup> | 1.00  | 1.00 <sup>c</sup> | 1.00  | 1.00 <sup>c</sup> | 1.00  | 1.00 <sup>f</sup> | 1.00  | 1.00 <sup>c</sup> | 1.00  |

a = run; b = run, and cycle; c = run, cycle, and swim; d = cycle; e = cycle, and run; f = cycle, run, and, swim

Table 3: Coefficients of correlations for the swim, cycle, run and total time for all finishers as well as for the top 20 finishers in the world championships 2003 to 2007

|       | WC 2003 |        | WC 2004 |        | WC 2005 |        | WC 2006 |        | WC 2007 |        |
|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| time  | all     | < 20   | all     | < 20   | all     | < 20   | all     | < 20   | all     | < 20   |
| swim  | .565**  | -.055  | .414**  | -.152  | .031    | .147   | .515**  | .337   | .508**  | .421   |
| cycle | .842**  | .573** | .760**  | .189   | .627**  | .051   | .908**  | .214   | .755**  | -.227  |
| run   | .860**  | .637** | .863**  | .994** | .951**  | .980** | .803**  | .618** | .848**  | .993** |

\*\* significant  $P < 0.01$  (two-tailed)

Figure 1 shows the times for each discipline and the corresponding z-data as well as overall times of the best 20 athletes who participated in the 2007 world championships in Lausanne. Since this is the data of the 20 best finishers, z-data is negative. The larger the difference to zero, the better the performance is in that discipline and in overall placing respectively.

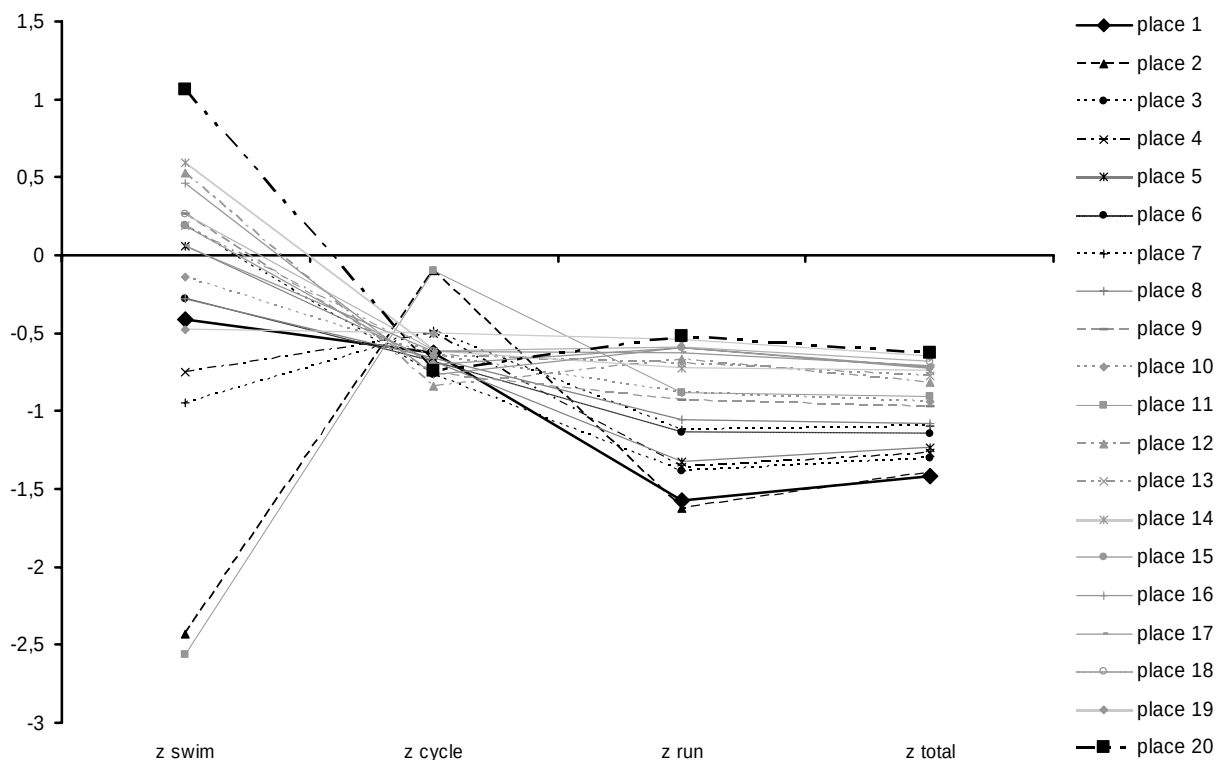


Figure 4: Z-values of the three disciplines and the total rank for the best 20 athletes

## 5. Discussion

The correlation coefficient and the multiple stepwise linear regressions show that running performance is highly associated with overall time and overall placing in Olympic-distance triathlon (Dengel et al., 1989). Applying the same statistical method (multiple stepwise regression analysis) Schabort et al. (2000) found a highly significant ( $r = 0.90$ ;  $P < 0.001$ ) relationship between predicted race time from laboratory measures and actual race time. Sleivert and Wenger (1993) pointed out that the only significant predictor of overall triathlon time for male athletes was running time ventilatory threshold (VT) ( $r = -0.78$ ). This means that an

above-average running performance is essential for placing well in Olympic-distance triathlon. These results support what Vleck et al. (2006) found in their study: "The faster runners in the pool of athletes recruited for this study were eventually the better athletes overall in the race [...] this indicates the importance of running in an elite Olympic-distance triathlon." It is economically rational for triathletes who are better runners than their competitors to limit their energy expenditure during the swim and cycle to the lowest extend possible (Dengel et al., 1989; Sleivert et al., 1996). Empirical data also shows that swimming performance has a selective relevance in terms of getting in a good position for the cycle (Peeling et al., 2005). In addition, the first 400 meters in swimming are very important for the further performance in triathlon, especially during a world cup event. Vleck et al. (2006) found a significant correlation between the overall finishing position and the position after the swim ( $r = 0.44$ ;  $P < 0.05$ ). Moreover, the way of drafting in the cycling had a major influence on running performance (Hauswirth et al., 1999; Hauswirth et al., 2001).

The data at hand is in agreement with the findings of Millet and Bentley (2004): They found correlations between overall triathlon performance and individual times of the three disciplines, and confirm that cycling and running are more important for overall SD triathlon performance than swimming. However, the strength of the correlation was lower with swimming than with cycling or running. Nevertheless, the swimming stage of an SD triathlon is probably more important mainly for tactical reasons in the subsequent draft legal cycle stage.

Similar conclusions are drawn by Bentley et al. (2002) who studied the correlation between physiological parameters during the three disciplines. Training the swim resulted in specific adaptations which lead to improvements in the swim but did not improve cycling or running performance. Millet et al. (2002) recommend a combination of cycling and running training in order to improve running performance. If physiological parameters like  $VO_{2peak}$  and ventilatory threshold (VT) are not available, running time can be used to predict overall competitive success in Olympic-distance triathlon (De Vito et al., 1995).

Triathletes who are above-average cyclists must try to finish the cycle ahead of those competitors who are better runners if they want to keep a chance to place well. In contrast to that, Vercruyssen et al. (2005) showed that choosing a low cadence during the final minutes of the cycle improves subsequent running time to fatigue. Furthermore, Tew (2005) found that a slow cadence condition was associated with a significantly lower heart rate and ventilation during cycling than in the faster cadence condition. At this point a general recommendation cannot be given as to which strategy is the better one. This decision has to be made based on the athlete's individual condition.

Generally speaking, it has to be stated that those triathletes who are able to reach average times in two of the three disciplines and above average times in one discipline, have better chances of placing well in Olympic-distance triathlon competitions if running is their outstanding discipline. In order to place well in Olympic-distance triathlons at an elite level (world championships) running times of about 30:00 minutes are necessary (cf. Table 1, as well as <http://www.triathlon.org>). The results at hand show that drafting does have a significant influence on the overall finishing times and placings of elite triathletes in Olympic-distance competitions (Hauswirth et al., 1999; Hauswirth et al., 2001). Swim and cycle performance, respectively, are important in order to get into a good position for the following discipline and to avoid being so much behind the competitors before the run that the lost time cannot be made up for during the run. However, energy expenditure during the swim and the cycle should be kept as low as possible since it could be shown that running performance is of outstanding relevance for the overall success in Olympic-distance triathlon (Brisswalter et al., 2008). Drafting during the swim and the cycle must be considered an important tactical action that enables the athlete to swim and cycle at sub maximal intensity which reduces this athlete's energy expenditure during these two disciplines, saves energy for the run and can therefore decide the outcome of a competition (Brisswalter et al., 2008; Peeling et al., 2005). Furthermore studies on pedalling cadence in cycling showed that it had an influence on the running stage (Bernard et al., 2003; Tew, 2005; Vercruyssen et al., 2005).

## 6. Practical application and limitation of the study

Several recommendations can be derived from these findings: First of all it has to be pointed out that running performance is a more important criterion for overall success in Olympic-distance triathlon than swimming or cycling performance. This means that individual weaknesses in swimming or cycling performance can be compensated by an above average running performance. When planning and evaluating training programs for Olympic-distance triathlon an emphasis should be put on training the run. Competition times of  $\leq 29:30$  minutes or at least  $\leq 30:00$  minutes for the run must be accomplished in order to win or

place among the top finishers, most of whom run the first as well as the final 1,000-m of the run in less than 2:50 minutes respectively (personal communication, National Head Coach of the German Triathlon Union). Sprint training should also be practised since often a competition is so close that there is a sprint at the final meters of the run. Moreover, tactical behaviour within a team should be considered and also practised.

Athletes whose running performance is not adequate to compete successfully in Olympic-distance triathlon should consider to compete in the longer distances (middle to Ironman distances) since swimming and cycling are relatively more decisive in the longer distances than they are in Olympic-distance triathlon (Abbiss et al., 2006). Each athlete has to have his training program individually planned and evaluated in order to find the optimal cost-benefit ratio of training input for each discipline that results in an optimal overall output.

The importance of running performance in Olympic-distance triathlon should also be considered in talent scouting. Young athletes who run the 5,000-m or 10,000-m in track and field successfully but whose potential might not be sufficient for being successful on an elite international level, may still be able to excel in Olympic-distance triathlon and should therefore be convinced to switch from track and field to Olympic-distance triathlon.

Another aspect that should be considered within a team is how weaker runners could act strategically during the run in order to improve their team-mates' chances of winning. The performance of a triathlon team does also depend on how effectively the coaches' orders during the competition can be implemented by the athletes (e.g. good cyclists close a gap for the best runner etc).

Considering economic aspects it must be concluded that the common training programs for Olympic-distance triathlon should be reconsidered and thought over. Limitations of this study are the lack of precise information about the courses (details of the profile) and that transition times were not listed explicitly for all competitions. Another limitation is that there is no data available concerning the athletes' training strategies and personal records for each of the respective disciplines.

## 7. References

- [1] G.J. Landers, B.A. Blanksby, T.R. Ackland, R. Monson. Swim positioning and its influence on triathlon outcome. *International Journal of Exercise Science*. 2008, **1**(3): 96-105.
- [2] G.P. Millet, V.E. Vleck. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British Journal of Sports Medicine*. 2000, **34**: 384-390.
- [3] G.P. Millet, R.B. Candau, B. Barbier, T. Busso, J.D. Rouillon, J.C. Chatard. Modelling the transfer of training effects on performance in elite triathletes. *International Journal of Sports Medicine*. 2002, **23**: 55-63.
- [4] G.P. Millet, D.J. Bentley. The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *International Journal of Sports Medicine*. 2004, **25**: 191-197.
- [5] J. Brisswalter, C. Hausswirth. Consequences of drafting on human locomotion: benefits on sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2008, **3**(1): 3-15.
- [6] J.C. Chatard, B. Wilson. Drafting distance in swimming. *Medicine and Science and Sports and Exercise*. 2003, **35**(7): 1176-1181.
- [7] C. Hausswirth, D. Lehénaff, P. Dréano, K. Savonen. Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Medicine and Science and Sports and Exercise*. 1999, **31**(4): 599-604.
- [8] V.E. Vleck, A. Brügi, D.J. Bentley. The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite Olympic distance triathlon. *International Journal of Sports Medicine*. 2006, **27**: 43-48.
- [9] D.J. Bentley, G.P. Millet, V.E. Vleck, L.R. McNaughton. Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. *Sports Medicine*. 2002, **32**(6): 345-359.
- [10] P.D. Peeling, D.J. Bishop, G.J. Landers. Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. *British Journal of Sports Medicine*. 2005, **39**: 960-964.
- [11] D.R. Dengel, M.G. Flynn, D.L. Costill, J.P. Kirwan. Determinants of success during triathlon competition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1989, **60**: 234-238.
- [12] E.J. Schabort, S.C. Killian, A.S.T. Gibson, J.A. Hawley, T.D. Noakes. Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Medicine and Science and Sports and Exercise*. 2000, **32**(4): 844-849.
- [13] G.G. Sleivert, H.A. Wenger. Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Medicine and Science and Sports and Exercise*. 1993, **25**: 871-876.

- [14] G.G. Sleivert, D.S. Rowlands. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine*. 1996, **22**(1): 8-18.
- [15] C. Hausswirth, J.M. Vallier, D. Lehénaff, J. Brisswalter, D. Smith, G. Millet, P. Dréano. Effect of two drafting modalities in cycling on running performance. *Medicine and Science and Sports and Exercise*. 2001, **33**(3): 485-492.
- [16] G. De Vito, M. Bernardi, E. Sproviero, F. Figura. Decrease of endurance performance during Olympic triathlon. *International Journal of Sports Medicine*. 1995, **16**(1): 24-28.
- [17] F. Vercruyssen, R. Suriano, D. Bishop, C. Hausswirth, J. Brisswalter. Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subsequent running time to fatigue. *British Journal of Sports Medicine*. 2005, **39**: 267-272.
- [18] G.A. Tew. The effect of cycling cadence on subsequent 10km running performance in well-trained triathletes. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2005, (4): 342-353.
- [19] T. Bernard, F. Vercruyssen, F. Grego, C. Hausswirth, R. Lepers, J.M. Vallier, et al. Effect of the cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *British Journal of Sports Medicine*. 2003, **37**: 154-159.
- [20] C.R. Abbiss, M.J. Quod, D.T. Martin, K.J. Netto, K. Nosaka, H. Lee, et al. Dynamic pacing strategies during the cycle phase of an Ironman triathlon. *Medicine and Science and Sports and Exercise*. 2006, **38**(4): 726-734.

## Beitrag XII

Fröhlich, M., Klein, M., Pieter, A. & Emrich, E. (2008). Ökonomische Betrachtungen zur Wettkampfstruktur im olympischen Triathlon – ein explorativer Ansatz. *Leistungssport*, 38 (5), 42-46.





# Ökonomische Betrachtungen zur Wettkampfstruktur im olympischen Triathlon – ein explorativer Ansatz

In der olympischen Sportart Triathlon setzt sich das Endergebnis (Endzeit) additiv aus den Zeiten für die Disziplinen Schwimmen, Radfahren und Laufen sowie für die beiden Wechsel zusammen. Dabei gilt das Primat der Zeitminimierung in allen Disziplinen. Formallogisch gewinnt derjenige, welcher als Erster das Wasser verlässt, die schnellsten Wechsel realisiert, die Raddistanz in der kürzesten Zeit bewältigt und zum Schluss die schnellste Laufzeit erreicht. Somit müssen die Sportler unter Grenzertragsüberlegungen trainieren und im Wettkampf ökonomisch handeln, um den Grenzertrag aus Schwimmen, Radfahren und Laufen im individuellen Gesamtertrag möglichst optimal zu realisieren.

Durch die Einführung von neuen Regelwerken (z.B. Aufhebung der Windschattenregel beim Radfahren, Prämiensystem für Zwischentappen u.a.) wurde die Teilstruktur des Trainings und Wettkampfs dahingehend geändert, dass nicht der beste Generalist, sondern der beste Spezialist in der Summe gewinnt (mannschaftsdienliches Verhalten wird vermehrt gefordert). So sind die Disziplinen Schwimmen und Radfahren i.T. nur noch so genannte Voraussetzungs- oder Zubringerleistungen für die abschließende Lauflistung, der immer mehr eine siegentscheidende Funktion zukommt.

In diesem Beitrag werden unter Effizienzaspekten die Teilstrukturbedingungen des Wettkampfs im olympischen Triathlon aufgezeigt und diskutiert. Des Weiteren werden mögliche trainingspezifische Implikationen abgeleitet.

Eingegangen: 29.10.2007

## 1. Einleitung

Ein besonderer Reiz der Sportart Triathlon<sup>1</sup> liegt einerseits in der direkten Auseinandersetzung mit dem Gegner und andererseits in dem unmittelbaren Nacheinander der drei Ausdauersportarten Schwimmen, Radfahren und Laufen, in denen jeweils unterschiedliche Distanzen bewältigt werden müssen. Das Spektrum des Triathlons reicht hierbei von so genannten Einsteigerwettbewerben bzw. Jedermannrennen<sup>2</sup> bis hin zu den alljährlich auf Hawaii stattfindenden Ironman-Veranstaltungen, mit den Einzeldistanzen von 3,86 km Schwimmen (2,4 Meilen), 180,2 km Radfahren (112 Meilen) und anschließend Marathon, die unter anderem in den Medien auf ein breites Interesse stoßen. Während der Ironman-Wettbewerb auf eine fast 30-jährige Veranstaltungstradition zurückblicken kann (das erste Rennen über die Ironman-Distanz wurde am 18. Februar 1978 von Gordon Haller gewonnen), wurde der Olympische Kurzdistanz-Triathlon erst im Jahre 2000 in das Programm<sup>3</sup> aufgenommen (Millet, Bentley & Vleck, 2007). Bei der olympischen Kurzdistanz beträgt die offizielle Wettkampfstrecke 1,5 km Schwimmen, 40 km Radfahren und 10 km Laufen.

Das Bruttoendergebnis bei allen Wettbewerben setzt sich additiv als Summe der Einzelzeiten der jeweiligen Disziplinen und der beiden Wechsel zwischen Schwimmen und Radfahren sowie zwischen Radfahren und Laufen zusammen. Bei Elite-Männerwettbewerben auf internationalem Leistungsniveau resultiert hieraus eine durchschnittliche Bruttowettkampfdauer von ca. 01:45 Stunden bis 02:00 Stunden (vgl. Rietjens, 2002). In Sydney 2000 beispielsweise reichte die Spannweite der Gesamtwettkampfzeit von 1:48:24 (Platz 1) bis 2:00:23 (Platz 48). Bei der ersten Triathlonweltmeisterschaft in Deutschland (Hamburg 2007) erreichte Daniel Unger<sup>4</sup> als Bester in einer Gesamtzeit von 01:43:18 Stunden das Ziel.

Je nach Streckenprofil können sich die Endzeiten, insbesondere in der Disziplin Radfahren und dies u.a. in Abhängigkeit von äußeren geographischen und klimatischen Bedingungen, mitunter verlängern. Um internationale Spitzenplatzierungen erreichen zu können, sind in den Einzeldisziplinen Splittzeiten für das Schwimmen von 17:00 bis 19:00 Minuten, für das Radfahren von 50:00 bis 55:00 Minuten und für das Laufen von 30:00 bis 32:00 Minuten zu realisieren (vgl. Millet & Vleck, 2000, S. 385). In Teilen werden sogar Splitt- bzw. Rundenzeiten von unter 30:00 Minuten für 10.000 Meter nach den beiden anderen Disziplinen

realisiert. Javier Gomez, der schnellste Läufer bei der WM 2007, benötigte lediglich 29:42 Minuten (die ersten 11 Athleten der WM 2007 liefen zwischen 29:42 und 30:54 Minuten).

Betrachtet man das Verhältnis der einzelnen Disziplinen zur Gesamtwettkampfzeit, so bringt der Sportler durchschnittlich ca. 15 Prozent der Zeit<sup>5</sup> im Wasser, ca. 55 Prozent auf dem Rad und ca. 29 Prozent auf der Laufstrecke (die beiden Wechsel beanspruchen im Durchschnitt zusammen lediglich ca. 1 Prozent der Gesamtwettkampfzeit; vgl. Millet & Vleck, 2000, S. 385). Auch im Vergleich der aktuellen Trainingsumfänge international erfolgreicher Athletinnen und Athleten fällt die Dominanz der Disziplin Rad in Relation zu Schwimmen und Laufen auf. So werden ca. 1.000 bis 1.250 km im Wasser absolviert (ca. 7 Prozent der Gesamttrainingskilometer), 10.000 bis 13.500 km Rad gefahren (ca. 72 Prozent) und 2.800 bis 4000 km im Laufbereich bewältigt (21 Prozent).

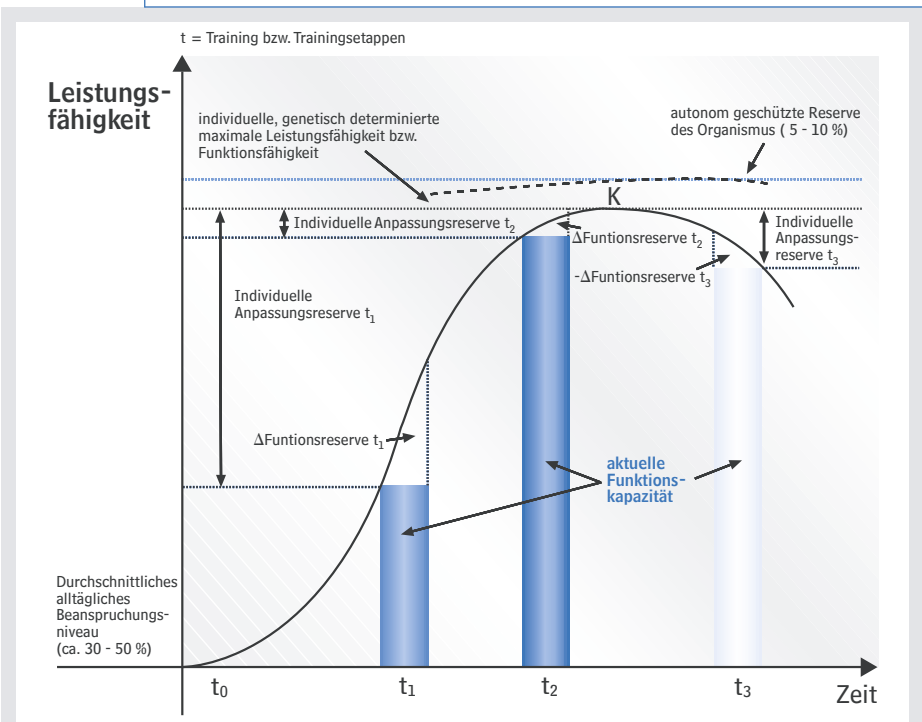
Um den Wettkampf erfolgreich abzuschließen, gilt insgesamt das Prinzip der Zeitenminimierung in allen drei Disziplinen. Formallogisch gewinnt somit derjenige, welcher als Erster das Wasser verlässt, die schnellsten Wechsel realisiert, die Raddistanz in der kürzesten Zeit bewältigt und zum Schluss die schnellste Laufzeit erzielt. In der Realität wird sich eine solche Person schwerlich finden lassen, vielmehr werden individuelle Stärken und Schwächen in den einzelnen Disziplinen über Sieg und Platzierung entscheiden (vgl. Pitsch, Emrich, Fröhlich & Flatau, 2006, für den leichtathletischen Zehnkampf). Millet und Vleck (2000, S. 384) konstatieren in diesem Zusammenhang: „The ability to link the three triathlon disciplines in an optimal manner is an important determinant of success“. Während bei den olympischen Wettbewerben sowohl beim Schwimmen als auch beim Radfahren im Wasser- bzw. Windschatten geschwommen oder gefahren werden darf, ist durch das Reglement bei so genannten Ironman- oder Langdistanzrennen ein Windschattenfahren explizit verboten und wird mit Disqualifikation geahndet (vgl. Millet & Bentley, 2004). Durch die Einführung der so genannten „Drafting-Regel“<sup>6</sup> im Olympischen Triathlon im Jahr 1995 wurde die absolute Wertigkeit des Radfahrens<sup>7</sup> verringert, was mit einem potenziellen Energiespareffekt in dieser Disziplin verbunden ist (vgl. Hausswirth, Lehénaff, Dréano & Savonen, 1999, S. 599). Untersuchungen zur Wirkungsweise des Wasser- bzw. Windschattens haben gezeigt, dass der Widerstand für den nachfolgenden Schwimmer um bis zu 20 Prozent geringer ausfallen kann (vgl. Chatard & Wilson, 2003; Costill, Maglischo & Richardson,

1992). Im Windschatten ist bei gleicher Fahr-  
geschwindigkeit die zu erbringende Leistung  
sogar um bis zu 30 Prozent geringer (vgl. Millet  
& Bentley, 2004). Gressmann (1993, S. 59) be-  
rechnete bei einem „Musterwindschattenfah-  
rer“, der mit 36 km/h in der Ebene fährt, eine  
um ca. 36 Prozent geringere Antriebsleistung,  
was, übertragen auf eine allein erbrachte Fahr-  
leistung ohne Windschattenfahren, einer Ge-  
schwindigkeit von 25 km/h entsprechen wür-  
de. Da bei Triathlonveranstaltungen mit Rund-  
streckenprofil Durchschnittsgeschwindigkeiten  
von über 40 km pro Stunde erzielt werden,  
scheint der tatsächliche Energiespareffekt<sup>8</sup> be-  
trächtlich.

So entstehen auf energetischer Seite für nach-  
folgende bzw. geschickt im Wasser- oder Wind-  
schatten taktierende Athletinnen und Athleten  
erhebliche Wettkampfvorteile, welche aus-  
schlaggebend für den weiteren Wettkampf sein  
können. Auf diesen Umstand haben bereits  
Bentley, Millet, Vleck und McNaughton (2002)  
hingewiesen, indem sie hervorhoben, dass die  
reduzierte Energieverausgabung bei Drafting-  
Rennen mit einer erhöhten Leistung im Laufen  
assoziiert ist. Millet und Vleck (2000, S. 385)  
betonen dabei weiter: „Steady state cycling in  
a sheltered position during the entire cycle of a  
triathlon led to a considerable reduction in the  
required energy expenditure at a given speed,  
and created the conditions for decreased phy-  
siological stress at the onset of the triathlon  
run“. Auf die energetischen Aspekte des Triath-  
lon bezogen, fanden Hausswirth, Lehénaff,  
Dréano und Savonen (1999) beim Radfahren  
signifikant geringere Herzfrequenzwerte, einen  
reduzierten Sauerstoffverbrauch sowie gerin-  
gere Laktatkonzentrationen bei Triathlonrennen  
mit Drafting-Modus im Gegensatz zu Triathlon-  
wettbewerben ohne Drafting-Modus. Peeling,  
Bishop und Landers (2002) konnten zeigen,  
dass Schwimmleistungen, die nur mit 80 bis 85  
bzw. 90 bis 95 Prozent der maximalen  
Schwimmleistung erbracht werden, einen signi-  
fikanten Einfluss auf die Gesamtwett-  
kampfleistungen haben. Speziell scheint bei  
submaximaler Schwimmleistung die an-  
schließende Radleistung positiv beeinflusst zu  
sein: „This study shows that the swimming in-  
tensity during a sprint distance triathlon does  
affect the subsequent cycle and overall triath-  
lon performance“ (Peeling, Bishop & Landers,  
2002, S. 963).

Somit erhält taktisches Verhalten in einer  
hochgradig ausdauerdeterminierten Sportart

ABB. 1 Grenzertragsbetrachtung



Grenzertragsbetrachtung im langfristigen Trainingsaufbau (modifiziert nach Fröhlich, Emrich, Büch & Gießing, 2008, S. 181)

einen über Sieg und Niederlage mitentschei-  
denden Stellenwert. Ähnliches kann bei Etap-  
penrennen im Radsport beobachtet werden  
(Lindner, 2005). Vleck, Brügi und Bentley  
(2006, S. 43) konstatieren hierzu: „In elite  
Olympic distance triathlon, the athletes are al-  
lowed to draft during the swimming and cycle  
stages. This tactic results in a considerable  
energy saving when compared to exercise in  
„isolation“. [...] The athletes who draft may  
therefore attain a better position in the field  
than would normally be in line with his or her  
individual physiological capacity. For this rea-  
son, many athletes attempt to position them-  
selves behind athletes of the same or slightly  
better ability“.

Aufgrund dieser strukturellen Entwicklungen in  
den Teilkomponenten der Sportart Olympischer  
Triathlon versucht der folgende Beitrag, einer-  
seits die in der Praxis hinlänglichen Tatbestän-  
de empirisch aufzuzeigen und andererseits un-  
ter einer individuell rationalen Perspektive zu

beleuchten. Des Weiteren sollen mögliche Im-  
plikationen für das Individuum sowie den na-  
tionalen Verband aufgezeigt werden.

## 2. Theoretischer Zugang

Im Leistungs- und Spitzensport kommt der  
Trainingsplanung, -steuerung und inhaltlichen  
Ausdifferenzierung eine herausragende Rolle  
zu (vgl. Fröhlich, 2006). Zunehmend muss das  
Ergebnis dieser Trainingsplanung und -steue-  
rung Effektivität<sup>9</sup> nachweisen. Dies bedeutet,  
der Grad der Zielerreichung wird immanent.  
Zunehmend wird jedoch auch die Effizienz des  
Trainingshandels entscheidend, d.h. das Ver-  
hältnis zwischen Investition(en) und entstan-  
denen Kosten, so genannte Kosten-Nutzen-Re-  
lationen oder Aufwand-Nutzen-Relationen (vgl.  
Fröhlich, Emrich & Büch, 2007). Transferiert  
man diese einleitenden Überlegungen auf den  
Olympischen Triathlonwettbewerb, so wird au-  
genscheinlich, dass einerseits die einzelnen

<sup>1</sup> Die nachfolgenden Ausführungen stellen eine Erwei-  
terung und Spezifizierung der Überlegungen von Fröh-  
lich, Emrich und Büch (2007) dar.

<sup>2</sup> Bei Jedermannwettbewerben betragen die einzelnen  
Disziplinstrecken: 0,5 km Schwimmen, 20 km Radfahren,  
5 km Laufen.

<sup>3</sup> Bei der Premiere in Sydney, Australien, gewann der  
Deutsche Stephan Vukovic die Silbermedaille.

<sup>4</sup> Die Rangplätze sowie Disziplinzeiten für Daniel Unger  
bei der WM 2007 waren: 0:17:38 (Rang 36), 0:54:55  
(Rang 22) und 0:29:47 (Rang 2) (vgl. [http://hcm.mikatiiming.de/hcm\\_jedermann/pdf/11\\_WM\\_Elite\\_Maenner.pdf](http://hcm.mikatiiming.de/hcm_jedermann/pdf/11_WM_Elite_Maenner.pdf)).

<sup>5</sup> Bezogen auf die Gesamtstreckenlänge des Olympi-  
schen Triathlons umfasst die Schwimmstrecke ca. 3 Pro-

zent, die Radstrecke ca. 78 Prozent und die Laufstrecke  
ca. 19 Prozent.

<sup>6</sup> Drafting-Rennen wurden u.a. eingeführt, weil auf-  
grund von zunehmender Medienattraktivität (Stadt-  
und Rundkurse von in der Regel 5 bis 8 km Länge, die 8-  
bzw. 5-mal zu durchfahren sind) Regelüberwachungen  
des Windschattenfahrens nicht hinreichend umgesetzt  
werden konnten.

<sup>7</sup> Um die Wertigkeit des Radfahrens im Olympischen Tri-  
athlon zur ursprünglichen Ausgangssituation vor Ein-  
führung der Drafting-Regel wieder zu erhöhen, werden  
zunehmend profilierte und selektiv anspruchsvolle  
Radstrecken bei Weltcup und internationalen Meister-  
schaften explizit in den Streckenparcours eingebaut.

<sup>8</sup> Entsprechende Studien, welche die tatsächliche  
Energiebilanz bei Drafting- und Nicht-Draftingrennen

sowie in Abhängigkeit unterschiedlicher Wettkampf-  
positionen in den einzelnen Disziplinen z.B. mittels  
Spiroergometrie ermittelt haben, stehen noch aus.  
Während Studien zur physikalischen Arbeit bzw. Lei-  
stung in Ansätzen vorliegen, können derzeit noch keine  
Aussagen über die direkte Energiebilanz gemacht  
werden.

<sup>9</sup> Effektiv arbeiten, handeln und trainieren bedeutet,  
dass unter dem Einsatz möglichst aller gegebenen Mit-  
tel und Ressourcen ein Ziel erreicht werden soll. Effizient  
ist auf individueller Ebene ein Zustand dann, wenn  
durch Reallokation keine weiteren Erträge mehr mög-  
lich sind; auf kollektiver Ebene entspricht dieser Zustand  
dem Pareto-Kriterium, wonach kein Akteur besser ge-  
stellt werden kann, ohne dass ein anderer Akteur  
schlechter gestellt wird.

**TAB. 1** Zeiten und Geschwindigkeiten

| Location             | Time     | Split    | km/h  | min/km |
|----------------------|----------|----------|-------|--------|
| Swim 0,75 km         | 00:08:50 | 00:08:50 | 5.10  | 11:46  |
| Swim 1,50 km         | 00:17:30 | 00:08:41 | 5.19  | 11:34  |
| 1st Transition       | 00:18:17 | 00:00:48 |       |        |
| Bike 5,7 km          | 00:27:06 | 00:08:49 | 38.80 | 01:33  |
| Bike 11,4 km         | 00:36:17 | 00:09:11 | 37.26 | 01:37  |
| Bike 17,1 km         | 00:45:25 | 00:09:09 | 37.44 | 01:36  |
| Bike 22,8 km         | 00:54:19 | 00:08:54 | 38.44 | 01:34  |
| Bike 28,5 km         | 01:02:38 | 00:08:20 | 41.09 | 01:28  |
| Bike 34,2 km         | 01:11:16 | 00:08:39 | 39.61 | 01:31  |
| Bike 40 km           | 01:20:15 | 00:09:00 | 38.74 | 01:33  |
| 2nd Transition       | 01:20:46 | 00:00:31 |       |        |
| Run 2,5 km           | 01:28:22 | 00:07:37 | 19.71 | 03:03  |
| Run 5,0 km           | 01:36:03 | 00:07:41 | 19.55 | 03:04  |
| Run 7,5 km           | 01:43:39 | 00:07:37 | 19.71 | 03:03  |
| Finish (Run 10,0 km) | 01:51:32 | 00:07:54 | 19.03 | 03:09  |

Zeiten und Geschwindigkeiten in den einzelnen Abschnitten des Wettkampfs bei Tim Don (Großbritannien), Sieger im Olympischen Triathlon 2006 in Lausanne

Disziplinen nicht nur effektiv, sondern zunehmend effizient trainiert werden müssen und andererseits im eigentlichen Wettkampf unter Effizienzaspekten entschieden werden muss, wie und wo die eigenen Stärken bzw. taktisches Verhalten zum Einsatz kommen. Innerhalb der Ökonomie werden hinsichtlich der Effizienzfestlegung u.a. Überlegungen zur Grenzertragsbetrachtung verwendet. Diese bauen auf zwei Prämissen auf (vgl. Mankiw, 2004; Menger, 1971):

① Der Ressourceneinsatz (z.B. Trainingszeit, Arbeit, Energieeinsatz etc.) ist nicht unendlich steigerbar.

② Mit zunehmendem Ressourceneinsatz nimmt in der Regel zunächst der Ertrag über die Zeit zu. Relativ betrachtet kommt es jedoch durch zunehmenden Ressourceneinsatz zu einer Verringerung des Ertrags in der Zeiteinheit; dies

bedeutet, der Ertrag der einzelnen Ressource erreicht einen Grenzertrag. Bei Überschreiten des Kulminationspunkts (Scheitelpunkt der Kurvenfunktion) resultiert sogar ein negativer Ertrag. Abb. 1 nimmt hierauf Bezug und stellt die beiden Prämissen exemplarisch dar.

Ähnliche Aspekte sind implizit im so genannten Quantitätsgesetz des Trainings enthalten (Hohmann, Lames & Letzelter, 2002, S. 153). Überträgt man die Grenzertragsbetrachtungen der Ökonomie auf den vorliegenden Gegenstand, so geht es u.a. darum, den verbundenen Grenzertrag aus Schwimmen, Radfahren und Laufen so zu gestalten, dass ein Maximum an Erfolg<sup>10</sup> resultiert. Als eine erste Näherung an diese Überlegungen soll im Folgenden die relative Gewichtung der einzelnen Teildisziplinen für den Gesamterfolg im Olympischen Triathlon

partiell herausgearbeitet werden. Zur modelltheoretischen Weiterführung der Grenzertragsbetrachtungen und inhaltlichen Verknüpfung mit dem Adaptationsmodell von Martin, Carl und Lehnertz (1993) – welches auf Mader (1990) sowie Verchoshanskij und Viru (1990) zurückgeht – und zu trainingswissenschaftlichen Beispielen sei auf Fröhlich, Emrich und Büch (2007) verwiesen.

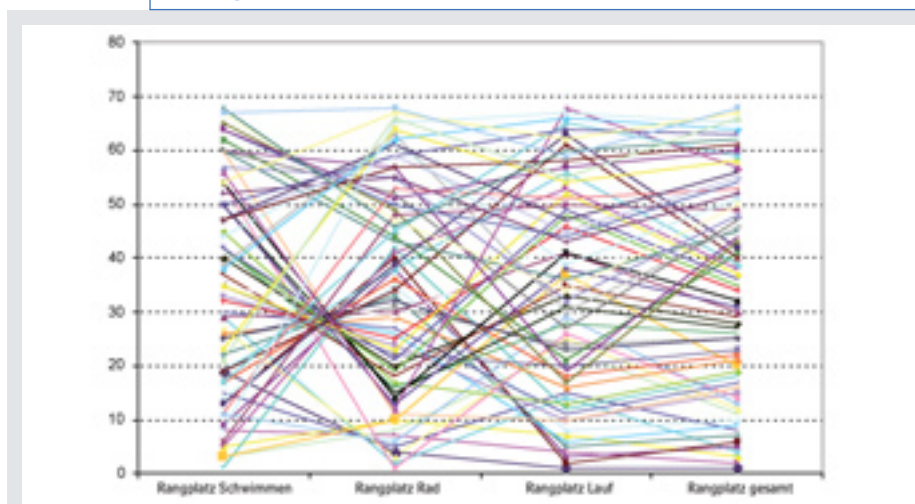
### 3. Untersuchungsmethodik

Zur inhaltlichen Aufarbeitung der Ex-post-facto-Untersuchung wurden die Leistungsdaten sowie die Rangplätze der Teilnehmer der Weltmeisterschaften 2006 in Lausanne im Olympischen Triathlon (Elite Männer) analysiert<sup>11</sup>. Die Gesamtstichprobe lag bei 85 Athleten, die sich aufgrund von Ausstiegen und Disqualifikation im laufenden Wettbewerb auf 68 Finisher reduzierte. Erhoben wurden sowohl die Rangplätze und die absoluten Zeiten als auch die Geschwindigkeiten auf den Abschnitten im Schwimmen (nach 750 m sowie nach 1500 m), beim Radfahren (nach 5,7 km, 11,4 km, 17,1 km, 22,8 km, 28,5 km, 34,2 km und 40 km) und beim Laufen (2,5 km, 5,0 km, 7,5 km und 10 km). Darüber hinaus liegen die Rangplätze und Zeiten für den ersten und zweiten Wechsel vor. In Tab. 1 sind exemplarisch die einzelnen Variablen des Weltmeisters 2006 dargestellt. Zur statistischen Auswertung wurden, neben den deskriptiven Beschreibungsgrößen, eine Korrelations- und lineare Regressionsberechnung durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  für signifikante und  $p < 0,01$  für hoch signifikante Ergebnisse festgelegt. Die Auswertung erfolgte mit SPSS 14.0.

### 4. Untersuchungsergebnisse

Die mittleren Zeiten betragen für das Schwimmen  $17:51 \pm 00:24$  min, für das Radfahren  $1:04:13 \pm 0:02:12$  Std. und für das Laufen  $33:31 \pm 01:38$  min. Die Variabilitätskoeffizienten lagen entsprechend bei 2,28 Prozent, 3,43 Prozent und 4,89 Prozent. Im Durchschnitt wurde der erste Wechsel in  $00:50 \pm 00:03$  Minuten und der zweite Wechsel in  $00:34 \pm 00:03$  Minuten bewältigt. Die durchschnittliche Gesamtwettkampfzeit betrug  $1:57:00 \pm 0:03:32$  Stunden ( $n = 68$ ; Min  $1:51:32$ ; Max  $2:07:24$ ). Der Weltmeister wies eine Abweichung vom Mittelwert von -2,02 Prozent beim Schwimmen (17:30 min), -3,51 Prozent beim Radfahren (01:01:58 h) und -8,22 Prozent beim 10.000-m-Lauf (30:46 min) auf. Die beste Schwimmleistung lag bei 17:14 min (1. Rangplatz). Diese Leistung bzw. dieser Rangplatz konnte von dem entsprechenden Athleten jedoch im Bereich Rad nicht annähernd gehalten werden, sodass nach dem Radfahren für diesen nur Rangplatz 42 für diese Einzeldisziplin resultierte. Durch eine gute Laufleistung mit Teilrangplatz 12 konnte von dem Athleten jedoch der Gesamtrangplatz 18 erreicht werden. Der beste Radfahrer lag nach dem Schwimmen auf Platz 54<sup>12</sup>, beim Laufen auf Teilrangplatz 26 und erreichte das Ziel auf Platz 14. Der Gesamtsieger der WM

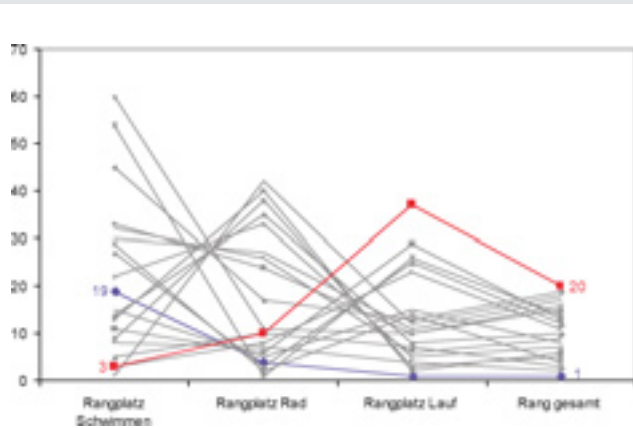
**ABB. 2** Rangplätze aller Finisher



Rangplätze aller Finisher ( $n = 68$ ); herausgestellt: der 1. und 20. im Gesamtklassement

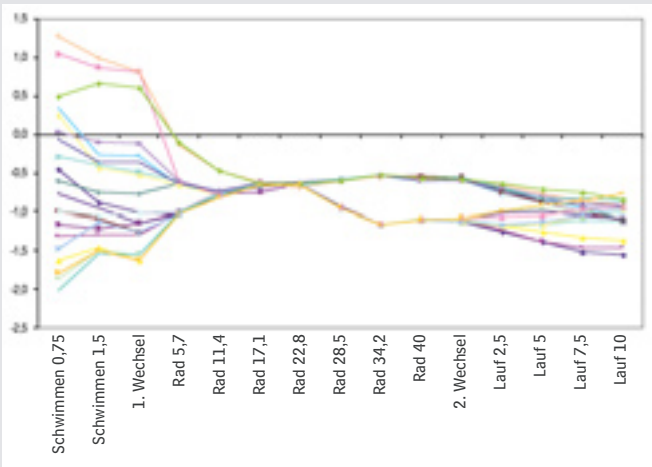


ABB. 3 Rangplätze der 20 besten Athleten



Rangplätze der 20 besten Athleten; herausgestellt: der 1. und 20. im Gesamtklassement

ABB. 4 z-Werte der Teilzeiten



z-Werte der Teilzeiten der jeweiligen Splittabschnitte bei den 20 besten Athleten

kam als 19. aus dem Wasser, lag nach dem Radfahren auf Teilrangplatz 4 und konnte nach Rangplatz 1 im Laufen den Gesamtsieg erringen. Die einzelnen Rangplätze über alle Finisher sind in Abb. 2, die der 20 besten Athleten in Abb. 3 dargestellt. Relativiert man die Leistungen in den einzelnen Teildisziplinen (z-Transformation), so findet man im Schwimmen und im Laufen eine relativ große Variabilität, während die Ergebnisse des Radfahrens eher konstant sind. Abb. 4 zeigt die z-transformierten Werte der 20 besten Athleten (da es sich um die Positionselektion handelt, sind nahezu alle z-Werte im negativen Wertebereich).

Im Gesamtkollektiv ( $n = 68$ ) korrelieren die Teilzeiten in den Disziplinen Schwimmen und Rad ( $r = 0,395$ ), Rad und Laufen ( $r = 0,484$ ) sowie Schwimmen und Gesamtzeit ( $r = 0,461$ ), Rad und Gesamtzeit ( $r = 0,903$ ) sowie Laufen und Gesamtzeit ( $r = 0,802$ ) hoch signifikant positiv (alle  $p < 0,01$ ). Betrachtet man jedoch nur die 20 besten Athleten, so findet man eine negative nicht signifikante Korrelation zwischen Schwimmen und Rad ( $r = -0,253$ ), eine negative signifikante Korrelation zwischen Rad und Laufen ( $r = -0,555$ ;  $p < 0,05$ ) und nur noch eine positiv hoch signifikante Korrelation zwischen der Laufleistung und der Gesamtzeit ( $r = 0,619$ ;  $p < 0,01$ ). Bei den 20 Besten scheinen die Schwimm- und die Radleistungen in keinem Zusammenhang mit der Gesamtzeit zu stehen ( $r = 0,309$  bzw.  $r = 0,192$ ; alle  $p > 0,05$ ).

Die Rangplätze über alle Athleten ( $n = 68$ ) korrelieren in den verschiedenen Disziplinen wie folgt: Schwimmen und Rad ( $R = 0,251$ ;  $p < 0,05$ ), Rad und Laufen ( $R = 0,481$ ) sowie Schwimmen und Gesamtrang ( $R = 0,468$ ), Rad und Gesamtrang ( $R = 0,795$ ) sowie Laufen und Gesamtrang ( $R = 0,850$ ) (alle  $p < 0,01$ ). Bezieht man wiederum lediglich die 20 besten Athleten in die Berechnung ein, so erhält man einen nicht signifikanten Zusammenhang von Rad und Laufen ( $R = -0,484$ ;  $p < 0,05$ ) und nur noch einen positiven hoch signifikanten Zu-

TAB. 2 Interkorrelation der Rangplätze

| n = 20    | Schwimmen | Rad    | Laufen  | Gesamt  |
|-----------|-----------|--------|---------|---------|
| Schwimmen |           | -0,204 | 0,016   | 0,211   |
| Rad       |           |        | -0,484* | 0,183   |
| Laufen    |           |        |         | 0,633** |
| Gesamt    |           |        |         | 1       |

Interkorrelation der Rangplätze jeder Einzeldisziplin bei den besten 20 Athleten; \* $p < 0,05$  [2-seitig], \*\* $p < 0,01$  [2-seitig], Rangkorrelation nach Spearman

sammenhang von Laufen und Gesamtrangplatz ( $R = 0,633$ ;  $p < 0,01$ ). Die Varianzklärung der Disziplin Laufen (Zeit) auf den Gesamtrangplatz beträgt bei den 20 Besten 40,07 Prozent. Tab. 2 nimmt hierauf Bezug.

Da die Wechsel- und Disziplienzeiten als Prädiktorenvariablen die Bruttogesamtzeit als Kriteriumsvariable vollständig determinieren, wurden durch multiple, lineare Regressionen die Einzelgewichte (Beta-Koeffizienten) sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für die 20 Besten bestimmt. Bei jeweils  $R = 1$  sowie  $R^2 = 1$  resultierten im Gesamtkollektiv Beta-Koeffizienten von 0,115 beim Schwimmen, 0,622 beim Radfahren und 0,463 beim anschließenden Laufen. Bei den 20 besten Athleten lag das höchste Betagewicht auf der Teilzeit Laufen (1,078), während die Betagewichte für die Teilzeiten des Radfahrens (0,881) und des Schwimmens (0,452) deutlich geringer ausfielen.

## 5. Diskussion

Anhand der Korrelationsberechnungen sowie der Betagewichte der Regressionsanalysen kann der überproportionale Einfluss der Laufleistung auf das Endergebnis im Olympischen Triathlon dokumentiert werden. Das bedeutet, die Laufleistung wird entscheidend für eine gute Endplatzierung. Potenziell gute Läufer handeln ökonomisch rational, indem sie beim

Schwimmen und Radfahren nur so viel Energie verbrauchen, wie unbedingt nötig (Vleck, Brügi & Bentley, 2006). Aufgrund der empirischen Befunde lässt sich konstatieren, dass die Schwimmleistung eine Voraussetzungsfunktion hat, um eine gute Radgruppe zu erschließen

<sup>10</sup> Prinzipiell muss zwischen dem Erfolg und der realisierten Leistung bzw. Leistungsfähigkeit differenziert werden. Während die Leistung als Vorgang oder auch Ergebnis einer Handlung (nicht unmittelbar an die Interaktion mit anderen geknüpft) aufgefasst werden kann, ist Erfolg als das angestrebte bzw. realisierte Ergebnis einer Handlung in der Interaktion mit anderen zu verstehen. Eine eher mäßige individuelle Leistung kann trotzdem zu hohem sportlichen Erfolg führen, wenn die Interaktionspartner ebenfalls schlechte Leistungen erbringen. Andererseits ist eine hervorragende individuelle Leistung noch kein Garant für großen Erfolg.

<sup>11</sup> Ex-post-facto-Untersuchungen lassen keine kausal-analytische Interpretation zu. Weiterhin ist die externe Validität stark eingeschränkt, d.h., die Ergebnisse können nicht auf andere Stichproben (alle Triathleten, alle Weltmeisterschaften etc.) verallgemeinert werden. Da derzeit keine experimentellen Versuchsdesigns auf die vorliegende Fragestellung angewendet werden können (hierzu müssten Trainingsdaten und Wettkampfergebnisse analysiert werden), musste auf ein ex-post-facto-Design zurückgegriffen werden. Aufgrund des explorativen Untersuchungscharakters sowie des vorgegebenen Versuchsdesigns wurden weder Nullhypothesen noch gerichtete Hypothesen formuliert.

<sup>12</sup> Rang 54 bezieht sich hier nur auf die Finisher, im Wettkampf war der Sportler nach dem Schwimmen sogar auf Platz 65.

(vgl. Peeling, Bishop & Landers, 2002). Die vorliegenden Ergebnisse werden durch die Untersuchungen von Mittet und Bentley (2004, S. 196) gestützt: „The correlation between overall triathlon performance and individual times of the three disciplines confirm that cycling and running are more important for overall SD triathlon performance than swimming”. Konkret auf die Zusammenhangsebene von Disziplinleistung und Endergebnis übertragen, heißt es bei den Autoren weiter: „However, the strength of the correlation was lower with swimming than with cycling or running. Nevertheless, the swimming stage of an SD triathlon is probably more important mainly for tactical reasons in the subsequent draft legal cycle stage”. Ähnlich argumentieren Bentley et al. (2002), die die physiologische Leistung in den einzelnen Disziplinen untersuchten. Hingegen sollten potenziell gute Radfahrer entweder versuchen, eine Lücke zuzufahren, wenn diese bereits nach dem Schwimmen entstanden sein sollte, oder einen Vorsprung herauszufahren, um ökonomisch rational eine Siegwahrscheinlichkeit aufrecht erhalten zu können. Dem Radfahren kommt somit eine Zubringerfunktion für den abschließenden Lauf

zu. Generell betrachtet hat die Radgruppe eher einen geringeren Einfluss auf das Wettkampfergebnis (gute Ausgangsposition). Um derzeit eine Platzierung im Olympischen Triathlon bei den Männern erreichen zu können, müssen Laufleistungen von ca. 30:00 Minuten erzielt werden (erste 3 der WM: 31:04 ± 00:20 Minuten), wobei die Tendenz eher in Richtung 29:30 Minuten geht (siehe WM 2007 in Hamburg). Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Laufleistung die Gesamtplatzierung in Drafting-Rennen maßgeblich beeinflusst, wobei der individuellen Schwimm- und Radleistung eine wichtige Transferfunktion zukommt. Schwimmen und Radfahren sollten jedoch möglichst ökonomisch, d.h. im Wasser- bzw. Windschatten, und somit taktisch bewältigt werden und/oder soweit vom Leistungsniveau her entwickelt sein, dass mit submaximaler Schwimm- bzw. Radleistung im Wettkampf geschwommen bzw. gefahren werden kann (vgl. Brügi, 2004, S. 45; Peeling, Bishop & Landers, 2002, S. 962). Auf der Athletenebene (individuelle Implikationen) lassen sich folgende Aspekte auf der Basis der bisherigen empirischen Daten herausarbeiten, wobei explizit darauf hingewiesen werden muss, dass diese Hinweise anhand der Teilaspekte der Wettkampfleistung getroffen werden und Ableitungen bezüglich einer Veränderung der Trainingsstruktur<sup>13</sup> nur bedingt möglich sind:

- Bei einer individuellen Stärke im Laufbereich ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, eine vordere Platzierung zu erreichen. Schwächen im Rad-

bereich können durch eine überdurchschnittliche Laufleistung kompensiert werden. Eine Schwerpunktsetzung des Trainings sollte somit im Laufbereich liegen (10.000 m unter 30:00 Minuten bzw. 30:30 Minuten im Wettkampf). Die ersten und die letzten 1.000 m werden in der Regel unter 2:50 Minuten gelaufen. Oftmals kommt es zu einer Sprintentscheidung, d.h., die Antrittsschnelligkeit wäre zu schulen. Wenn auf individueller Seite aufgrund konstitutioneller und/oder physiologischer Aspekte nur eher mäßige Laufleistungen erbracht werden können, ist zu bedenken, inwieweit mannschaftsdienliches Verhalten sinnvoll erscheint. Bei nur eher mittelmäßigen Laufleistungen ist ein Wechsel auf die Mittel- oder Ironman-Distanz zu überlegen, da hier andere Disziplinenrelationen herrschen. Auf der individuellen Ebene stellt sich die ökonomische Frage: Welchen Input in Form von Trainingszeit und Belastungsintensität investiere ich in die einzelnen Disziplinen, um den maximalen Output im Gesamtertrag zu erreichen?

- Auf der Ebene des deutschen Spitzenverbandes (kollektive Implikationen DTU) wäre zu konstatieren, dass innerhalb von Sichtungsmassnahmen Schwerpunkte auf den Laufbereich zu legen sind. Talent-Recycling, beispielsweise aus der Leichtathletik, wäre zu überlegen. Dies bedeutet, talentierte Mittelstreckenläufer, bei denen abzusehen ist, dass internationale Leistungen nicht erreicht werden können, wären als möglicher Talentpool zu identifizieren. Ökonomisch betrachtet, sollte das Verhältnis von Trainings- zu Wettkampfzeiten in den einzelnen Disziplinen überdacht werden: Sind die eventuell hohen Gewichtungen auf den Radbereich immer noch zielführend? Weiterhin wäre zu überlegen, inwieweit weniger gute Läufer beispielsweise durch Prämien aufgrund von mannschaftsdienlichem Verhalten die Siegwahrscheinlichkeit für gute Läufer erhöhen könnten. Last but not least, stellt sich die Frage, ob und wie es gelingt, taktische Anweisungen seitens der Trainer so zu platzieren, dass der Rennverlauf positiv beeinflusst wird (z.B. gute Radfahrer schließen eine Lücke für den „besten“ Läufer etc.).

\*

Die Literaturliste ist als PDF-Download von [www.leistungssport.net](http://www.leistungssport.net) abrufbar.

\*

## Die Autoren

Dr. Michael FRÖHLICH, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie der Universität des Saarlandes sowie am Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland.

Dr. Markus KLEIN, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie der Universität des Saarlandes.

Dr. Andrea PIETER, Studium der Erziehungswissenschaft, Sozialpsychologie und Soziologie. Seit März 2007: Deutsche Hochschule für Prävention und Gesundheitsmanagement, Saarbrücken.

Prof. Dr. Eike EMRICH, Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie der Universität des Saarlandes.

Anschrift: Universität des Saarlandes, Sportwissenschaftliches Institut, Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie, Universität Campus Geb. B8.1, 66123 Saarbrücken

E-Mail: [e.emrich@mx.uni-saarland.de](mailto:e.emrich@mx.uni-saarland.de)

## Erratum

Im Beitrag von H. Broich u.a. der letzten „Leistungssport“-Ausgabe (Heft 4/2008, S. 8-12) wurde die Tab. 2 fehlerhaft abgedruckt. Hier nun die korrigierte Fassung.

Die Redaktion

**TAB. 2 Mittlere Laufdistanzen**

| Geschwindigkeitsintervall | Di Salvo et al. (Primera División) | Eigene Untersuchung (1. Fußball Bundesliga) |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0-11 km/h                 | *83,12 ± 5,00 m/min                | *75,10 ± 2,08 m/min                         |
| 11,1-14 km/h              | *9,19 ± 2,08 m/min                 | *18,70 ± 3,27 m/min                         |
| 14,1-17 km/h              | /                                  | 12,13 ± 2,25 m/min                          |
| 14,1-19 km/h              | 9,40 ± 1,64 m/min                  | /                                           |
| 17,1-21 km/h              | /                                  | 9,04 ± 1,81 m/min                           |
| 19,1-23 km/h              | 2,30 ± 1,27 m/min                  | /                                           |
| 21,1-24 km/h              | /                                  | 3,32 ± 0,99 m/min                           |
| > 23 km/h                 | 1,87 ± 1,05 m/min                  | /                                           |
| > 24 km/h                 | /                                  | 2,84 ± 1,23 m/min                           |
| Gesamt                    | *105,9 ± 11,04 m/min               | *121,13 ± 11,63 m/min                       |

Mittlere Laufdistanzen ± Standardabweichung in verschiedenen Geschwindigkeitsintervallen in Fußballspielen in der Primera División und 1. Fußball-Bundesliga. Die abgebildeten Werte basieren auf dem Spielanalysesystem Amisco Pro und beziehen sich auf die Studie von di Salvo et al. (2007) und die eigene Untersuchung. Die mit Stern markierten Werte stellen die Ergebnisse in identischen Geschwindigkeitsintervallen in beiden Untersuchungen dar.

Michael Fröhlich/Markus Klein/Andrea Pieter/Eike Emrich

# Ökonomische Betrachtungen zur Wettkampfstruktur im olympischen Triathlon – ein explorativer Ansatz

## Literatur

- Bentley, D. J., Millet, G. P., Vleck, V. E. & McNaughton, L. R. (2002). Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. *Sports Medicine*, 32 (6), 345-359.
- Brügi, A. (2004). Die Wettkampfanalyse als leistungsdagnostisches Verfahren zur Einschätzung der internationalen Entwicklungstendenzen, der individuellen Leistungsentwicklung und der Wirksamkeit des Trainings – am Beispiel des Triathlons in Lausanne vom 31.8.2002. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 11 (1), 35-46.
- Chatard, J. C. & Wilson, B. (2003). Drafting distance in swimming. *Medicine and Science and Sports and Exercise*, 35 (7), 1176-1181.
- Costill, D. L., Maglischo, E. W. & Richardson, A. B. (1992). *Swimming. Handbook of Sports Medicine and Science*. London, Edinburgh, Cambridge: Blackwell Science Ltd.
- Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269-291.
- Fröhlich, M., Emrich, E. & Büch, M.-P. (2007). Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft*, 37 (3), 296-311.
- Fröhlich, M., Emrich, E., Büch, M.-P. & Gießing, J. (2008). Marginal return in sports – Initial thoughts on economic considerations in training science. In J. Gießing & M. Fröhlich (eds.), *Current results of strength training research. A multi-perspective approach* (pp. 167-186). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Gressmann, M. (1993). *Fahrradphysik und Biomechanik*. Kiel: Moby Dick.
- Hauswirth, C., Lehénaff, D., Dréano, P. & Savonen, K. (1999). Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Medicine and Science and Sports and Exercise*, 31 (4), 599-604.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Lindner, W. (2005). *Radsporttraining – Methodische Erkenntnisse, Trainingsgestaltung, Leistungsdiagnostik*. München: BLV.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (2), 40-58.
- Mankiw, G. N. (2004). *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Menger, C. (1871). *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre. Erster allgemeiner Teil*. Wien: Wilhelm Braumüller.
- Millet, G. P. & Bentley, D. J. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 191-197.
- Millet, G. P., Bentley, D. J. & Vleck, V. E. (2007). The relationships between science and sport: application in triathlon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2, 315-322.
- Millet, G. P. & Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British Journal of Sports Medicine*, 34, 384-390.
- Moeller, T., Scholich, M. & Knoll, R. (2007). Zehn Jahre zentrale D/C-Kadersichtung in der Sportart Triathlon: Ergebnisse und trainingsmethodische Ableitungen. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 14 (1), 25-34.
- Peeling, P. D., Bishop, D. J. & Landers, G. J. (2005). Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 960-964.
- Pitsch, W., Emrich, E., Fröhlich, M. & Flatau, J. (2006). Zur Legitimation von Normen im Sport am Beispiel des Mehrkampfes in der Leichtathletik – Rechtsphilosophische und rechtssoziologische Positionen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 47 (2), 80-92.
- Rietjens, G. (2002). *Preparing for the olympic games. Training adaptations in endurance sports*. Maastricht: Datawyse Universitaire Press.
- Verchoshanskij, J. & Viru, A. (1990). Einige Gesetzmäßigkeiten der langfristigen Adaptation des Organismus von Sportlern an körperliche Belastungen. *Leistungssport*, 20 (3), 10-13.
- Vleck, V. E., Brügi, A. & Bentley, D. J. (2006). The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite Olympic distance triathlon. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 43-48.

\*

## Die Autoren

Dr. Michael FRÖHLICH, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie der Universität des Saarlandes sowie am Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland.

Dr. Markus KLEIN, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie der Universität des Saarlandes.

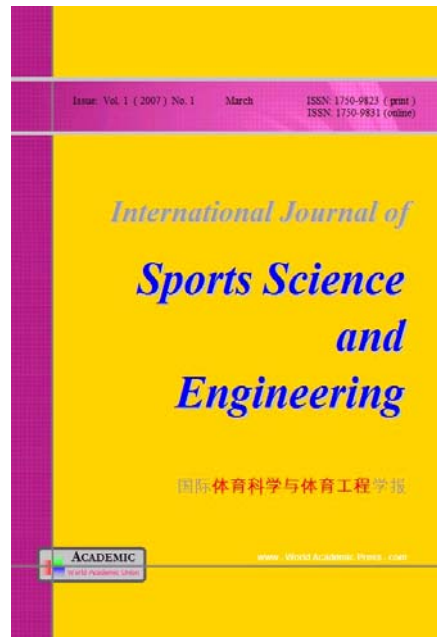
Dr. Andrea PIETER, Studium der Erziehungswissenschaft, Sozialpsychologie und Soziologie. Seit März 2007: Deutsche Hochschule für Prävention und Gesundheitsmanagement, Saarbrücken.

Prof. Dr. Eike EMRICH, Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie der Universität des Saarlandes.

*Anschrift: Universität des Saarlandes, Sportwissenschaftliches Institut, Lehrstuhl für Sportsoziologie und Sportökonomie, Universität Campus Geb. B8.1, 66123 Saarbrücken  
E-Mail: e.emrich@mx.uni-saarland.de*

## Beitrag XIII

Fröhlich, M., Emrich, E., Pieter, A. & Stark, R. (2009). Outcome effects and effect sizes in sports sciences. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3 (3), 175-179.



# Outcome Effects and Effects Sizes in Sport Sciences

Michael Fröhlich<sup>1</sup>, Eike Emrich<sup>1</sup>, Andrea Pieter<sup>2</sup> and Robin Stark<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Sports Sciences, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany

<sup>2</sup>Institute for Health Promotion, DHfPG-University of Applied Sciences, 66123 Saarbrücken, Germany

<sup>3</sup>Institute for Education, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany

(Received July 31, 2009, accepted August 22, 2009)

**Abstract.** In addition to statistical validation of an intervention in the context of experimental and quasi-experimental designs for hypothesis testing, the practical relevance of an intervention plays a major role. Practical relevance is considered a measure of an experimental effect with respect to various practical issues. Cohen's effect size has become the standard for assessment. However, empirical studies show that effect sizes should not be interpreted statically, but rather dynamically. Furthermore, it seems that prior experience, the target group, the way questions are posed and the context of the study influence the outcome. In the future, in addition to statistical validation, greater consideration should be given to effect sizes to allow a qualitative assessment of a measure's practical relevance. However, the applicable study context and theoretical criteria of the respective research domains must be taken into account.

**Key Words:** statistical validation, practical relevance, effect size, strength training.

## 1. Introduction

In experimental and quasi-experimental research designs, it is generally not sufficient to account for the outcome in terms of change measured in comparison with a control group, a further treatment group or longitudinally (statistical significance). It is, rather, the practical relevance of these effects that plays a key role. While this seems obvious for high performance sports and competitive sports, the practical relevance of training measures is increasingly being called for in recreational and fitness sports. Furthermore, the focus shifts to the practical relevance of an intervention when general statements are to be made about a research field on the basis of several individual studies. This means that it must be possible to assess and interpret the effectiveness of individual studies in the context of meta-analyses. In terms of practical relevance, the size of an experimental effect is assessed with respect to various practical issues – inter- and intraindividual assessment, comparison with standard values, changes over time, etc. The statistically significant difference between the experimental treatment groups, including any control groups, is generally a prerequisite for being able to interpret practical relevance with respect to content for the purpose of hypothesis testing. Statistical proof is frequently based on testing the null hypothesis (alpha error probability) with corresponding probability of error, but far less on testing the  $\beta$ -error probability (on the problem of classical hypothesis testing according to Fisher vs. Neyman and Pearson, see current Conzelmann and Raab, 2009). Here, however, statistical significance testing is dependent on the variance and the sample size, such that statistical significance can always be brought about by increasing the sample size  $n$  and reducing the test variance. Statistical significance thus indicates merely the existence of an effect, but says nothing about its practical relevance.

The practical relevance or relevance of significant effects in assessing the outcome achieved is given by the dimensionless measure “effect size”, *ES*. Effect size is a name given to a family of indices that measure the magnitude of a treatment effect. Unlike significance tests, these indices are independent of sample size. Furthermore, effect size measures are the common currency of meta-analysis studies that summarize the findings from a specific area of research. The detailed explanations refer to measures of distance for group differences, and effect sizes are excluded in the following as measures of association.

In the simplest case, the effect size  $d$  in the population normalizes the differences between the

---

<sup>1</sup> Corresponding Author. Dr. Michael Fröhlich, Institute for Sports Sciences, Saarland University, Campus Building B8 1, 66123 Saarbrücken, Germany, E-mail address: m.froehlich@mx.uni-saarland.de



independent experimental groups (also experimental group and control group) to the variance of the test values (t-test for independent samples) according to the formula:

$$d = \frac{(\mu_A - \mu_B)}{\sigma}$$

If the effect size estimate is based on the statistical values of the samples of the two experimental groups, or the treatment group and the control group, then, if the standard deviations of both groups are approximately homogeneous, Cohen's  $d$  is calculated according to Cohen (1969):

$$d = \frac{(\bar{X}_{EG} - \bar{X}_{CG})}{s}$$

Various recommendations are given with respect to the variance used. Glass et al. (1981) prefer the standard deviation of the control group  $s = s_{CG}$ . Bortz and Döring (2006) calculate the joint variance of experimental group (EG) and control group (CG) according to the formula:

$$s = \frac{\sqrt{s_{EG}^2 + s_{CG}^2}}{2}$$

Hedges and Olkin (1985) showed that standardizing mean differences using a pooled standard deviation of both groups optimizes the estimate of the effect size. This pooled standard deviation  $s_{pooled}$  is calculated according to:

$$s_{pooled} = \frac{\sqrt{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}}{n_1 + n_2 - 2}$$

The effect size can be reliably calculated for the intervention using the individual formulas. Leonhart (2004) and Morris (2008) discuss the individual formulas with respect to homogeneous and heterogeneous variances, different sample sizes and content aspects, as well as with regard to the test design used. As regards the calculation of effect size using certain test statistics, e.g. t-test, ANOVA, etc., reference is made to the relevant literature (Cohen, 1969, 1992; Glass et al. 1981; Hedges & Olkin, 1985; Hunter & Schmidt, 2004; Rosnow & Rosenthal, 1996). Rhea (2004a, p. 918) points out that the calculation and indication of effect size in the context of training interventions offers numerous advantages:

- (1) Effect size is a standardized parameter for assessing and interpreting changes in individual or multiple groups.
- (2) Effect size allows various training methods to be compared within one study.
- (3) Effect size is easy to calculate and thus reveals the impact of an individual study for theory and practice.

In the context of meta-analyses calculating effect sizes allows the results of individual primary studies to be put in relationship to one another. Meta-analyses use some estimates of effect size because effect size estimates are not influenced by sample sizes. The most common estimate found in current meta-analyses is Cohen's  $d$  (cf. Thomas et al., 2005, p. 248 f.). In this way, effect sizes ultimately allow individual studies on the same topic to be evaluated and global statements made on a research subject. Hall and Rosenthal (1995, p. 394) speak euphorically of a revolution in the sciences when they point out that "At a time when the need to integrate empirical knowledge has never been greater, we now have statistical tools that permit the summary and analysis of entire research literatures, using replicate quantitative methods. It is nearly impossible to overestimate the gains in knowledge that can result from the application of meta-analysis to scientific literature." In addition, moderator variables and their impact on a global effect can be estimated (Hall & Rosenthal, 1995; Morris, 2008; Peterson et al., 2004; Rhea, 2004b; Rhea et al., 2003).

## 2. Assessing practical relevance

Assessing practical relevance has a long tradition, dating back to the studies of Cohen (1969). In the article "A Power Primer" from 1992, Cohen describes the intent that guided him in assessing effect sizes and criteria that are now established convention (Cohen, 1992, p. 156): "My intent was that medium ES represent an effect likely to be visible to the naked eye of a careful observer. [...] I set small ES to be noticeably smaller than medium but not so small as to be trivial, and I set large ES to be the same distance above medium as small was below it. Although the definitions were made subjectively, with some early minor

adjustments, these conventions have been fixed since the 1977 edition of SPABS and have come into general use."

The effect size classification that has since become convention exhibits the following values: *small* effect  $d = 0.20$ , *medium* effect  $d = 0.50$  and *large* effect  $d = 0.80$  (cf. Cohen, 1969, p. 38; 1992, p. 157). Cohen (1969, p. 12) himself puts the convention-based effect size classification into perspective: "For each statistical test's ES index, the author proposes, *as a convention*, ES value to serve as operational definitions of the qualitative adjectives "small," "medium," and "large." This is an operation fraught with many dangers: The definitions are arbitrary, such qualitative concepts as "large" are sometimes understood as absolute, sometimes as relative; and thus they run a risk of being misunderstood."

Generally speaking, effect sizes greater than 0.50 are interpreted as *large*, effect size of 0.50-0.30 as *medium*, effect size of 0.30-0.10 as *small*, and those  $< 0.10$  as *trivial*. However, the classification proposed by Cohen is just an initial orientation aid. In contrast, Sedlmeier (1996, p. 55) emphasizes that the classification, which was not originally established empirically, reflects the average effects in various areas of psychology. The extent to which this applies to other research disciplines and domains will be debated and discussed by way of example based on practical relevance in strength training research.

### 3. Problems in assessing practical relevance and effect size classification

Current meta-analyses by Fröhlich and Gießing (2008), Fröhlich and Schmidtbleicher (2008), Fröhlich et al. (2008), Peterson et al. (2004), Rhea et al. (2003) and Rhea and Alderman (2004) showed that effect sizes in strength training research depend on the subjects' level of training in the dichotomous categorization "trained" vs. "untrained," but are also influenced by gender and, in part, even the duration of the intervention. Furthermore, effect sizes are determined by the training method used, so indirectly by individual training parameters, like trainings intensity, training frequency, and rest pause (Rhea et al., 2003; Peterson et al., 2005). Thus, in this field, effect sizes as an indicator of practical relevance should be viewed dynamically rather than statically. Furthermore, empirical results show that effect sizes must be interpreted in different ways depending on the context, prior experience, research domains, etc. The following two tables show effect sizes as a factor of training status, respectively training experience and the number of series, as well as the duration of the strength training study.

Table 1: Effect sizes per group and condition by volume (Rhea et al., 2003, p. 458)

| Sets | Trained (mean $\pm$ sd) | n   | Untrained (mean $\pm$ sd) | n   |
|------|-------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 1    | 0.47 $\pm$ 0.57         | 25  | 1.16 $\pm$ 1.59           | 233 |
| 2    | 0.92 $\pm$ 0.52         | 14  | 1.75 $\pm$ 1.98           | 82  |
| 3    | 1.00 $\pm$ 1.26         | 122 | 1.94 $\pm$ 3.23           | 399 |
| 4    | 1.17 $\pm$ 0.81         | 12  | 2.28 $\pm$ 1.96           | 321 |
| 5    | 1.15 $\pm$ 0.99         | 23  | 1.34 $\pm$ 0.89           | 38  |
| 6    | -                       | -   | 0.84 $\pm$ 0.42           | 46  |

Table 2: Effect sizes of single-set and multiple-set interventions for different study durations (cf. Fröhlich, Emrich & Schmidtbleicher, in press)

| (mean $\pm$ sd) | Study duration [weeks] |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 | 1-6                    | 7-12            | 13-18           | 19-24           | 25-30           |
| Single set      | 0.76 $\pm$ 0.32        | 1.02 $\pm$ 0.71 | 0.89 $\pm$ 1.07 | 0.76 $\pm$ 0.69 | 1.24 $\pm$ 0.34 |
| Multiple set    | 0.87 $\pm$ 0.38        | 1.05 $\pm$ 0.62 | 1.23 $\pm$ 0.64 | 0.81 $\pm$ 0.47 | 3.42 $\pm$ 2.04 |

What implications can be drawn from the above statements regarding practical relevance and effect size classification? First, in addition to the statistical values and test statistics, effect sizes should be provided as measures of practical relevance, and second, the calculated effect sizes must be judged and evaluated according to the research disciplines or research domains. This means that each scientific community must ultimately decide what is to be classified as a "small," "medium" or "large" effect in a specific research context. In doing so, theoretical criteria for the respective domain must be specifically taken into account.

The following example will illustrate this (Drinkwater, 2008): In the context of a novel training program, the 100m sprint time was improved significantly ( $p < 0.05$ ) by 0.05 seconds. Now how should this statistically significant improvement, and thus the training method, be assessed in terms of practical

relevance? Should the novel training method be introduced or not? For practical assessment, the effect size is calculated: At a school sports day, it was determined that boys had an average 100m time of 13.04 seconds, with a standard deviation of 2.02 seconds. Calculating Cohen's  $d$  gives an effect size of  $d = 0.05 / 2.02 = 0.025$ . Thus, in terms of practical relevance, the new method must be considered not worthwhile. Applying the same statistically significant training improvement of 0.05 seconds to the participants in the men's 100m finals in the 2008 Olympics yields a very different result. The finalists had an average 100m time of 9.92 (SD = 0.11). Here, calculating the effect size of the new training method shows a medium effect ( $d = 0.05 / 0.11 = 0.45$ ), with the training method sometimes having a significant impact on standings in the finals.

#### 4. Possible aids for assessing practical relevance and effect size classification in strength training research

In 2004, Rhea proposed, based on approximately 3,000 effect sizes from more than 400 primary studies, the effect size scale for strength training interventions given in table 3 (Rhea, 2004a). In principle, this proposal is justifiable and should be validated in further studies. However, the reported effect sizes should not be viewed as static values, but rather dynamically, as a function of the duration of the intervention, prior experience, and the associated research domain. This means that strength training research would be called upon to analyze the effect sizes documented by Rhea (2004a), similar to the data presented in table 2, depending on the duration of the intervention. It can reasonably be assumed here that the effect sizes are a good indicator of adaptation to the temporal dynamics of training processes.

Table 3: Scale for determining the magnitude of effect sizes in strength training research (Rhea, 2004a, p. 919)

| Magnitude | Untrained | Recreationally trained | Highly trained |
|-----------|-----------|------------------------|----------------|
| Trivial   | < 0.50    | < 0.35                 | < 0.25         |
| Small     | 0.50-1.25 | 0.35-0.80              | 0.25-0.50      |
| Moderate  | 1.25-1.9  | 0.80-1.50              | 0.50-1.0       |
| Large     | > 2.0     | > 1.50                 | > 1.0          |

Untrained = individuals who have not been consistently trained for 1 year; recreationally trained = individuals training consistently from 1-5 years; highly trained = individuals training for at least 5 years.

#### 5. Conclusion

In addition to indicating statistical significance, empirical studies should specify effect sizes as a quantitative measure for assessing practical relevance (Leonhart, 2004). However, effect sizes should be specified for individual research disciplines or domains, and should be interpreted dynamically. For example, for strength training beginners, this would result in high effect sizes that explain the high increases in strength training in the first few months compared with those at an advanced or expert level. In the further course of training, the corresponding performance increases are smaller – a fact that likely also applies to learning processes – which is expressed by lower absolute effect sizes. However, as shown with the example of the 100m sprint, effect sizes must be interpreted differently according to the target group, setting and issue. For the field of strength training research, the effect sizes presented in table 3 should be validated in the scientific community. If common effect sizes exist in a given research field, then they should be used to assess study results in that field. Particularly the applied sciences, and explicitly sports science or strength training research, should statistically underpin the significance of not only the results found, but also document the practical relevance of individual effects and consider this against the background of the factors discussed here.

#### 6. References

- [1] J. Bortz, N. Döring. *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer, 2006.
- [2] J. Cohen. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, London u. a.: Academic Press, 1969.
- [3] J. Cohen. A power primer. *Quantitative Methods in Psychology*. 1992, **12**(1): 155-159.
- [4] A. Conzelmann, M. Raab. *Datenanalyse: Das Null-Ritual und der Umgang mit Effekten in der Zeitschrift für Sportpsychologie*. *Zeitschrift für Sportpsychologie*. 2009, **16**(2): 43-54.

- [5] E. J. Drinkwater. Applications of confidence limits and effect sizes in sport research. *The Open Sports Sciences Journal*. 2008, **1**(1): 3-4.
- [6] M. Fröhlich, J. Gießing. The effectiveness of single-set vs. multiple-set training – A meta-analytical consideration. In J. Gießing, M. Fröhlich (Eds.), *Current results of strength training research. A multi-perspective approach*. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2008, pp. 9-33.
- [7] M. Fröhlich, D. Schmidtbleicher. Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2008, **59**(2): 34-42.
- [8] M. Fröhlich, E. Emrich, D. Schmidtbleicher. Outcome effects of single-set vs. multiple-set training – an advanced replication study. *Research in Sports Medicine: An International Journal*. in press.
- [9] M. Fröhlich, J. Gießing, D. Schmidtbleicher, E. Emrich. A comparison between 2 and 3 days of strength training per week – A metaanalytical approach. In J. Gießing, M. Fröhlich (Eds.), *Current results of strength training research. A multi-perspective approach*. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2008, pp. 151-166.
- [10] G. V. Glass, B. McGaw, M. L. Smith. *Meta-analysis in social research*. Beverly Hills: CA: Sage, 1981.
- [11] J. A. Hall, R. Rosenthal. Interpretation and evaluating meta-analysis. *Evaluation & the Health Professions*. 1995, **18**(4): 393-407.
- [12] L. V. Hedges, I. Olkin. *Statistical methods for meta-analysis*. New York, London u. a.: Academic Press, 1985.
- [13] J. E. Hunter, F. L. Schmidt. *Methods of meta-analysis: correcting error and bias in research*. Newbury Park: Sage, 2004.
- [14] R. Leonhart. *Effektgrößenberechnung bei Interventionsstudien*. Rehabilitation. 2004, **43**: 241-246.
- [15] S. B. Morris. Estimating effect sizes from pretest-posttest-control group designs. *Organizational Research Methods*. 2008, **11**(2): 364-386.
- [16] M. D. Peterson, M. R. Rhea, B. A. Alvar. Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004, **18**(2): 377-382.
- [17] M. R. Rhea, B. Alderman. A meta-analysis of periodized versus nonperiodized strength and power training programs. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2004, **75**(4): 413-422.
- [18] M. R. Rhea. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004a, **18**(4): 918-920.
- [19] M. R. Rhea. Synthesizing strength and conditioning research: the meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004b, **18**(4): 921-923.
- [20] M. R. Rhea, B. A. Alvar, L. N. Burkett, S. D. Ball. A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2003, **35**(3): 456-464.
- [21] R. L. Rosnow, R. Rosenthal. Computing contrasts, effect sizes, and counternulls on other people's published data: general procedures for research consumers. *Psychological Methods*. 1996, **1**(4): 331-340.
- [22] P. Sedlmeier. Jenseits des Signifikanztest-Rituals: Ergänzungen und Alternativen. *Methods of Psychological Research Online*. 1996, **1**(4): 41-63.
- [23] J. R. Thomas, J. K. Nelson, S. J. Silverman. *Research methods in physical activity*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2005.