

Nico Ganter

Adaptationsverhalten im Trainingsprozess

Modellierung des Verlaufs der sportlichen Leistungsfähigkeit
im Schwimmen und Radfahren



Nico Ganter

Adaptationsverhalten im Trainingsprozess

Modellierung des Verlaufs der sportlichen Leistungsfähigkeit
im Schwimmen und Radfahren

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Informationen sind im Internet unter: [<http://dnb.ddb.de>](http://dnb.ddb.de) abrufbar.

© Lehmanns Media • Berlin 2010
Hardenbergstraße 5 • 10623 Berlin

Coverfoto: Links: © Christophe Schmid - Fotolia.com
Rechts: © Niklas Ramberg - Fotolia.com

Druck und Bindung: Docupoint Magdeburg

ISBN: 978-3-86541-378-9

www.lehmanns.de

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die in irgendeiner Form für das Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben.

Dabei ist an erster Stelle meine Betreuerin Frau PD Dr. Kerstin Witte zu nennen, die mich von Beginn an in allen Fragen unterstützt hat. Ihr ist es auch zu verdanken, dass ich das Vorankommen der Arbeit nie aus dem Blickfeld verloren habe. Ein Dank geht auch an Herrn Prof. Martin Lames, der sich sofort für die Begutachtung der Arbeit bereit erklärt hat.

Besonders hervorheben möchte ich meinen Kollegen und Freund Andreas (Andy) Krüger, der mich über die letzten Jahre begleitet und damit auch vieles einfacher gemacht hat. Weiterhin geht ein Dank an alle Mitarbeiter des Instituts für Sportwissenschaft, mit denen ich innerhalb der letzten Jahre zu tun hatte. Insbesondere ist Herr Prof. Edelmann-Nusser zu nennen, der an vielen Stellen auch zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ohne die beteiligten Sportler wäre diese Arbeit nie zustande gekommen. Vielen Dank an alle für ihr persönliches Engagement und den Schweiß, der dafür fließen musste. Hervorheben möchte ich auch Herrn Bernd Henneberg, Schwimmtrainer des SC Magdeburg, der sich stets kooperativ für alle wissenschaftlichen Belange zeigte.

An wichtigster Stelle möchte ich meine Eltern nennen. Sie haben mich stets unterstützt und alles erst ermöglicht, was für das Zustandekommen dieser Arbeit nötig war.

Einen besonderen Platz möchte ich auch meinem gesamten Freundeskreis widmen, der für mich einen unverzichtbaren Gegenpol zum Gelingen einer solchen Arbeit bildet. Besonders erwähnen möchte ich Jan, Christian, Andreas und Steffen.

Der größte Dank geht an meine Grit, nicht nur dafür, dass sie diese Arbeit lesen musste. Sie hat in den vergangenen Jahren das nötige Verständnis aufgebracht und musste oft zurückstecken. Du bist mein größter Rückhalt!

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	7
1 Einleitung.....	13
2 Theoretischer Hintergrund.....	16
2.1 Modellvorstellungen zum sportlichen Training und zur Adaptation	16
2.1.1 Adaptation und Superkompensationsmodell	16
2.1.2 Kybernetisches Modell der Trainingssteuerung.....	19
2.1.3 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept des Trainings	21
2.1.4 Training unter synergetischem Aspekt	22
2.1.4.1 Training und Adaptation als nichtlineares dynamisches System	22
2.1.4.2 Synergetik als Theorie der Selbstorganisation	24
2.1.4.3 Synergetischer Ansatz des Trainings	26
2.1.5 Forschungsdefizit bezogen auf Modellvorstellungen zum sportlichen Training	27
2.2 Ein systemtheoretischer Ansatz zur Beschreibung der Leistungsentwicklung im Trainingsprozess.....	28
2.3 Trainingsbedingte Anpassungen des neuromuskulären Systems und Oberflächenelektromyografie zur Erfassung der neuromuskulären Aktivierung	32
2.3.1 Trainingsbedingte Anpassungen des neuromuskulären Systems	32
2.3.1.1 Neuromuskuläres System als Leistungsvoraussetzung und physiologische Grundlagen	32
2.3.1.2 Anpassungen durch Ausdauertraining.....	35
2.3.1.3 Anpassungen durch Krafttraining	37
2.3.2 Oberflächenelektromyografie (EMG) zur Erfassung der neuromuskulären Aktivierung	38
2.3.2.1 Physiologie und Auswertung des EMG-Signals.....	38
2.3.2.2 Trainingsprozessbezogene Untersuchungen von EMG- Signalparametern	41
2.3.3 Forschungsdefizit bezogen auf trainingsbedingte Anpassungen des neuromuskulären Systems und deren Erfassung mit Hilfe der Oberflächenelektromyografie	43
2.4 Statistische und Modellbasierte Ansätze zur Analyse des zeitabhängigen Zusammenhangs zwischen Trainingsbelastung und Leistung.....	44
2.4.1 Statistische Zeitreihenanalysen	45
2.4.1.1 Definition und Einsatzgebiete	45

2.4.1.2	Beschreibung von Wirkungszusammenhängen.....	46
2.4.1.3	Trainingswissenschaftliche Untersuchungen.....	46
2.4.1.4	Methodische Besonderheiten beim Einsatz der Verfahren.....	49
2.4.2	Fitness-Fatigue-Modell.....	49
2.4.2.1	Konzept und Struktur des Modells.....	49
2.4.2.2	Kalibrierung des Modells.....	51
2.4.2.3	Validierung des Modells und der Modellkomponenten.....	52
2.4.2.4	Anwendungen des Modells.....	54
2.4.3	PerPot-Modell.....	54
2.4.3.1	Konzept und Struktur des Modells.....	54
2.4.3.2	Kalibrierung und Validierung des Modells.....	57
2.4.3.3	Einsatzszenarien und Anwendungen des Modells.....	57
2.4.4	Neuronale Netze.....	59
2.4.5	Ausblick auf weitere Ansätze.....	61
2.4.6	Forschungsdefizit bezogen auf die Analyse des zeitabhängigen Zusammenhangs zwischen Trainingsbelastung und Leistung.....	62
3	Abgeleitete Fragestellungen.....	63
4	Methoden.....	65
4.1	Forschungszugang.....	65
4.2	Stichprobe.....	65
4.2.1	Schwimmen.....	65
4.2.2	Radfahren.....	66
4.3	Training und Leistungsdiagnostik.....	66
4.3.1	Schwimmen.....	66
4.3.2	Radfahren.....	68
4.4	Testdurchführung und –auswertung.....	72
4.4.1	Schwimmen.....	72
4.4.2	Radfahren.....	73
4.4.2.1	30s-Test.....	73
4.4.2.2	Laktatstufentest.....	74
4.5	EMG-Aufnahme und –auswertung.....	75
4.5.1	EMG-System.....	75
4.5.2	EMG-Aufnahme.....	75
4.5.2.1	Schwimmen.....	75
4.5.2.2	Radfahren.....	76

4.5.3	EMG-Auswertung	76
4.5.3.1	Schwimmen	76
4.5.3.2	Radfahren	80
4.6	Evaluation der Test- und Analyseverfahren	83
4.6.1	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf der Schwimmbank	83
4.6.2	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf dem Radergometer und der Einfluss von Lerneffekten auf die Testleistung	83
4.6.2.1	Test-Retest-Reliabilität des 30s-Tests	83
4.6.2.2	Einfluss von Lerneffekten	84
4.7	Prozessbezogene Analyse des Leistungsverlaufs und der EMG-Spektralgrößen	84
4.7.1	Untersuchungsvariablen	84
4.7.2	Verlaufsanalyse	85
4.7.3	Zusammenhangsanalyse	87
4.8	Modellierung des Leistungsverlaufs mit antagonistischen Trainingswirkungsmodellen	89
4.8.1	Fitness-Fatigue-Modell	89
4.8.2	PerPot-Modell	90
4.8.3	Prädiktion der Leistung im Radfahren	91
4.9	Datenanalyse unter systemtheoretischem Aspekt	92
4.9.1	Trainingsbelastung vs. Leistungsentwicklung	92
4.9.2	Nichtlineare Zeitreihenanalyse	92
4.9.3	Variabilität im System	94
5	Ergebnisse und Interpretation	95
5.1	Evaluation der Test- und Analyseverfahren	95
5.1.1	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf der Schwimmbank	95
5.1.2	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf dem Radergometer	95
5.1.3	Lerneffekte beim 30s-Test auf dem Radergometer	96
5.2	Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen im Trainingsprozess	97
5.2.1	Schwimmen	97
5.2.1.1	Deskriptive Statistik	97
5.2.1.2	Zusammenhangsanalyse der Untersuchungsvariablen	99

5.2.1.3	Einzelfallbezogene Darstellung des Leistungsverlaufs	101
5.2.1.4	Einzelfallbezogene Darstellung des EMG-Frequenzverhaltens.....	104
5.2.1.5	Trainingsphasenbezogene Analyse des Leistungsverlaufs	105
5.2.1.6	Trainingsphasenbezogene Analyse des EMG-Frequenzverhaltens	107
5.2.2	Radfahren.....	110
5.2.2.1	Deskriptive Statistik	110
5.2.2.2	Zusammenhangsanalyse der Untersuchungsvariablen.....	111
5.2.2.3	Einzelfallbezogene Darstellung des Leistungsverlaufs und EMG- Frequenzverhaltens.....	113
5.2.2.4	Trainingsphasenbezogene Analyse des Leistungsverlaufs und EMG-Frequenzverhaltens	115
5.3	Modellierung des Leistungsverlaufs mit antagonistischen Trainingswirkungsmodellen	117
5.3.1	Schwimmen.....	117
5.3.2	Radfahren.....	121
5.3.2.1	Modellierung des Leistungsverlaufs	121
5.3.2.2	Prädiktion des Leistungsverlaufs	127
5.4	Sportlicher Leistungsverlauf unter systemtheoretischem Aspekt	130
5.4.1	Systemdynamik	130
5.4.2	Variabilität im System.....	143
6	Diskussion.....	147
6.1	Evaluation der Test- und Analyseverfahren	147
6.1.1	Reliabilität der 30s-Testleistung auf der Schwimmbank	147
6.1.2	Validität der 30s-Testleistung auf der Schwimmbank.....	147
6.1.3	Reliabilität der 30s-Testleistung auf dem Radergometer und der Einfluss von Lerneffekten auf die Testleistung	150
6.1.4	Validität der 30s-Testleistung auf dem Radergometer.....	150
6.1.5	Authentizität der EMG-Spektralgrößen im 30s-Test	152
6.2	Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen im Trainingsprozess.....	155
6.2.1	Schwimmen.....	155
6.2.1.1	Leistungsverlauf	155
6.2.1.2	EMG-Spektralgrößen.....	158
6.2.1.3	Zusammenhang von Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen .	161
6.2.2	Radfahren.....	161
6.2.2.1	Leistungsverlauf	161
6.2.2.2	EMG-Spektralgrößen.....	163

6.2.2.3	Zusammenhang von Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen .	165
6.3	Modellierung des Leistungsverlaufs mit antagonistischen Trainingswirkungsmodellen	165
6.3.1	Schwimmen	166
6.3.1.1	Fitness-Fatigue-Modell	166
6.3.1.2	PerPot-Modell	167
6.3.2	Radfahren	167
6.3.2.1	Fitness-Fatigue-Modell	167
6.3.2.2	PerPot-Modell	168
6.3.2.3	Leistungsprädiktion	169
6.3.3	Vergleich der Modelle	170
6.4	Sportlicher Leistungsverlauf unter systemtheoretischem Aspekt	172
6.5	Zusammenfassende Diskussion der Fragestellungen	176
7	Zusammenfassung und Ausblick	180
7.1	Zusammenfassung	180
7.2	Ausblick	183
7.2.1	Praktische Konsequenzen	183
7.2.2	Forschungsbezogene Aspekte	184
8	Literatur	187
Anhang	207
A.	Methoden	207
B.	Ergebnisse	211
C.	Abbildungsverzeichnis	219
D.	Tabellenverzeichnis	225
E.	Abkürzungsverzeichnis	228

1 Einleitung

Aus der Sicht des Zuschauers liegt die Faszination des sportlichen Wettkampfs unter anderem in dessen genereller Unvorhersehbarkeit. Niemand kann im Voraus mit hundertprozentiger Sicherheit sagen, welcher Sportler oder welche Mannschaft erfolgreich sein wird. Das beobachtbare Wettkampfgeschehen ist oft durch hauchdünne Entscheidungen oder „dramatische“ Wendungen im Verlauf geprägt. Der Sport hat so insgesamt schon mehr unvergessliche Spannungsmomente geschaffen, als es alle Filmdrehbücher dieser Welt je vermögen werden. Nicht zuletzt dadurch lässt sich die enorme Popularität des „Unterhaltungsmediums“ Sports erklären.

Im Wettkampf selbst sind es am Ende oft kleinste Nuancen, die den Ausschlag über Erfolg oder Nicht-Erfolg geben. Der Sportler kann sich mit dem Wissen über diese Situation jedoch nur bedingt zufrieden geben. Er muss seine „Hausaufgaben machen“ und sich so vorbereiten, dass er eine maximale Aussicht auf Erfolg hat. Das sportliche Training, das dem Wettkampf vorausgeht, ist im Hochleistungsbereich oft genau darauf ausgerichtet, am „Tag X“ die bestmögliche Leistung hervorzubringen und so die Erfolgswahrscheinlichkeit zu erhöhen. Die „Kunst“ des Trainers oder Sportlers ist es nun, das Training zeitlich und inhaltlich so zu gestalten, dass sich die gewünschte Form möglichst termingenuau einstellt. Dieses Vorgehen setzt umfassende Kenntnisse über die Belastungsauswirkungen voraus, die im menschlichen Organismus durch das Training verursacht werden. In der Trainingswissenschaft ist man bestrebt Modelle zu entwickeln, mit denen die Wirkung sportlichen Trainings beschrieben werden kann, um damit Planungshilfen für die Trainingspraxis zu schaffen. Mit dem heutigen Kenntnisstand ist man sich bewusst, dass einfache Beschreibungsmodelle kaum geeignet sein dürften, der Komplexität der biologischen Anpassung des menschlichen Organismus im situativen Kontext des Trainingsprozesses gerecht zu werden. Auf der Suche nach geeigneten Ansätzen in anderen Wissenschaftsdisziplinen haben u.a. die nichtlinearen Systemtheorien Einzug in die Sportwissenschaft gehalten. Diese haben sich zuletzt in der Formulierung einer synergetischen Betrachtungsweise des Trainings (Hohmann et al., 2002) niedergeschlagen. Die Aufgabe der Trainingswissenschaft muss es sein, nach empirischen Evidenzen für entsprechende Wirkungsmodelle in der Trainingspraxis zu suchen, um so einen Erkenntnisfortschritt zu erzielen. Auf dieser Basis sollen die prozessualen Aspekte des sportlichen Trainings und der Entwicklung der sportlichen Leistung einen wesentlichen Kern der vorliegenden Arbeit bilden.

Die **Zielstellung der Arbeit** besteht in der Formulierung eines erweiterten systemtheoretischen Modellansatzes zur Beschreibung der Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit im Trainingsprozess auf der Basis der synergetischen Betrachtungsweise des Trainings. Im Rahmen von empirischen Untersuchungen soll der Frage nachgegangen werden, inwieweit sich innerhalb von trainingsprozessbezogenen Verlaufsdaten Hinweise für einen sich selbstorganisierenden

systemdynamischen Charakter im zeitlichen Verlauf der Anpassung des Sportlers im Training finden lassen. Dazu werden in einzelfallbezogenen Längsschnittuntersuchungen Trainingsinhalte und leistungsbezogene Merkmale von Sportlern auf hohem Leistungsniveau im Schwimmen und im Radfahren erfasst. Die Auswahl dieser Ausdauersportarten erfolgt unter der Annahme, dass das Training in hohem Maße auf das Auslösen von physiologischen Anpassungsleistungen gerichtet ist und zudem Trainingsinhalte und komplexe Leistungsparameter einer quantitativen Analyse relativ gut zugänglich sind. Einen Schwerpunkt bei der Analyse der trainingsprozessbezogenen Daten bilden die Anpassungen im neuromuskulären System. Dazu wird mittels Einsatz des biomechanischen Untersuchungsverfahrens der Oberflächenelektromyografie (EMG) die neuromuskuläre Aktivierung relevanter Antriebsmuskeln während der Leistungskontrollen im Verlauf des Trainingsprozesses dokumentiert. Einen weiteren Schwerpunkt bilden unter trainingswissenschaftlichen und trainingspraktischen Gesichtspunkten modellbasierte Ansätze zur Analyse des zeitabhängigen Zusammenhangs von Trainingsbelastung und Leistungsentwicklung, die individuelle Analysen des Adaptationsverhalten des Sportlers ermöglichen und so Potential für den Einsatz im Rahmen der Trainingssteuerung besitzen.

Die Arbeit setzt sich aus einem theoretischen und einem empirischen Teil zusammen:

Der theoretische Teil ist insgesamt in drei Schwerpunkte unterteilt. Im ersten Teil werden grundlegende Modellvorstellungen im Kontext von sportlichem Training und Adaptation dargestellt, wobei der synergetische Ansatz des Trainings zum Abschluss einen Schwerpunkt bildet und anschließend durch die Formulierung eines erweiterten systemtheoretischen Ansatzes zur Beschreibung der Leistungsentwicklung ergänzt wird. Der zweite Teil beschäftigt sich mit trainingsbedingten Anpassungsmechanismen des neuromuskulären Systems und versucht darzustellen, inwiefern diese mit Hilfe des Untersuchungsverfahrens der Oberflächenelektromyografie indirekt registrierbar sein können. Im dritten Teil erfolgt eine Übersicht von statistischen und modellbasierten Ansätzen, die zur individuellen Analyse des zeitabhängigen Zusammenhangs von Training und Leistungsentwicklung eingesetzt werden können, wobei der Schwerpunkt auf die im Rahmen der Arbeit verwendeten antagonistischen Trainingswirkungsmodelle gelegt wird.

Aufbauend auf den im theoretischen Teil dargestellten Forschungsdefiziten erfolgt dann die Herausarbeitung der konkreten Fragestellungen für den empirischen Teil der Arbeit.

Zu Beginn des empirischen Teils wird zunächst die methodische Vorgehensweise zur Bearbeitung der Fragestellungen ausführlich dargestellt. Dies beinhaltet sowohl den Untersuchungsansatz mit Informationen zur Untersuchungsstichprobe und zum Trainingsprozess in den beiden Sportarten, geht aber auch detailliert auf die verwendeten Untersuchungsmethoden, insbesondere die Durchführung der Oberflächenelektromyografie und das Vorgehen bei der Auswertung der EMG-Signale ein.

Anschließend werden die Maßnahmen zur Evaluierung der eingesetzten Test- und Analyseverfahren dargestellt. Die Methodik wird ergänzt mit der Beschreibung des Vorgehens bei der prozessbezogenen Auswertung der Daten, bei der Modellierung des Leistungsverlaufs und der Datenanalyse unter systemtheoretischem Aspekt. Der anschließende Ergebnisteil geht zunächst auf die Evaluierung der Verfahren ein und orientiert sich im weiteren Aufbau an der Reihenfolge der formulierten Fragestellungen, d.h. bezieht sich zunächst auf den Verlauf der Leistung und der EMG-Spektralgrößen im Trainingsprozess, stellt anschließend die Leistungsmodellierungen mit antagonistischen Modellen dar und dokumentiert abschließend die Ergebnisse unter systemtheoretischen Gesichtspunkten. Im Diskussionsteil wird auf die Ergebnisse der einzelnen Abschnitte in Bezug auf die formulierten Fragestellungen eingegangen und mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick geschlossen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Modellvorstellungen zum sportlichen Training und zur Adaptation

In der Auseinandersetzung mit dem Thema ist es zunächst unabdingbar eine Begriffsbestimmung des sportlichen Trainings und dem damit verbundenen Verständnis von körperlicher Adaptation als Auswirkung des Trainings vorzunehmen. Im Anschluss sollen die wesentlichen Aspekte der im Kontext des Trainingsprozesses und mit Bezug zur Zielstellung der Arbeit vorliegenden Modellvorstellungen dargelegt werden.

Bei einer umfassenden Betrachtungsweise aus der Perspektive der Trainingswissenschaft lässt sich (sportliches) Training als die „planmäßige und systematische Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte und Trainingsmethoden) zur nachhaltigen Erreichung von Zielen (Trainingsziele) im und durch Sport“ auffassen (Hohmann et al., 2003, S. 15). Bei einer Eingrenzung auf die leistungssportliche Betrachtungsweise verstehen Schnabel et al. (2003, S. 190) das sportliche Training als „komplexe planmäßige und zielorientierte Einwirkung auf die sportliche Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft durch Trainingstätigkeit des Sportlers und Führungs- und Lenkungsmaßnahmen von Trainern mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit zu steigern bzw. zu stabilisieren“. Darin spiegelt sich bereits die doppelte Bedeutung des Trainingsbegriffs, im Sinne von *ich trainiere* (Innenperspektive) und im Sinne von *Jemanden-trainieren* (Außenperspektive) wider. Daher lassen sich bestehende Modellvorstellungen zur Innenperspektive des Trainings (siehe Kap. 2.1.1) und zur Trainingssteuerung (z.B. das kybernetische Modell der Trainingssteuerung, siehe Kap. 2.1.2) unterscheiden. Hohmann et al. (2003, S. 151) betonen jedoch, dass integrative Modelle entwickelt werden müssen, die beide Perspektiven berücksichtigen. Bisherige integrative Ansätze des Trainings finden sich im Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (siehe Kap. 2.1.3) und der synergetischen Betrachtungsweise des Trainings (siehe Kap. 2.1.4).

2.1.1 Adaptation und Superkompensationsmodell

Schnabel et al. (2003, S. 60) unterscheiden zwei wesentliche Mechanismen der Fähigkeitsveränderung, die für eine Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit im Training verantwortlich sind, die Informationsorganisation und die (morphologisch-funktionelle) Adaptation. Die Notwendigkeit einer Unterscheidung von Informationsorganisation und Adaptation resultiert daraus, dass für die Funktionssysteme auf der Ebene der Handlungssteuerung und der Bewegungsregulation der sportlichen Tätigkeit informationelle Prozesse die entscheidende Rolle spielen und eine Funktionssteigerung hier im wesentlichen aktiven Charakter trägt. Auf der anderen Seite ist die Adaptation ihrer ursprünglichen Bedeutung nach ein reaktiver Prozess (vgl. ebenda,

S. 61). Beide Mechanismen der Fähigkeitsveränderung werden in bestehenden Betrachtungen jedoch begrifflich nicht immer eindeutig voneinander getrennt. So basiert die sportbedingte Adaptation nach Israel (1995) „auf der Optimierung von Regelungsprozessen und der Zunahme der Kapazität von Funktionssystemen“ und „führt zur Steigerung der Funktionstüchtigkeit, Leistungsfähigkeit und der Belastungstoleranz“ (aus Hohmann et al., 2003, S. 151).

Die morphologisch-funktionellen Anpassungsleistungen finden sich hauptsächlich in den energieliefernden und energieübertragenden Funktionssystemen und bilden damit die Grundlage für die Entwicklung der energetischen und konstitutionellen Leistungsvoraussetzungen. Beide sind wiederum die Basis für die Ausprägung des konditionellen Fähigkeitsniveaus (Schnabel et al., 2003, S. 81). Als Ausgangspunkt für die morphologisch-funktionelle Adaptation kann der von Wilhelm Roux schon 1895 beschriebene Mechanismus der aktiven Anpassung angesehen werden, der besagt: „Unter dem Einfluss einer gesteigerten Funktion passen sich Zellen eines Gewebes, das Organ und letztendlich der Gesamtorganismus so an, dass durch eine höhere Organmasse (Hypertrophie) und eine höhere Leistungsfähigkeit der Mehrbelastung entgegengewirkt wird“. Als Auslöser für die Anpassung kommen dabei alle Umweltreize in Frage, die auf den Organismus einwirken. In unserem neuzeitlichen Verständnis kann sportliches Training unter dem Aspekt der Leistungssteigerung als das bewusste artifizielle Schaffen von Umweltreizen angesehen werden, mit dem Ziel Anpassungsmechanismen im Organismus auszulösen. Bezogen auf das Training wird davon ausgegangen, dass sich die biologischen Funktionssysteme in einem Gleichgewichtszustand (Homöostase¹) befinden und über eine gewisse Funktionsbreite verfügen, die es ermöglicht Leistungsanforderungen, die über das Ruheniveau hinausgehen, zu erfüllen. Im Anschluss an eine erhöhte Leistungsanforderung schwingen die beanspruchten Funktionssysteme wieder in den Gleichgewichtszustand zurück. Die Fähigkeit des Organismus auf überdurchschnittliche körperliche Mehrbelastungen mit morphologischen und funktionellen Anpassungen zu reagieren, führt zu einer Erweiterung der Funktionsbreite der Systeme und damit zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit, sowie zu einer Beschleunigung von Erholungsvorgängen. Die Anpassungsprozesse lassen sich dabei weiter unterscheiden in eine metabolische Form (d.h. den Stoffwechsel betreffend) und in eine epigenetische Form (d.h. die Organe betreffend). Während die epigenetische Adaptation den mittelfristigen Prozess der Höherentwicklung von Organen und Organfunktionen als Folge mehrfacher Belastungswirkungen einschließt, bezieht sich die metabolische Adaptation auf die akut-regulatorischen Prozesse der Energieversorgung während und unmittelbar nach der einzelnen Belastungswirkung (Schnabel et al., 2003, S. 81ff).

¹ Der Begriff „Homöostase“ für die Beschreibung biologischer Systeme wurde 1932 von Cannon geprägt.

Als Erweiterung des Homöostase-Prinzips kann das von Jakowlew (1977) beschriebene Prinzip der Superkompensation (oder auch Überkompensation) gesehen werden, dass von Harre (1982) in die Trainingslehre eingebracht wurde. Es basiert auf Ergebnissen von Laborversuchen, die von Jakowlew bereits seit Mitte der 1950er Jahre durchgeführt wurden. So konnte Jakowlew nachweisen, dass nach intensiver muskulärer Belastung energetische Substrate, wie das Muskelglykogen, in der nachfolgenden Wiederherstellungsphase über das Ausgangsniveau hinaus eingelagert werden. Dieses Phänomen konnte in der Folge u.a. auch bei der Resynthese des Kreatinphosphats, der enzymatischen und strukturellen Proteine, von Phospholipiden, sowie der Mitochondrienanzahl in den Muskelfasern nachgewiesen werden (u.a. Jakowlew, 1977; vgl. Abb. 1). Aufgrund einer Vielzahl von Befunden und daraus abgeleiteter Verallgemeinerungen entwickelte sich das Superkompensationsmodell in der Folge zu einer Art Basisprinzip für die Leistungssteigerung durch Training. Dabei wurde postuliert, dass es nach einer Trainingsbelastung zu einer vorübergehenden Verminderung der Leistungsfähigkeit (Ermüdung) kommt, welche sich im Anschluss über das Ausgangsniveau hinaus entwickelt (vgl. Abb. 1). Würde der nächste überschwellige Trainingsreiz dann im Bereich der Superkompensationsphase gesetzt, ließe sich die Leistungsfähigkeit nach dem gleichen Prinzip weiter steigern.

Eine Verallgemeinerung des (biologischen) Superkompensationsprinzips und dessen Einsatz im Rahmen der Trainingssteuerung stehen jedoch in jüngerer Vergangenheit vermehrt in der Kritik (Mader, 1990; Friedrich & Möller, 1999; Mester & Perl, 2000). Diese bezieht sich zum einen darauf, dass die durch das Training beanspruchten Funktionssysteme sehr unterschiedlich lange Zeiträume für die Wiederherstellung bzw. Überkompensation benötigen und zudem die vielfältigen Trainingswirkungen komplexen und individuellen Wechselwirkungen unterliegen und somit eine exakte zeitliche Vorhersage der Leistungsentwicklung gar nicht möglich erscheint. Zum anderen stellt Mader (1990) fest, dass das Superkompensationsmodell lediglich eine Beschreibung des Systemverhaltens bei einer einzelnen Belastung sei, ohne erkennen zu lassen, welches Regelungsprinzip dem zugrunde liegt. Mester und Perl (2000, S. 44) ergänzen dazu, dass das Superkompensationsprinzip systemtheoretisch betrachtet kein Ansatz sein kann, mit dem Anpassung hinreichend modelliert werden kann, da in einem Homöostase-Modell Stationarität² Voraussetzung ist. Damit wäre über den Zeitverlauf ein Nullwachstum verbunden und eine Anpassung im Sinne eines Entwicklungstrends nicht möglich. Weitere Kritikpunkte beziehen sich darauf, dass das Modell keine Differenzierung der Belastungswirkung bei Sportlern verschiedener Altersgruppen oder auf unterschiedlichem Leistungsniveau zulässt und dass es nur begrenzte Erklärungsfähigkeit für koordinativ, technisch oder taktisch determinierte Leistungen bietet (Hohmann et al., 2003).

² Stationarität einer stochastischen Zeitreihe ist dann gegeben, wenn sich Mittelwert, Varianz und Autokorrelation über den Zeitverlauf nicht verändern (Mester & Perl, 2000, S.44).

Zudem findet der nach dem Quantitätsgesetz des Trainings bestehende asymptotische Zusammenhang zwischen Belastungssteigerung und Leistungsentwicklung für langfristige Adaptationsprozesse keine Berücksichtigung im Modell, was eine dementsprechende Gültigkeit in Frage stellt.

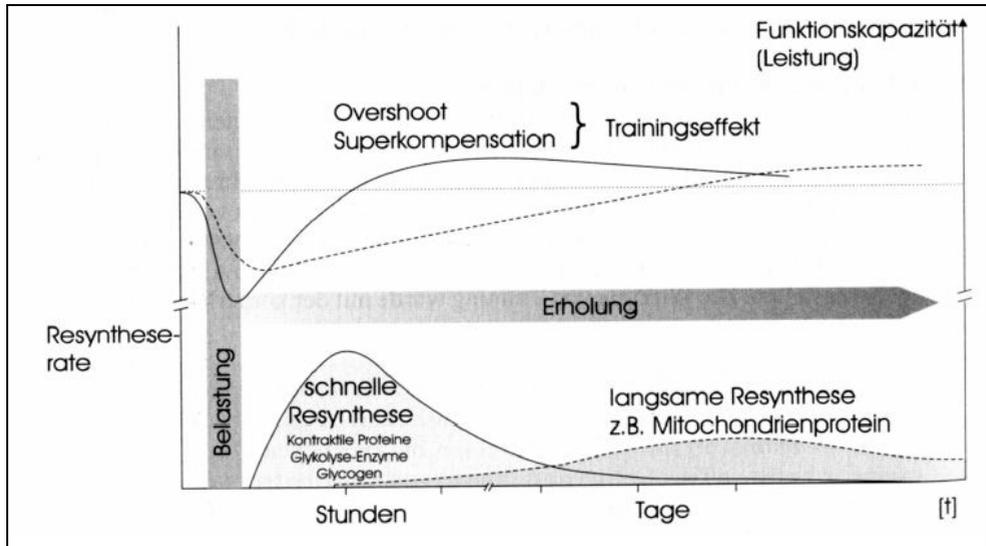


Abb. 1. Das Superkompensationsprinzip zur Beschreibung des Leistungsverlaufs und in Bezug auf verschiedene Anpassungsreaktionen (nach Liesen, 1983; aus Hohmann et al., 2003, S. 152)

2.1.2 Kybernetisches Modell der Trainingssteuerung

Wird die Außenperspektive des Trainings, im Sinne von „jemanden trainieren“ betrachtet, haben sich die Bezeichnungen Steuerung des Trainings bzw. Trainingssteuerung etabliert. Der Begriff „Steuerung“ entstammt dabei den systemtheoretischen Modellvorstellungen der Kybernetik. Zaciorskij (1971; 1972) war der Erste, der die Theorie der Kybernetik in Bezug zum sportlichen Training eingebracht hat. In Anlehnung daran wird der Trainingsprozess als eine Art Regelkreis beschrieben, der ein geschlossenes Rückkopplungssystem darstellt und gegenüber äußeren und inneren Einwirkungen relativ stabil bleibt (Carl, 1984). Die Grundannahme ist dabei, dass sich die Regelgröße „sportliche Leistungsfähigkeit“ durch Manipulation der Stellgröße Trainingsbelastung exakt steuern lässt (vgl. Abb. 2).

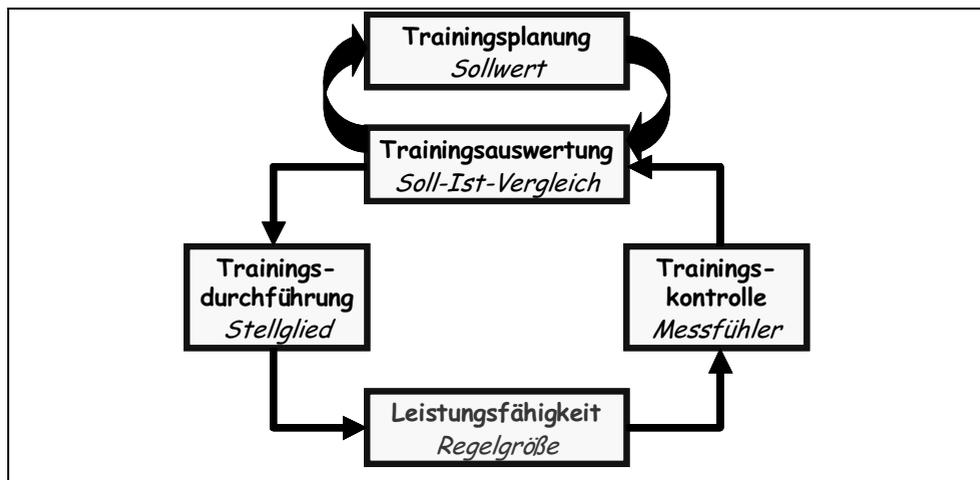


Abb. 2. Regelkreismodell der Trainingssteuerung (nach Hohmann et al., 2003, S. 159)

Den Ausgangspunkt der Trainingssteuerung bildet die Instanz Trainingsplanung, die in Abhängigkeit von den Trainingszielen und den individuellen Randbedingungen des Athleten und des Trainers spezifische Sollwerte für den Trainingsprozess generieren muss. Die Trainingsdurchführung als Stellglied des Regelkreises beinhaltet alle planmäßigen Interventionen, die zur Erreichung der Trainingsziele und damit zur Veränderung der Regelgröße sportliche Leistungsfähigkeit eingesetzt werden. Die Wirksamkeit der Trainingsinterventionen muss über die Instanzen Trainingskontrolle und Trainingsauswertung einzelfallorientiert evaluiert werden. Dies erfolgt in der Regel mit Methoden der Trainingsprotokollierung und Leistungskontrolle. Über einen Vergleich der erreichten Istwerte mit den planerischen Sollwerten ist dann eine Anpassung und/oder eine Korrektur der Trainingsplanung vorzunehmen (vgl. Hohmann et al., 2003, S.158ff).

Obwohl das Konzept der kybernetischen Trainingssteuerung nach wie vor eine wesentliche Grundlage für die systematische Planung, Durchführung und Evaluation von Trainingsprozessen darstellt, werden kritische Punkte des Modells von Hohmann et al. (2003, S. 160) diskutiert. So wird in Anlehnung an die kybernetischen Modellvorstellungen von einer vollständigen mathematischen Beschreibbarkeit der Reiz-Wirkungs-Relationen ausgegangen und damit, trotz der vielfältigen vorhandenen „Störgrößen“ eine präzise Steuerbarkeit des Trainingsprozesses angenommen. Bei ganzheitlicher Betrachtungsweise sind Trainingsprozesse hingegen aufgrund der Vernetztheit der Teilprozesse als hochgradig komplex anzusehen, stehen dabei in ständiger Wechselwirkung mit der Umwelt und zeichnen sich durch nichtlinear rückgekoppelte Entscheidungs- und Wirkungsmechanismen aus (vgl. ebenda, S. 160). Diese Eigenschaften sind mit kybernetischen Regelvorstellungen jedoch nicht zu vereinen.

2.1.3 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept des Trainings

Auf der Suche nach integrativen Ansätzen zur Modellbildung des sportlichen Trainings hat auch das aus der Arbeitswissenschaft entstammende Belastungs-Beanspruchungs-Paradigma (Rohmert, 1984) Einzug in die Trainingswissenschaft gefunden (Willimczik et al., 1991; Schlicht, 1992; Schnabel et al., 1994; Olivier, 2001). Das ergonomische Belastungs-Beanspruchungs-Konzept basiert auf der Grundidee, dass in Abhängigkeit von den unterschiedlichen individuellen Voraussetzungen, die gleiche von außen einwirkende Belastung zu unterschiedlichen Beanspruchungen führt und diese unter arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten auch differenziert betrachtet werden müssen (Rohmert, 1984). Dieses Konzept lässt sich auch auf den Trainingsprozess übertragen, bei dem die von außen einwirkenden Trainingsbelastungen beim Sportler, in Abhängigkeit von dessen Leistungszustand unterschiedliche Beanspruchungen hervorrufen. Die einwirkenden Belastungen können demnach beispielsweise in ihrer Art (z.B. konditionelle/informativische Belastung), ihrer Höhe (Umfang, Intensität, Dauer) und ihrer zeitlichen Abfolge (simultan/sukzessiv) unterschieden werden und bewirken Beanspruchungen in verschiedenen organismischen Teilsystemen des Menschen, z.B. im Skelettsystem oder im neuromuskulären System. Der Grad der Beanspruchung lässt sich dann über die Dynamik physiologischer und psychologischer Variablen erfassen (Olivier, 2001).

Nach Hohmann et al. (2003) schafft das von Schnabel et al. (1994) vorgestellte umfassende Konzept eine konzeptionelle Verbindung zwischen den sportmotorischen Leistungsvoraussetzungen (konstitutionelle, energetische, sensomotorische, kognitive, motivational-emotionale und volitive) und den von außen einwirkenden Belastungsanforderungen. Zudem berücksichtigt das prozessorientierte Modell das komplexe dynamische Verhalten von Belastung und Beanspruchung im Trainingsprozess unter Einbeziehung der zentralen Mechanismen des Fähigkeitserwerbs, nämlich der Superkompensation und der Informationsorganisation (vgl. Abb. 3). Neben den unmittelbaren Beanspruchungsfolgen einer reizwirksamen sportlichen Belastung, die sich als Ermüdung und damit einer zeitweise verminderten Leistungsfähigkeit äußern, unterscheiden Schnabel et al. (2003) die bleibenden Beanspruchungsfolgen. Diese führen nach wiederholter sportlicher Belastung zu bleibenden Veränderungen in allen Funktionssystemen (handlungssteuerndes, bewegungsregulierendes, energielieferndes und energieübertragendes) und damit zu einer Entwicklung der Leistungsvoraussetzungen und der Leistungsfähigkeit. Die dynamische Wechselwirkung von Belastung und Beanspruchung zeigt sich darin, dass derselbe Belastungsreiz im Training bei demselben Athleten nach erfolgter Höherentwicklung der Leistungsvoraussetzungen zu einer vergleichsweise geringeren Beanspruchung, d.h. Inanspruchnahme der Leistungsvoraussetzungen führt.

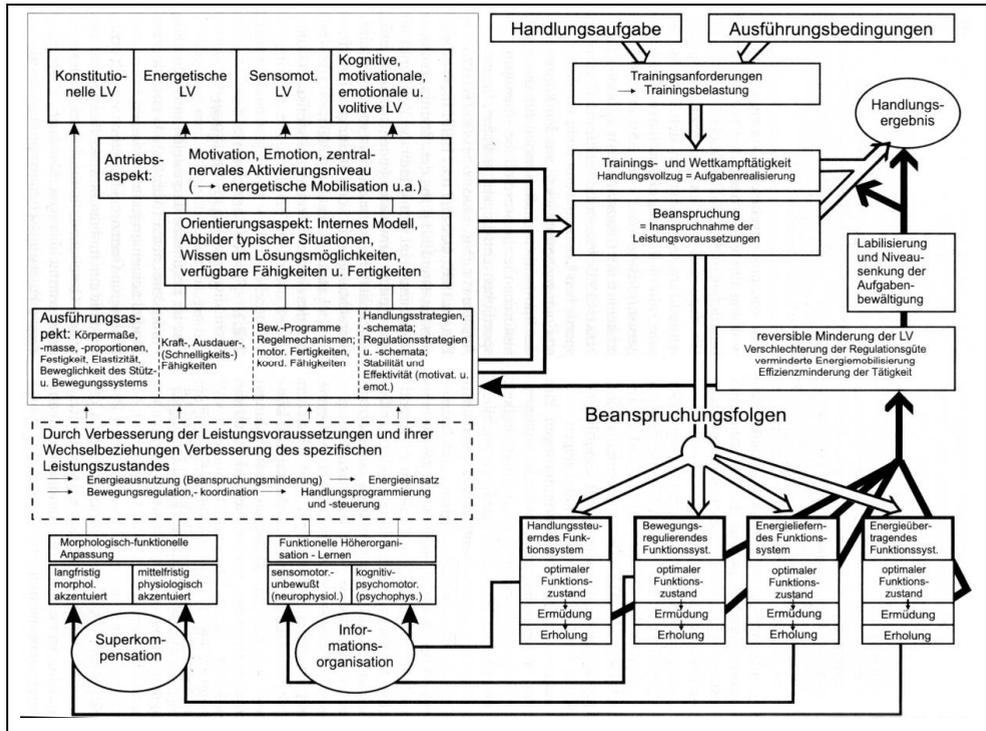


Abb. 3. Prozessorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Modell der sportlichen Tätigkeit (aus Schnabel et al., 2003, S. 58)

2.1.4 Training unter synergetischem Aspekt

2.1.4.1 Training und Adaptation als nichtlineares dynamisches System

Der Sportler als „biopsychosoziales System“ steht im Mittelpunkt des Trainingsprozesses. Als wesentliche Eigenschaften des Systems können dabei dessen Offenheit und der ständige Austausch mit der Umwelt angesehen werden. Weiterhin ist im Zusammenhang von sportlichen Bewegungen bekannt, dass selbst für die Ausführung von einfachen Bewegungen, eine Vielzahl von Prozessen gleichzeitig innerhalb des Organismus ablaufen, wie z.B. Muskelaktivierung, nervale, sensorische und metabolische Prozesse, die für sich betrachtet bereits als hochkomplex zu bezeichnen sind und zudem in enger Wechselwirkung stehen. Daher kann nach Witte (2002, S. 16) der Mensch als komplexes System mit einer inneren nichtlinearen Dynamik angesehen werden.

Zum besseren Verständnis soll zunächst auf einige zentrale Begriffe im Zusammenhang mit der Theorie dynamischer Systeme eingegangen werden. So besteht ein (komplexes) **System** allgemein aus Elementen oder **Komponenten**, die für sich genommen als abgeschlossene Einheiten interpretiert werden können und