



THEMENSCHWERPUNKT

WETTKAMPF

MARK PFEIFFER (HRSG.)
UNIVERSITÄT BAYREUTH

Vorwort

Mark Pfeiffer 35

Themenschwerpunkte

Gerd Thienes:

Zur Einordnung des Wettkampfes in den Gegenstands- und Objektbereich der Trainingswissenschaft 37

Maren Witt:

Ein Modell zur Analyse der Zyklusstruktur in den Ausdauersportarten..... 43

Jan-Peter Brückner & Andreas Wilhelm:

Modellierung und Simulation von Adaptationsprozessen 50

Thomas Jaitner & Marcus Trapp:

An Ambient Intelligence System to support Team Training in Cycling..... 66



VORWORT

WETTKAMPF

MARK PFEIFFER (HRSG.)
UNIVERSITÄT BAYREUTH

Mit der Gründung einer eigenständigen Sektion **Trainingswissenschaft** in der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (dvs) 1992 wurden im Rahmen der wissenschaftstheoretischen Einordnung verstärkt Fragen zum Forschungsgegenstand dieser neuen sportwissenschaftlichen Teildisziplin diskutiert (Martin & Weigelt, 1993). Während der **sportliche Wettkampf** in der trainingswissenschaftlichen Literatur zunächst „lediglich am Rande“ abgehandelt wurde, forderte Thieß (1994) in der Zeitschrift *Leistungssport* emphatisch die Ausarbeitung einer „Wettkampflehre“. Die Frage, ob diese parallel zur „Trainingslehre“ oder als ihr eigenständiger Bestandteil zu erarbeiten ist, sollte im nachfolgenden kritischen Diskurs erörtert werden. Als mögliche Inhalte einer Wettkampflehre wurden „geistig-wissenschaftliche Grundlagen“, „ein System sportlicher Wettkämpfe“, „die Wettkampfvorbereitung“, „die Wettkampfauswertung“, „die Psychologie in der Wettkampfvorbereitung und im Wettkampf selbst“, „die materiell-technische Ausstattung“ und „die Wechselbeziehung zwischen Training und Wettkampf“ vorgeschlagen (Thieß, 1995).

In der aktuellen Literatur wird der **Wettkampf** neben der *Leistung* bzw. der *Leistungsfähigkeit* und dem *Training* als Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft ausgewiesen, er stellt aus leistungssportlicher Sicht die Bewährungssituation der im Training vorbereiteten Leistungsfähigkeit dar (Schnabel, Harre, Krug & Borde, 2003; Hohmann, Lames & Letzelter, 2007). Zu den originär der Trainingswissenschaft zugeordneten Bereichen gehören die „Modellbildung zum Wettkampf“, „die Wettkampfsteuerung“, „die Wettkampfauswertung/-diagnostik“ und „die Wechselbeziehung zwischen Training und Wettkampf“. Obwohl die wissenschaftssystematische Verortung weitgehend vollzogen ist, kann gegenüber den beiden anderen Gegenstandsbereichen ein beträchtliches For-

schungsdefizit zum Themenkomplex Wettkampf u.a. anhand der Anzahl der in der SPOFOR-Datenbank beim Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) im Zeitraum zwischen 1993 und 2007 geführten deutschsprachigen Forschungsprojekte dokumentiert werden. Mit dem Ziel einer aktuellen Bestandsaufnahme der Forschungsaktivitäten zum Thema **Wettkampf** veranstaltete die dvs-Sektion Trainingswissenschaft 2007 an der Universität Bayreuth ein gleichnamiges **Symposium**. Zur nachhaltigen Sicherung der hierbei vorgebrachten wissenschaftlichen Erkenntnisse will der vorliegende **Themenschwerpunkt** „Wettkampf“ - neben den bereits publizierten Supplementen - einen wesentlichen Beitrag leisten.

Beiträge des Themenschwerpunktes:

Einleitend stellt *Gerd Thienes* unter dem Titel „Zur Einordnung des Wettkampfes in den Gegenstands- und Objektbereich der Trainingswissenschaft“ einen Beitrag mit wissenschaftstheoretischem Charakter vor und setzt damit die in der Gründungsphase der Sektion Trainingswissenschaft begonnene Diskussion zum Objekt- bzw. Gegenstandsbereich fort. Mit Bezug auf die Modellvorstellungen zur Konstituierung wissenschaftlicher Objektbereiche von Willimczik (2001) wird eine Diskrepanz zwischen dem offenen Trainingsbegriff und der Dreiteilung des trainingswissenschaftlichen Gegenstandsbereichs konstatiert.

Der Beitrag „Ein Modell zur Analyse der Zyklusstruktur in den Ausdauersportarten“ von *Maren Witt* ist dem Bereich der biomechanischen Wettkampfauswertung/-diagnostik zuzuordnen. Es wird ein Modell diskutiert, welches das Verhältnis von Zyklusfrequenz und Zyklusweg auf unterschiedlichem Geschwindigkeitsniveau in den verschiedenen Sportarten und Disziplinen vergleichbar macht (Zyklusparameter).

Zwei weitere Beiträge sind an der Schnittstelle zwischen Training und Wettkampf angesiedelt,

Korrespondenzadresse:

Mark Pfeiffer (Mark.Pfeiffer@uni-bayreuth.de)
Institut für Sportwissenschaft,
Universität Bayreuth,
95440 Bayreuth



E-Journal Bewegung und Training

Offizielles Organ der Sektionen Biomechanik,
Sportmotorik und Trainingswissenschaft in
der Deutschen Vereinigung für
Sportwissenschaft
ISSN 1612-5770

wobei eine leistungsphysiologische Perspektive eingenommen wird.

In dem Beitrag von *Jan-Peter Brückner* und *Andreas Wilhelm* zur „Modellierung und Simulation von Adaptationsprozessen“ steht die Entwicklung und empirische Überprüfung eines antagonistischen Modells zur simulativen Analyse der Wechselbeziehung zwischen Training und Leistung im Mittelpunkt. Mit dem so genannten SimBEA-Modell lässt sich z.B. die optimale Dauer der Tauperphase vor einem Wettkampf ermitteln.

Den Themenschwerpunkt abschließend präsentieren *Thomas Jaitner* und *Markus Trapp* in ihrem Beitrag „An Ambient Intelligence System to support Team Training in Cycling“ ein System zur Optimierung der Trainingsbeanspruchung im Mannschaftstraining des Radsports. Bei dem Team Cycling Training System (TCTS) werden die physiologischen Messwerte der Fahrer online mit den individuellen Vorgaben abgeglichen und die trai-

ningsmethodischen Informationen mittels funkbasierter Kommunikation an die Fahrer übermittelt. Mit Hilfe des TCTS können die Radsportler durch individuell angepasste Beanspruchungen im Training optimal auf konkrete Belastungsprofile im Wettkampf vorbereitet werden.

Literatur

- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Martin, D. & Weigelt, S. (1993). *Trainingswissenschaft : Selbstverständnis und Forschungsansätze*. Sankt Augustin: Academia.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (2003). *Trainingswissenschaft*. Berlin: Sportverlag.
- Thieß, G. (1994). Wir brauchen eine Wettkampflehre. *Leistungssport*, 24 (1), 5-9.
- Thieß, G. (1995). Die Ausarbeitung einer "Wettkampflehre" hat begonnen! *Leistungssport*, 25 (1), 5.
- Willimczik, K. (2001). *Sportwissenschaft interdisziplinär: ein wissenschaftstheoretischer Dialog. Band 1: Geschichte, Struktur und Gegenstand der Sportwissenschaft*. Hamburg: Czwalina.

Gastherausgeber nominiert: 01.09.2007

Themenschwerpunkt veröffentlicht: 22.12.2008



THEMENSCHWERPUNKT

ZUR EINORDNUNG DES WETTKAMPFES IN DEN GEGENSTANDS- UND OBJEKTBEREICH DER TRAININGSWISSENSCHAFT

GERD THIENES

FACHGEBIET SPORT UND SPORTWISSENSCHAFT, UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Der vorliegende Beitrag ist ein Diskussionsvorschlag zu einer Aufgabe jeder Wissenschaft, der Bestimmung und Abgrenzung ihres Gegenstandsbereiches. Die in der trainingswissenschaftlichen Diskussion weit verbreitete und in Lehrbüchern des Fachgebietes verankerte Strukturierung des Gegenstands der Disziplin in drei gleichrangige Komponenten, Training - Leistung - Wettkampf, lässt sich nicht widerspruchsfrei mit einem ebenfalls weitgehend akzeptierten „offenen Trainingsverständnis“ in Einklang bringen. Unter Bezug auf ein Modell zur Konstituierung wissenschaftlicher Objektbereiche (Willimczik, 2001), lassen die Merkmale sportlichen Trainings und die Kennzeichnung theoretischer Perspektiven auf den trainierenden Menschen eine Gliederung begründen, die diesen Widerspruch aufhebt. Planmäßigkeit, Systematik und Kontrolle kennzeichnen im trainingswissenschaftlichen Begriffsverständnis danach indisponible Elemente jeden sportlichen Trainings. Zudem sind Trainingsprozesse notwendig auf Veränderungen sportmotorischer Leistungszustände gerichtet, auch wenn sie mit weitergehenden Zielen verbunden werden. Ausgehend von Training als Prozess einer Einflussnahme auf sportmotorische Leistungen, bieten sich mit der Unterscheidung spezifischer Zielgruppen einerseits und der Frage nach den Bedingungen des Trainings in verschiedenen Praxisfeldern andererseits, umfassende theoretische Perspektiven an. Mit der Ableitung von zwei Gegenstandsbereichen der Trainingswissenschaft, der Leistungsfähigkeit als Adressatenbezug und der Trainingssteuerung als Kontextbezug sportlichen Trainings werden übergeordnete Wissenschaftsgebiete benannt und mit inhaltlichen Bezugspunkten verbunden, die eine nachfolgende Einordnung nicht nur, aber auch des Wettkampfes ermöglichen.

Schlüsselwörter: Gegenstandskonstituierung, weiter Trainingsbegriff, Leistungsfähigkeit, Trainingssteuerung

The article takes aim at a contribution to the discussion about the determination of objects of training science. A widely spread structure of the discipline with the three components, training, capacity and competition leads into contradiction with a largely accepted "wider conception of training". Referring to a model by Willimczik (2001), signs of training and theoretical perspectives on training can establish a structure for objects of training science. Planning, systematic manner and supervision thereafter are nonexchangeable steps of training control. Moreover each training process focusses the change of performance capacity, even if combined with other aims (by way of health or fun). Two perspectives on training in sport were differentiated, first the discrimination of target groups and secondly the conditions for training process in different fields of practice. These two main objects of training science involve many questions of preparing, leading through and evaluating

sport competition. Finally the conclusion, integrating questions of competition in sport into these objects will be discussed.

Keywords: definition of scientific objects, wider conception of training, performance capacity, training control

1 Zur Konstituierung wissenschaftlicher Gegenstände

Neben einer Systematik vorliegender Erkenntnisse sowie spezifischen Forschungsmethoden und Fragestellungen ist das Vorliegen eines eigenständigen, strukturierten Gegenstandsbereiches ein zentrales Kriterium einer Wissenschaft (Willimczik, 1980). Obwohl eine ausgearbeitete Theorie für die Konstituierung wissenschaftlicher Gegenstände fehlt, liegen zahlreiche Modelle zur Abgrenzung von Wissenschaftsdisziplinen vor. Solche Abgrenzungen wurden notwendig, da die „Einheit der Wissenschaften“ im Prozess zunehmender Ausdifferenzierung keine realistische Option bietet und jede Disziplin aufgerufen ist, ihren Gegenstandsbereich gegenüber anderen Disziplinen eindeutig(er) abzuheben (Willimczik, 2001, S. 73-74). Insbesondere Willimczik (1995 und 2001) hat im Anschluss an Diemer (1964), Kaufmann (1980), Heckhausen (1986) und anderen Modellvorstellungen zur Gegenstandskonstituierung der Sportwissenschaften vorgelegt. Neben der Verbreitung dieses Ansatzes in anderen Wissenschaften und einer Benennung notwendiger und hinreichender Kriterien einer Kennzeichnung wissenschaftlicher Gegenstände, ist vor allem auch die Präzisierung interdisziplinärer und disziplinärer Perspektiven auf gleiche Objektbereiche ein Grund für die Wahl dieses nachfolgend skizzierten Zugangs.

Ausschnitte „lebensweltlicher Gegebenheiten“ (Diemer, 1964, S. 50), auf die sich wissenschaftliches Interesse richtet, werden im Anschluss an Diemer als „Materialobjekte“ (ebd.) bezeichnet. Diese sind zugleich Objekt verschiedener Wissenschaftsdisziplinen und kennzeichnen somit interdisziplinäre Forschungsfelder. So wird der trainierende Mensch nicht ausschließlich unter trainings-

Korrespondenzadresse:

Gerd Thienes (gerd.thienes@uni-osnabrueck.de)
Fachgebiet Sport und Sportwissenschaft,
Universität Osnabrück,
Jahnstr. 75,
49069 Osnabrück



E-Journal Bewegung und Training

Offizielles Organ der Sektionen Biomechanik,
Sportmotorik und Trainingswissenschaft in
der Deutschen Vereinigung für
Sportwissenschaft
ISSN 1612-5770

wissenschaftlicher Perspektive betrachtet, sondern kann zugleich Bestandteil sportpädagogischer, -medizinischer, -soziologischer etc. Fragestellungen sein und ist somit interdisziplinärer Gegenstand der Sportwissenschaften Thienes (2008). Die Auszeichnung disziplinärer Gegenstandsfelder kann anschließend an Heckhausen (1986) und Willimczik (2001) in zwei Arbeitsschritten erfolgen (vgl. Abbildung 1).

Da nicht alle denkbaren Facetten eines Materialobjektes (hier: der trainierende Mensch) zugleich Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtungen sein können, muss eine Eingrenzung erfolgen (Willimczik, 1995, S. 68). Im Rahmen einer „lebensweltlichen Gegenstandsbestimmung“ wird hierbei derjenige Anteil eines „Materialobjektes“ spezifiziert, der den von einer Disziplin „problematizierten Objektausschnitt“ darstellt (Heckhausen, 1986, Willimczik, 2001). Diese notwendige Bedingung einer Gegenstandskonstituierung grenzt die Vielfalt alltäglicher Auffassungen (jeder Sport treibende hat ein individuelles Verständnis von Training und Trainieren) mit ihrem Bedeutungsüberhang vom wissenschaftlichen Begriffsverständnis ab. Überdies werden hierdurch disziplinspezifische Einordnungen vorgenommen. Diese Strukturierung und Ordnung des Objektbereiches wird in der Trainingswissenschaft durch die Kennzeichnung von „Merkmale sportlichen Trainings“ geleistet (siehe Abschnitt 2).

Zu einem wissenschaftlichen Gegenstand wird ein begrifflich umschriebener Realitätsbereich jedoch erst, wenn er unter einer spezifischen „theoretischen Orientierung“ (Kaufmann, 1980, S. 35) problematisiert wird. Die Systematik theoretischer Perspektiven einer Disziplin auf ihr Wissenschaftsgebiet ist wiederum nicht aus der Struktur des Objektbereiches „logisch ableitbar“ (Willimczik, 2003, S. 79), sondern wird maßgeblich durch historisch gewachsene Forschungstraditionen, thematische Schwerpunkte einzelner Forscher(-gruppen) und dem forschungsmethodischen Zugriff mit bestimmt. Ein sich hieraus ergebender Prozess ständigen Vorstellens, Diskutierens, Modifizierens und Verwerfens theoretischer Standpunkte ist als „wissenschaftliche Konstituierung“ (ebd.) notwendiger Bestandteil fortwährender (dynamischer) Wissenschaftsentwicklung. Im Kontext einer Gegenstandskonstituierung existieren somit in der Regel immer mehrere theoretische Perspektiven, die sich keineswegs gegenseitig ausschließen müssen. Nachfolgend werden die „lebensweltliche Gegenstandsbestimmung“ und die „wissenschaftliche Konstituierung“ für den Objektbereich der Train-

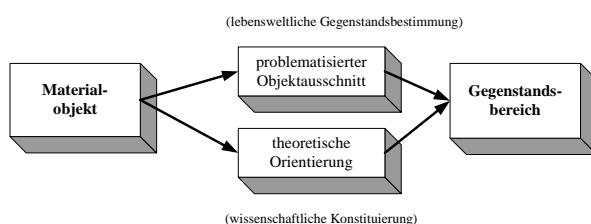


Abbildung 1: Konstituierung wissenschaftlicher Gegenstandsbereiche

ningswissenschaft, den trainierenden Menschen, konkretisiert.

2 Der Objektbereich der Trainingswissenschaft: Merkmale sportlichen Trainings

Einigkeit sollte darüber bestehen, dass sich die Trainingswissenschaft als Disziplin der Sportwissenschaften mit dem trainierenden Menschen respektive dem sportlichen Training befasst. Als Gegenstand von Wissenschaft hebt sich sportliches Training dadurch vom Alltagsverständnis ab, dass die Bedingungen und Kriterien unter denen Betätigungen in Sport, Spiel und Bewegungsfeldern als Trainieren aufgefasst werden, benannt werden müssen. Merkmale sportlichen Trainings zeichnen den wissenschaftlichen Trainingsbegriff aus und markieren den relevanten Problembereich („problematizierter Objektausschnitt“ sensu Heckhausen, 1986). Über die Merkmale des wissenschaftlichen Trainingsbegriffs wird seit nunmehr über 30 Jahren, auch im Zuge der Diskussion um einen „offenen Trainingsbegriff“ Einvernehmen erzielt (z. B. Letzelter, 1978a, Ballreich & Kuhlrow, 1975). Sportliches Training ist danach durch Planmäßigkeit im Sinne der Explikation von Trainingszielen, Systematik als sachorientierter Auswahl, Anwendung und Folge von Trainingsmaßnahmen, Kontrolle (Korrektur) als Überprüfung der Angemessenheit eingesetzter Trainingsmaßnahmen im Hinblick auf die formulierten Ziele des Trainings und Leistungsbezogenheit im Sinne individueller und gruppenbezogener (sport-) motorischer Leistungen (oder ihrer Teilkomponenten sowie deren Bezüge zu kognitiven und sozial-affektiven Leistungsaspekten) bestimmt. Diese Merkmale sind jeweils für sich genommen nicht exklusiv für sportliche Trainingsprozesse. Therapiemaßnahmen oder Unterricht im Sport sind ebenso planmäßig und systematisch angelegt. Die Spezifik des (wissenschaftlichen) Trainingsbegriffs liegt darin, dass die genannten Merkmale zugleich und vollständig enthalten sein müssen, um sportliche Betätigungen als Training zu qualifizieren.

Neben einer Benennung von Merkmalen sportlichen Trainings wird mit der Verständigung auf einen „offenen Trainingsbegriff“ der Anwendungsbereich trainingswissenschaftlicher Erkenntnisinteressen über die traditionelle Verankerung im Leistungssport hinaus erweitert. Schon frühzeitig hatte Hildenbrandt (1973) eine Einschränkung auf ein leistungssportliches Training kritisch hervorgehoben und eine Öffnung der Disziplin für das gesamte Spektrum sportlicher Trainingsprozesse gefordert. Weitgehendes Einvernehmen besteht in der aktuellen Fachdiskussion darüber, sportliches Training in allen Praxisfeldern (Leistungs-, Rehabilitations-, Alters-, Fitness-, Schulsport etc.), auf allen Leistungsniveaus, mit unterschiedlichen Zielebenen (motorische, kognitive, sozial-affektive Ziele) sowie innersportliche als auch außersportliche Ziele) und schließlich auf allen Altersstufen (vom Kinder- und Jugendtraining bis zum Training im Seniorenalter) in den Objektbereich der Trainingswissenschaft einzubeziehen (z. B. Olivier,

Marschall & Büsch, 2008, Hohmann, Lames & Letzelter, 2007, Frey & Hildenbrandt, 2002).

Dieses offene Trainingsverständnis kollidiert an der Stelle mit der Gegenstandskonstituierung der Trainingswissenschaft, wo Trainingsziele zugleich den Anwendungsbereich der Disziplin markieren und ihren Gegenstand maßgeblich strukturieren (Hohmann et al., 2007, Schnabel, Harre, Krug & Borde, 2003). Wenn die Trainingswissenschaft ihren Objektbereich auf alle „Ziele im und durch Sport“ (Hohmann et al., 2007, 15) erweitert und die Ziele sportlichen Trainings als Ausgangspunkt für die Bestimmung ihres Gegenstandes wählt, wird eine Begrenzung dieses Gegenstandes zumindest erschwert. Insbesondere in den Praxisfeldern, die auch den Gegenstand anderer sportwissenschaftlicher Teildisziplinen markieren, etwa dem Rehabilitationssport in der Sportmedizin oder dem Schulsport in der Sportpädagogik, ist diese Kennzeichnung des trainingswissenschaftlichen Problembereiches nicht hinreichend, um das Forschungsinteresse der Trainingswissenschaft zu begründen (ähnlich Hohmann et al., 2007, S. 17). Eine Möglichkeit zur Überbrückung dieser Kluft zwischen „offenem Trainingsbegriff“ und Präzisierung des Anwendungsbereiches ist in den meisten Konzeptionen zur Trainingswissenschaft mehr oder weniger „implizit“ bereits enthalten (etwa Martin, Carl & Lehnertz, 1993, Hohmann et al., 2007, Schnabel et al., 2003, Olivier et al., 2008, Steinhöfer, 2003) und wurde oben bei der Benennung der Merkmale sportlichen Trainings einbezogen. Sportliches Training (als Gegenstand der Trainingswissenschaft) ist danach zwar „offen“ für alle Ziele im und durch Sport, in den Fokus einer trainingswissenschaftlichen Analyse treten diese Ziele (z. B. Gesundheit, Fitness, Wohlbefinden, Erfolg etc.) jedoch nur, wenn sie mittels Maßnahmen zur Veränderung (sport-) motorischer Leistungszustände verfolgt werden. Hieraus resultiert eine Unterscheidung von „Primärzielen“ sportlichen Trainings, die zugleich gegenstandskonstituierend für die Trainingswissenschaft sind und „Sekundärzielen“, die zur Ableitung und Präzisierung von Themenfeldern und Forschungsfragen dienen, jedoch den Gegenstandsbereich der Fachdisziplin nicht festlegen. Das primäre Ziel jeden sportlichen Trainings ist die Einflussnahme auf sportmotorische Leistungen. Über die Leistungsveränderung durch Trainingsanforderungen werden nachfolgend dann „abgeleitete“ Ziele von Betätigungen in den Bereichen von Bewegung, Sport und Spiel angesteuert (Wettkampferfolg, Gesundheit, Fitness, Körperformung etc.). Im Rahmen der Gegenstandsbestimmung der Trainingswissenschaft sollte von einem „weiten Trainingsbegriff“ ausgegangen werden, der eine Unterscheidung gegenstandskonstituierender Primärziele von Sekundärzielen als Forschungsthemen vorsieht. Der Wettkampf – als sportlicher Leistungsvergleich und dessen Einordnung nach zuvor vereinbarten Regeln – ist in einer Trainingswissenschaft, die sich ausdrücklich für alle Praxisfelder sportlichen Trainierens öffnet, dann kein notwendig eigenständiger

Gegenstandsbereich. Als Forschungsgebiet jedoch ergeben sich aus den Wechselbeziehungen der Gegenstandsbereiche und dem Wettkampf relevante Problemstellungen (z. B. das Verhältnis von personalen Leistungsfaktoren und komplexem Wettkampfergebnis oder spezifische Wettkampfbedingungen als Zielgrößen der Trainingssteuerung).

Nach diesen Ausführungen sind nicht alle Ziele im und durch Sport zugleich Inhalt trainingswissenschaftlicher Analyse, sondern Ziele, die mittels planmäßiger, systematischer und (diagnostisch) kontrollierter Leistungsveränderungen im körperlich-motorischen Bereich angesteuert werden. Zudem ist eine Betrachtung möglicher Ziele sportlichen Trainings unter trainingswissenschaftlichen Gesichtspunkten nicht zwangsläufig mit der Bestimmung des Gegenstandes der Disziplin verknüpft, sondern dieser nach- und untergeordnet. Mit dieser notwendigen Differenzierung werden nachfolgend theoretische Perspektiven verknüpft und eine begründete Systematik trainingswissenschaftlicher Gegenstandsbereiche zur Diskussion gestellt.

3 Die theoretische Orientierung unter einem „weiten Trainingsbegriff“

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Konstituierung als hinreichender Bedingung der Gegenstandsbestimmung, werden spezifische theoretische Perspektiven auf den umschriebenen Objektbereich ausgewiesen. Hierzu wird nachfolgend einerseits auf Positionen Bezug genommen, die „sportliches Training als Leistungshandeln“ kennzeichnen (z. B. Martin et al., 1993, Steinhöfer, 2003) und mit der bereits frühzeitig vorgenommenen Unterscheidung nach den „Akteuren des Trainings“ (Deschka, 1961, Letzelter, 1978b) verbunden. Unter der „Akteursperspektive“ ist zu unterscheiden, ob die trainierende Person mit ihrer trainingsabhängigen Leistungsveränderung („sich trainieren“) oder aber die Tätigkeit eines Trainers („jemanden trainieren“) im Fokus steht. In vergleichbarer Weise wird beim Training als Leistungshandeln zwischen der handelnden Person (dem Akteur) und dem Handlungskontext (den Bedingungen des Trainings) unterschieden. Sportliches Training wird dann unter zwei übergeordneten Perspektiven zum Forschungsgegenstand: der trainingsbedingten Leistungsveränderung einer umschriebenen Zielgruppe einerseits sowie der Planung, Durchführung und Kontrolle von Training in spezifischen Settings andererseits. Die Differenzierungsmerkmale sind im ersten Fall die Leistungsvoraussetzungen, Belastbarkeit, Trainierbarkeit und Entwicklungsbesonderheiten etc. einer Zielgruppe, auf deren Leistungsfähigkeit durch Trainingsmaßnahmen Einfluss genommen werden soll (z. B. Kinder in einem bestimmten Altersbereich, Hochleistungssportler, Senioren, Sportler mit spezifischen Leistungseinschränkungen etc.). Diesem „Adressatenbezug sportlichen Trainings“ steht der „Kontextbezug“ gegenüber. Hierbei steht nicht die Frage nach der Leistungsverän-

derung einer Zielgruppe im Fokus, sondern die Merkmale der Rahmenbedingungen von Trainingsprozessen und deren Bedeutung für die Möglichkeiten und Grenzen anforderungsbedingter Leistungsveränderungen. Diese Differenzierungsmerkmale (der Zielgruppe wie des Kontextes) geben die Ausgangspunkte für eine nachfolgende Ableitung spezifischer Forschungsfragen und Problemfelder der Trainingswissenschaft ab (z. B. Training von Heranwachsenden im Wettkampfsport). Der wesentliche Vorteil einer solchen Systematik theoretischer Perspektiven besteht nicht zuletzt darin, dass der Tendenz einer zunehmenden „Verselbständigung“ spezieller Trainingswissenschaften (z. B. der Sportspiele, des Schulsports, des Gesundheitssports oder einzelner Sportarten) entgegen gewirkt wird. Jedes Praxisfeld sportlichen Trainierens kann mit dem vorliegenden Zugang sowohl hinsichtlich der in ihm trainierenden Klientel und darüber hinaus bzw. in Verbindung damit, hinsichtlich der Besonderheiten des jeweiligen Trainingskontextes betrachtet werden. Damit wird zugleich der konzeptionelle Anspruch des „offenen“ bzw. besser eines „weiten“ Trainingsbegriffs eingelöst, alle Praxisfelder, Leistungsniveaus, Altersbereiche und Zielebenen einzubeziehen. Unter der Thematik des vorliegenden Beitrages ergibt sich die Frage nach der Positionierung des sportlichen Wettkampfes innerhalb einer solchen Theoriekonzeption.

4 Zwei Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft

Aus den beiden Perspektiven der Trainingswissenschaft auf ihren Objektbereich, den Bedingungen, Möglichkeiten, Folgen und Grenzen einer trainingsbedingten Leistungsveränderung einer umschriebenen Zielgruppe (1) sowie der Planung, Durchführung und Kontrolle (inkl. Korrektur) von Trainingsmaßnahmen in spezifischen Handlungsfeldern (2), lassen sich die zwei Gegenstandsbereiche einer Trainingswissenschaft mit weitem Trainingsbegriff (d. h. unter Berücksichtigung der Merkmale sportlichen Trainings) benennen: die Leistungsfähigkeit als Adressatenbezug und die Trainingssteuerung als Kontextbezug sportlichen Trainierens (vgl. Abbildung 2). Sportliches Training als Leistungshandeln wird in der Verbindung personaler Leistungsvoraussetzungen und situativer Kontextbedingungen realisiert. Die Trainingswissenschaft betrachtet beide wechselseitig verbundenen Aspekte zum Zwecke der Reduktion der Komplexität im Rahmen einer Gegenstandskonstituierung in einem ersten Zugang isoliert.

4.1 Leistungsfähigkeit als Adressatenbezug sportlichen Trainings

Unter dem Adressatenbezug wird die trainingsbedingte Veränderung sportmotorischer Leistungen durch planmäßige, systematische und (diagnostisch) kontrollierte Trainingsanforderungen für umschriebene Personengruppen vergleichbarer Voraussetzungen zum Gegenstand trainingswis-

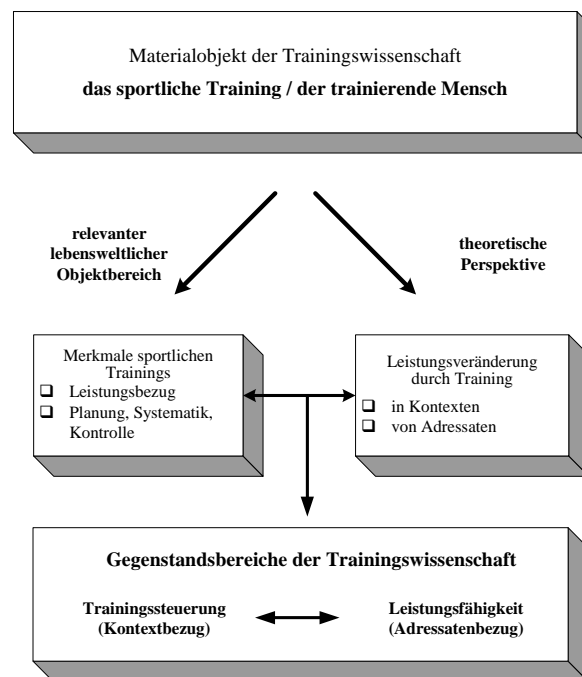


Abbildung 2: Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft unter einem „weiten Trainingsbegriff“

senschaftlicher Forschung. Identische Trainingsmaßnahmen führen bei sehr unterschiedlichen Voraussetzungen der Trainierenden zu deutlich variierenden Leistungsentwicklungen (ein Anfängertraining in einer Disziplin erfordert andere Inhalte, Methoden und Maßnahmen als das Training von Hochleistungssportlern der gleichen Disziplin). Gleiche bzw. vergleichbare Trainingsziele, die durch eine Leistungsveränderung angesteuert werden (Erhöhung der Wettkampfleistung, Stärkung der Gesundheit, Verbesserung der Grundgenausdauer etc.) werden in Abhängigkeit von der Adressatengruppe dann mit Hilfe jeweils spezifischer Belastungsanforderungen angezielt. Das zu lösende (Forschungs-) Problem besteht für die Trainingswissenschaft darin, in Abhängigkeit von den Spezifika einer Adressatengruppe (deren Leistungsniveau, Entwicklungsbedingungen, Trainingszustand, Belastbarkeit etc.) die angemessene Relation von Trainingsanforderungen und resultierender Leistungsveränderung (empirisch) zu ermitteln. Frauen und Männer, Heranwachsende eines bestimmten Alters- oder Entwicklungsbereiches, Leistungssportler, untrainierte Erwachsene einer Alterskohorte, Senioren oder Sportverletzte mit vergleichbaren Einschränkungen der Belastbarkeit sind Beispiele für Adressatengruppen, deren Leistungsentwicklung einer angemessenen Ausrichtung von Trainingsmaßnahmen bedarf. Der sportliche Wettkampf ist hierbei eine wesentliche Form der Leistungsrealisation und -präsentation und überdies führendes Bewährungskriterium absolvierter Trainingsmaßnahmen im Leistungssport. In ihren Bezügen zur sportlichen Leistungsfähigkeit ist neben einer Analyse von Wettkampfleistungen dabei die Beschreibung deren alters- und niveaubezogener Ausprägung und Binnenstruktur zu nennen. Durch welche Teilleistungen und Leis-

tungsvoraussetzungen werden komplexe Wettkampfleistungen wesentlich in ihrem Niveau bestimmt und wie verändert sich das Beziehungsgefüge im Prozess der Leistungsentwicklung? Als Beispiel ist die Erkenntnis anzuführen, wonach mit steigendem Leistungsniveau Unterschiede in kognitiven Leistungsvoraussetzungen (z. B. taktische Handlungsmuster und Strategien der Wettkampfführung) zunehmend bedeutsam werden, während körperliche und motorische Differenzen bei niedrigem Leistungsstand höhere Relevanz besitzen. Betrachtungen des Strukturgefüges von Leistungskomponenten unterschiedlicher Komplexität und dessen Wandel im Verlauf von Entwicklungs- und Trainingsprozessen leiten zur Frage nach weitergehenden Bezügen von Maßnahmen der Trainingssteuerung und sportlichem Wettkampf über.

4.2 Trainingssteuerung als Kontextbezug sportlichen Trainings

Auch unter dem Aspekt der Trainingssteuerung, ist der Wettkampfsport (der sportliche Wettkampf) als ein Problemfeld der Trainingswissenschaft einzuordnen. Während die Struktur der Leistungsfähigkeit und die Bedingungen der Leistungsentwicklung die stärker grundlagenorientierten Fragen sportlichen Trainings beinhalten, weisen die Planung, Durchführung und Kontrolle/ Auswertung von Trainingsmaßnahmen und -prozessen einen engeren Anwendungsbezug auf (ähnlich Brack, 2002, S. 42-43). Leistungsstruktur und Leistungskomponenten, Formen und Bedingungen der Leistungsentwicklung sowie die Möglichkeiten ihrer diagnostischen Erfassung umschreiben die Problemkerne des Adressatenbezuges sportlichen Trainings. Die Arbeitsschritte einer umfassenden Trainingssteuerung, Planung, Durchführung, Kontrolle und Auswertung können zur weitergehenden Gliederung des Gegenstandsbereiches Trainingssteuerung herangezogen werden (Hohmann, 1994). Ausgangspunkt für die Konkretisierung von Forschungsfragen sind nachfolgend die Spezifika der Bedingungen einer Trainingssteuerung in unterschiedlichen Praxisfeldern. Differenzierungsmerkmal dieses Gegenstandsbereiches sind nicht die umschriebenen Kennzeichen einer jeweiligen Zielgruppe des Trainings, sondern die Kontextbedingungen unterschiedlicher Praxisfelder sportlichen Trainierens. Unter einem weiten Trainingsverständnis muss die Trainingswissenschaft hierbei begründete Antworten auf die Fragen geben, worin sich beispielsweise die Trainingsplanung oder -kontrolle im Leistungs- und Wettkampfsport von den gleichen Arbeitsschritten im Rahmen eines Trainings im Schulsport oder Freizeitsport unterscheidet. Da zweifellos die umfassendsten Erfahrungswerte und Befunde zur Trainingssteuerung aus dem Wettkampfsport vorliegen, ist derzeit die Frage, welche Erkenntnisse gewinnbringend auf andere Praxisfelder zu übertragen sind eher möglich, als ein Transfer erprobter Handlungsstrategien aus Kontexten außerhalb des Wettkampf- und Leistungssports in diesen hinein.

Es erweisen sich ggf. auch verschiedene „Modelle der Trainingssteuerung“ (Hohmann et al., 2007, S. 161 ff) in einzelnen Praxisfeldern als unterschiedlich praktikabel und brauchbar. Innerhalb des Anwendungsfeldes „Wettkampfsport“ ist eine weitergehende Strukturierung nach Sportarten (-gruppen), Disziplinen und Kontextmerkmalen wie schulische Bedingungen bei Kindern und Jugendlichen im Leistungssport oder Berufstätigkeit als Rahmen leistungssportlichen Engagements, beispielhaft zu nennen. Bedeutsam für den Problemzusammenhang dieses Beitrages ist die hiermit verbundene Position, Fragen des Wettkampfsports in den Gegenstandsbereich „Trainingssteuerung“ einzuordnen und vergleichend neben weitere Kontextbedingungen zu stellen. Der sportliche Wettkampf markiert ein gleichrangiges Themenfeld der Trainingswissenschaft (neben der Steuerung von Trainingsmaßnahmen im Schulsport, im Rehabilitationssport, im Fitnesssport etc.), dem dann nicht der Stellenwert als übergeordnetem Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft insgesamt zukommt. Im Sinne der getroffenen Unterscheidung nach gegenstandskonstituierenden Primär- und forschungsleitenden Sekundärzielen, ist der sportliche Wettkampf eine, wenn auch zentrale Zielgröße des sportlichen Trainings (auch Schnabel et al., 2003, S. 445). Aspekte der Wettkampfvorbereitung sind zugleich Kernaufgaben der Trainingssteuerung. Auf relativ konstante (Regel- und Interaktionsbedingungen der Sportarten und Disziplinen) ebenso wie stärker variable Kontextbedingungen (Besonderheiten kommender Wettkampfeignisse wie klimatische Bedingungen oder tageszeitliche Ansetzung) wird durch entsprechende Maßnahmen der Trainingssteuerung reagiert. Die unmittelbare Wettkampfvorbereitung (UWV) und Taperphasen zur Ausprägung der sportlichen Form sind Bestandteil der mittelfristigen Trainingsplanung. Die Diagnose von Wettkampfleistungen und -erfolg kann in die trainingsbegleitenden Maßnahmen der Leistungsdiagnostik eingeordnet werden. Auch die Wettkampflenkung und -betreuung (Coaching) beinhaltet enge Verknüpfungen mit dem Trainingsprozess, ohne Training und Coaching gleich zu setzen (Hotz, 1997). Wie die hier nur angedeuteten zahlreichen Verbindungen der Wettkampfvorbereitung, -lenkung und -nachbereitung mit den Arbeitsschritten der Trainingssteuerung im Hinblick auf die Konstituierung trainingswissenschaftlicher Gegenstände, Themenfelder und Forschungsfragen ausgelegt werden können, soll ausblickend angesprochen werden.

5 Perspektiven

Die vorgestellte Systematik trainingswissenschaftlicher Gegenstandsbereiche erlaubt die Verknüpfung der Grundannahmen zum „weiten (offenen)“ Trainingsverständnis mit (disziplin-) spezifischen theoretischen Perspektiven auf das sportliche Training. Diese führt zu einer Einordnung des sportlichen Wettkampfes „unterhalb“ der für die Trainingswissenschaft konstitutiven Gegen-

standsbereiche. Durch Einschränkung auf das primäre Ziel jeden sportlichen Trainings, eine Modifikation sportmotorischer Leistungszustände, kommt dem sportlichen Wettkampf sowie weitergehenden mit Trainingsprozessen verbundenen Zielen im und durch Bewegung, Sport und Spiel die Hauptfunktion zu, Forschungsfragen präzisieren und Forschungsfelder ausdifferenzieren zu können. Als Basis zur Entwicklung trainingswissenschaftlicher Forschungsprogramme mit der Ableitung und Ausdifferenzierung weiterführender Themenfelder, hat dieser Zugang für das Training im Schulsport eine erste Anwendung gefunden Thienes (2008). Insbesondere für das Training im Leistungs- und Wettkampfsport lassen sich jedoch Argumente für und gegen eine Einordnung des Wettkampfes auf der Ebene von Gegenstandsbereichen der Trainingswissenschaft anführen. Diese hat nicht zuletzt Schnabel (1996), als Vertreter einer Dreiteilung des Gegenstandes (Schnabel et al., 2003), bereits skizziert. Inhaltlich sprechen zunächst die Überschneidungen des Themenfeldes sportlicher Wettkampf mit den Gegenstandsbereichen Trainingssteuerung und Leistungsfähigkeit gegen eine Absonderung (Schnabel, 1996, S. 72f). Sportliche Taktik als „Wettkampfführung“ kann als Komponente der Leistungsfähigkeit eingeordnet werden und die Wettkampfvorbereitung sowie -auswertung sind Kernaufgaben einer Trainingssteuerung im Wettkampfsport. Ein Argument für die Auszeichnung als Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft ist der zweifellos bestehende „wissenschaftliche Nachholbedarf“ (ebd.). Unabhängig davon, inwieweit der Anspruch einer trainingswissenschaftlichen Durchdringung von Fragen der Wettkampfvorbereitung, -führung, -begleitung, -diagnostik und -auswertung im Einzelnen bereits eingelöst wurde, beinhaltet die Kennzeichnung als Kerngebiet der Trainingswissenschaft das deutliche Signal, den (Hoch-) Leistungssport als Hauptarbeitsfeld der Disziplin aufzufassen. Eine Einordnung des sportlichen Wettkampfes in die Gegenstandsbereiche Leistungsfähigkeit und Trainingswissenschaft gewichtet demgegenüber die Relevanz unterschiedlicher Praxisfelder sportlichen Trainings anders, nämlich entgegen der Fachtradition als gleichrangig.

Der vorgelegte Beitrag versteht sich als Diskussionsvorschlag und damit Zwischenschritt in einem notwendigen Klärungsprozess. Eine weitere Präzisierung der theoretischen Perspektiven auf den Gegenstand sollte zudem die Anschlussfähigkeit der Trainingswissenschaft an andere sportwissenschaftliche Teildisziplinen - die ebenfalls ein berechtigtes Forschungsinteresse an Fragen des sportlichen Trainings sowie sportlicher Wettkämpfe bekunden - erhöhen. Eine Betrachtung sportlichen Trainings ohne den sportlichen Wettkampf als notwendiges Bewährungskriterium dürfte sich dabei als anschlussfähiger erweisen. Die Notwendigkeit einer Bearbeitung des Themenfeldes „sportlicher Wettkampf“ wird dadurch in seiner (v. a. auch aus der Tradition unserer Fachdisziplin

begründeten) Bedeutung nicht aufgehoben oder zurückgesetzt.

Literatur

- Ballreich, R. & Kuhlow, A. (1975). Trainingswissenschaft - Darstellung und Begründung einer Forschungs- und Lehrkonzeption. *Leistungssport*, 5 (2), 95-103.
- Brack, R. (2002). *Sportspielspezifische Trainingslehre*. Hamburg: Czwalina.
- Deschka, K. (1961). *Trainingslehre und Organisationslehre des Sports*. Wien: Österreichischer Bundesverlag.
- Diemer, A. (1964). *Was heißt Wissenschaft?* Meisenheim: Verlag Anton Hain.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (2002). *Einführung in die Trainingslehre. Teil 1: Grundlagen* (2. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Heckhausen, H. (1986). Interdisziplinäre Forschung zwischen Intra-, Multi- und Chimären-Disziplinarität. In Zentrum für interdisziplinäre Forschung der Universität Bielefeld (ZIF) (Hrsg.), *Jahresbericht 1985/86* (S. 18-40). Bielefeld: Kramer-Druck.
- Hildenbrandt, E. (1973). Trainingslehre. In O. Grupe (Hrsg.), *Einführung in die Theorie der Leibeserziehung* (3. Aufl.) (S. 299-322). Schorndorf: Hofmann.
- Hohmann, A. (1994). *Grundlagen der Trainingssteuerung im Sportspiel*. Hamburg: Czwalina.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (4. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Hotz, A. (1997). Die Wettkampfdurchführung. In G. Thieß, P. Tschiene & H. Nickel (Hrsg.), *Der sportliche Wettkampf* (S. 112-142). Münster: Philippka.
- Kaufmann, F.-X. (1980). Nationalökonomie und Soziologie. Zum Problem der Interdisziplinarität in den Sozialwissenschaften. In E. Küng (Hrsg.), *Wandlungen in Wirtschaft und Gesellschaft* (S. 31-49). Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Letzelter, M. (1978a). Trainingswissenschaft. Das sportliche Training und die Objekt- und Problembereiche der Trainingswissenschaft. In H.-E. Rösch (Hrsg.), *Einführung in die Sportwissenschaft* (S. 102-125). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Letzelter, M. (1978b). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek: Rowohlt.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre* (2. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Olivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Schnabel, G. (1996). Die Grundkategorien der Trainingswissenschaft Leistung, Training, Wettkampf als Basis der Wissenschaftsstruktur. In H.-A. Thorhauer, K. Carl & U. Türk-Noack (Hrsg.), *Trainingswissenschaft. Theoretische und methodische Fragen in der Diskussion* (S. 64-74). Köln: Strauß.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (Hrsg.). (2003). *Trainingswissenschaft: Leistung – Training – Wettkampf* (3. Aufl.). Berlin: Sportverlag.
- Steinhöfer, D. (2003). *Grundlagen des Athletiktrainings*. Münster: Philippka.
- Thienes, G. (2008). *Trainingswissenschaft und Sportunterricht*. Berlin: Pro Business.
- Willimczik, K. (1980). Der Entwicklungsstand der sportwissenschaftlichen Wissenschaftstheorie. *Sportwissenschaft*, 10 (4), 337-359.
- Willimczik, K. (1995). Die Davidsbündler – zum Gegenstand der Sportwissenschaft. In H. Digel (Hrsg.), *Sportwissenschaft heute: eine Gegenstandsbestimmung* (S. 39-89). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Willimczik, K. (2001). *Sportwissenschaft interdisziplinär: ein wissenschaftstheoretischer Dialog. Band 1: Geschichte, Struktur und Gegenstand der Sportwissenschaft*. Hamburg: Czwalina.
- Willimczik, K. (2003). *Sportwissenschaft interdisziplinär: ein wissenschaftstheoretischer Dialog. Band 2: Forschungsprogramme und Theoriebildung in der Sportwissenschaft*. Hamburg: Czwalina.

Themenschwerpunkt erhalten: 12.09.2007

Überarbeiteten Themenschwerpunkt erhalten: 25.11.2008

Themenschwerpunkt akzeptiert: 25.11.2008

Themenschwerpunkt veröffentlicht: 22.12.2008



THEMENSCHWERPUNKT

EIN MODELL ZUR ANALYSE DER ZYKLUSSTRUKTUR IN DEN AUSDAUERSPORTARTEN

MAREN WITT

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE TRAININGSWISSENSCHAFT, IAT LEIPZIG

Hay (2002) stellte in seinen Untersuchungen fest, dass die Bedeutung des Zyklusweges bei vielen Lokomotionsformen in niedrigen Geschwindigkeiten überwiegt, während bei höheren Geschwindigkeiten die Zyklusfrequenz dominiert. Um verschiedene Bewegungen in unterschiedlichen Sportarten vergleichen zu können, haben wir ein Modell entwickelt, welches das Verhältnis von Zyklusfrequenz und Zyklusweg auf unterschiedlichem Geschwindigkeitsniveau vergleichbar macht (Zyklusparameter). In die Untersuchungen wurden Wettkampfanalysen der Ausdauersportarten Biathlon/Skilanglauf, Eisschnelllauf, Kanurennsport, Rudern, Radsport, leichtathletischer Lauf/Sprint sowie Schwimmen einbezogen. Beim Vergleich der Bewegungsmuster konnte festgestellt werden, dass Bewegungen mit kontinuierlichem Antrieb (bspw. Freistilschwimmen) stark vom Zyklusweg und Bewegungen mit synchronem Antrieb der Extremitäten (bspw. Brustschwimmen) eher von der Zyklusfrequenz bestimmt werden. Beim Vergleich individueller Lösungsstrategien für die Geschwindigkeitssteigerung konnte gezeigt werden, dass einige Varianten in eine so genannte Frequenzfalle führen, so dass im Bereich der Zielgeschwindigkeit unrealistische Frequenzerhöhungen notwendig werden. Andere Lösungsvarianten führen zu einer Veränderung der Anteiligkeit des Antriebes von oberen und unteren Extremitäten. Die Wahl der Bewegungsfrequenzen im GA-Training sollte von der prognoseorientierten Zyklusstruktur für die Wettkampfgeschwindigkeit abgeleitet werden. Unsere Untersuchungen bestätigten, dass die Erhöhung der Zyklusfrequenz das zentrale Element der Geschwindigkeitserhöhung bildet, sich jedoch Unterschiede in verschiedenen Bewegungsklassen zeigen, und die Verkürzung der Zeit für die Rückführphasen das wesentliche Belastungselement darstellt. Aus biomechanischer Sicht sind Bewegungsprogramme zu erarbeiten, die auch im Grundlagenausdauertraining differenzierte Anforderungen an das innerzyklische Belastungs-/Pausen-Regime stellen.

Schlüsselwörter: Zyklusstruktur, Ausdauersportarten, Leistungsdiagnose, Wettkampfanalyse

In his investigations Hay (2002) has shown the importance of stroke length at low speeds in most locomotions, while at higher speeds the stroke rate dominates. In order to be able to compare different movements in different kinds of sport, we developed a model, which allows the comparison of the relationship between stroke rate and stroke length on different speed levels (cycle parameter). In this paper competition and performance analyses from running/sprinting as well as swimming are retrospectively analyzed. When comparing different movement patterns we found that movements with continuous drive (e. g. freestyle swimming) are determined strongly by the stroke length and movements with synchronous drive (e. g. breaststroke swimming) rather by the stroke rate. In some cases the individual relationship between stroke rate and stroke

length showed a tendency that within the range of maximum speed an unrealistic frequency becomes necessary. Other variants lead to a change of the relation between the drive of upper and lower limbs. Especially in endurance training the choice of movement frequencies should be derived from the prognostic cycle structure for the competition speed. Our investigations confirmed that the increase in cycle frequency becomes the central element to increase speed, however we also found differences in certain movement patterns. The decreased time for the reconducting phase is the crucial element of training load when aiming at an increase in speed. From biomechanical view movement patterns are to be created, representing differentiated demands on the intra-cyclic relation between activation and rest in endurance training too.

Keywords: endurance sports, competition and performance analysis, strength

Einleitung

Die Zyklusstruktur wird in den Ausdauersportarten im Wesentlichen durch die Parameter Zyklusweg und Zyklusfrequenz bestimmt. Dabei fällt auf, dass für die Frequenz sehr unterschiedliche Bezugssysteme verwendet werden. Diese umfassen sowohl die Ermittlung von Einzelaktionen (links/rechts-Arm/Bein) als auch von kompletten Bewegungszyklen auf der Zeitbasis von Minuten resp. Sekunden. Damit sind die Daten in verschiedenen Sportarten nicht direkt vergleichbar. Zur Sicherung der Vergleichbarkeit haben wir für unsere Untersuchungen die Zyklusfrequenz als die Anzahl kompletter Bewegungszyklen pro Minute definiert und alle anderen Größen in dieses Bezugssystem umgerechnet (vgl. Tab. 1).

1 Biomechanische und leistungsphysiologische Aspekte der Zyklusgestaltung

Aus der Sicht der Biomechanik haben sich Zatsiorsky, Aljeshinsky und Jakunin (1987) sowie Utkin (1984) grundlegend zu dem Verhältnis von Schrittlänge und Frequenz bei der Vortriebserzeugung geäußert. Zaziorsky et al. (1987) diskutierten aus biomechanischer Sicht als Optimierungskriterium einen minimalen Energieaufwand des Sportlers resultierend aus großen Antriebsleistungen im Ein-

Korrespondenzadresse:

Maren Witt (mwitt@iat.uni-leipzig.de)
Institut für Angewandte Trainingswissenschaft,
Marschnerstr. 29,
04109 Leipzig



E-Journal Bewegung und Training

Offizielles Organ der Sektionen Biomechanik,
Sportmotorik und Trainingswissenschaft in
der Deutschen Vereinigung für
Sportwissenschaft
ISSN 1612-5770

Tabelle 1. Verwendung von Zyklusfrequenz (f_z) und Aktionsfrequenz (f_a) in verschiedenen Sportarten bzw. Quellen sowie Möglichkeiten zur deren Umrechnung.

Verwendung	pro Minute	pro Sekunde
Aktionen	Kanu [Schläge pro Minute] und russische Quellen (z.B. Zatziorsky, Aleshinsky & Jakunin, 1987)	Lauf, Eisschnellauf [Schritte pro Sekunde]
Zyklen	Schwimmen, Rudern, Skilanglauf, Radsport [Zyklen bzw. Umdrehungen pro Minute]	englischsprachige Quellen (z.B. Hay, 2002)
Umrechnung	pro Minute	pro Sekunde
Aktionen	$f_z[\text{min}] = 2 \cdot f_a[\text{min}]$	$f_a[\text{s}] = \frac{f_z[\text{min}]}{30}$
Zyklen	$f_z[\text{min}]$	$f_z[\text{s}] = f_a[\text{min}] \cdot 60$

zel-zyklus. Dieser Optimalbereich wird jedoch bei Dauerbelastungen verlassen, weil der Energiebetrag in der Einzelwiederholung so groß ist, dass sich sehr schnell eine Ermüdung der beteiligten Muskulatur einstellt. Die Ursache dafür dürfte die notwendige Rekrutierung von motorischen Einheiten mit großer Energieabgabe pro Zeiteinheit sein. Diese motorischen Einheiten sind in der Regel weniger ermüdungsresistent als solche mit einem geringeren Energieumsatz. Deshalb weichen die Sportler in der Praxis auf geringere Energieumsätze im Einzelzyklus und eine damit verbundene höhere Bewegungsfrequenz aus. Sie nehmen dabei die sich aus der erhöhten Bewegungsfrequenz ergebende höhere Blindleistung in Kauf (Witt, Hildebrand & Knoll, 2004).

In seinen grundlegenden Betrachtungen zum Verhältnis von Zyklusfrequenz und Zyklusweg in der menschlichen Bewegung stellte Hay (2002) fest, dass die Bedeutung des Zykluswegs bei vielen Lokomotionsformen in niedrigen Geschwindigkeiten überwiegt, während bei höheren Geschwindigkeiten die Zyklusfrequenz dominiert. Es zeigen sich jedoch individuell differente Ergebnisse, die sowohl von den individuellen Anlagen als auch vom absolvierten Training abhängig sind. Tendenziell legen hoch trainierte Athleten einen größeren Weg pro Einzelzyklus zurück als leistungsschwächere Sportler (Poltorapavlov et al. zitiert nach Zatziorsky, Aljeshinsky & Jakunin, 1987) und Frauen realisieren in der Regel geringere Zykluswege als Männer.

Die größten Zykluswege (Schrittlängen) treten beim Lauf im Bereich der Mittelstrecke auf. Sowohl die Verlängerung der Laufstrecke als auch die Geschwindigkeitserhöhung führen zu einer Verkürzung der Schrittlänge. Die Abnahme der Schrittlänge bei längeren Läufen steht im Zusammenhang mit den o. g. muskelphysiologischen Gegebenheiten. Die deutliche Frequenzzunahme im Sprint weist auf die Auflösung des Optimierungsprinzips hin. Es wird auf den kurzen

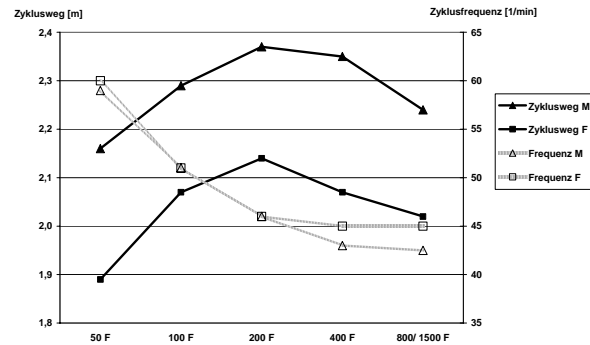


Abbildung 1. Veränderung des Zykluswegs und der Bewegungsfrequenz in Abhängigkeit von der Streckenlänge bei Männern (M) und Frauen (F); (Mittelwerte aller Finalisten der Schwimm-Europameisterschaften 2002; Leopold, 2002)

Sprintstrecken von dem Prinzip der Maximierung des Energieumsatzes abgelöst (Nigg, Stefanyszyn & Cole 2001). Dabei spielen Fragen der Bewegungsökonomie eine untergeordnete Rolle.

Bei der Betrachtung des Verhältnisses von Zyklusfrequenz und Zyklusweg spielen also sowohl biomechanische als auch leistungsphysiologische Optimierungskriterien eine Rolle. Die trainingsmethodische Aufgabe besteht zum einen in der Erarbeitung der energetischen Absicherung für hohe Vortriebswege unter dem Ausdaueraspekt und zum anderen in der Vergrößerung der Gesamtenergieabgabe unter Zeitzwang.

Verhältnis von Zyklusweg und Zyklusfrequenz

Sowohl die Zyklusfrequenz als auch der Zyklusweg verändern sich stark in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit und damit von der Streckenlänge. In der Beziehung zwischen Lokomotionsgeschwindigkeit und Zyklusweg finden wir eine unterschiedliche Charakteristik. Im leichtathletischen Lauf (Abb. 1) und im Schwimmen zeigt sich ein Maximum im Zyklusweg im Belastungsbereich von zwei Minuten. Dies betrifft im Lauf die 800-m- und im Schwimmen die 200-m-Strecken. In anderen Sportarten vergrößert sich der Zyklusweg dagegen mit abnehmender Geschwindigkeit resp. zunehmender Streckenlänge im Bereich der Wettkampfdistanzen. Beispiele für eine solche Ge-

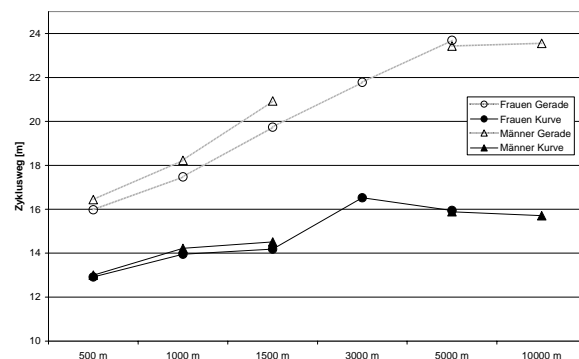


Abbildung 2. Veränderung des Zykluswegs in Abhängigkeit von der Streckenlänge bei Männern und Frauen; (Mittelwerte der Medaillengewinner der Weltmeisterschaften im Eisschnellauf 2003; Ehrig, persönliche Mitteilung).

staltung sind die Sportarten Eisschnelllauf (Abb. 2) und Kanurennsport. Beim Eisschnelllauf ist auf den längeren Strecken auch eine Abflachung des Zyklusweganstiegs zu erkennen.

Im Wettkampfsport können wir immer wieder feststellen, dass unterschiedliche Sportler gleiche Geschwindigkeiten mit unterschiedlichen Bewegungsfrequenzen realisieren. Aber auch ein und derselbe Sportler kann im Verlaufe seiner leistungssportlichen Entwicklung Veränderungen im Verhältnis von Zyklusweg und Zyklusfrequenz zeigen. Ein Beispiel dafür ist Jan Ullrich, der noch im Jahr 2001 zur Tour de France im Vergleich zu Lance Armstrong extrem hohe Übersetzungen fuhr, im Jahr 2003 jedoch deutlich höhere Frequenzen nutzte. Die Abbildung 3 zeigt die mögliche Verschiebung der Zyklusweg-Frequenz-Relation auf der Geschwindigkeitshyperbel.

Die Spanne der in unterschiedlichen Sportarten realisierten Zyklusfrequenzen und -wege ist sehr groß (vgl. Abb. 3). Die höchsten Zyklusfrequenzen der unteren Extremitäten werden im leichtathletischen Sprint mit 150 Zyklen/min bzw. 5 Schritten/s (Mann, 1999) und in der Freistil-Beinbewegung im Schwimmen mit 180 bis 200 Zyklen/min erreicht. Für die oberen Extremitäten liegen die Grenzwerte deutlich niedriger. Hier werden Spitzenfrequenzen im Kanurennsport von etwa 90 Zyklen/min (das entspricht 180 Schlägen/min) (Englert & Kießler, 2004) ebenso wie beim Doppelstockschießen im Skilanglauf (Bauer, Ostrowski & Wick, 2003) beobachtet. Die größten Zykluswege werden ebenfalls durch den Einsatz der unteren Extremitäten realisiert. Im Eisschnelllauf wurden auf den längeren Distanzen mittlerweile Zykluswege bis zu 20 m ermittelt (Ehrig & Müller, 2001). Dagegen können Ruderer mit dem vorrangigen Einsatz der oberen Extremitäten Zykluswege von etwa 8 m in Einzelwettbewerben und bis zu 9 m in Mannschaftsbooten realisieren (Kleshnev, 2004). In den von uns durchgeführten Untersuchungen gingen wir der Frage nach, inwieweit sich allge-

meingültige Regulationsmechanismen in der Zyklusstruktur der Ausdauersportarten unter besonderer Berücksichtigung der ständigen Erhöhung der Wettkampfgeschwindigkeiten finden lassen.

2. Untersuchungsmethoden

In diesem Beitrag werden Ergebnisse der Sportarten leichtathletischer Lauf und Schwimmen dargestellt. In die Ergebnisdarstellung fließen Ergebnisse der Wettkampfanalysen im Schwimmen von den Europameisterschaften 2002 (Leopold, 2002) und den Weltmeisterschaften 2003 (Witt & Schnabel, 2003) sowie für den leichtathletischen Lauf von Wettkampfhöhepunkten der Jahre 1994 bis 2004 (Gohlitz, persönliche Mitteilung) ein. Zusätzlich wurden folgende Stufentests dieser Sportarten, die im Rahmen der Leistungsdiagnose durchgeführt wurden, analysiert:

- 463 Stufentests über 8 x 100 m (Männer: 114 Tests im Freistil-, 68 Tests im Rücken-, 30 Tests im Schmetterlings- und 56 Tests im Brustschwimmen; Frauen: 63 Tests im Freistil-, 50 Tests im Rücken-, 45 Tests im Schmetterlings- und 37 Tests im Brustschwimmen),
- 398 Stufentests über 8 x 200 m (Männer: 140 Tests im Freistil-, 45 Tests im Rücken-, 12 Tests im Schmetterlings- und 23 Tests im Brustschwimmen; Frauen: 116 Tests im Freistil-, 27 Tests im Rücken-, 9 Tests im Schmetterlings- und 26 Tests im Brustschwimmen),
- 146 Stufentests über 4 x 400 m Freistilschwimmen (Männer: 82; Frauen: 64 Tests),
- 1316 Ausdauerstufenprogramme der Männer über 4 x 2000 m,
- 260 Tempolauftufenstests der Männer über 3 x 600 m.

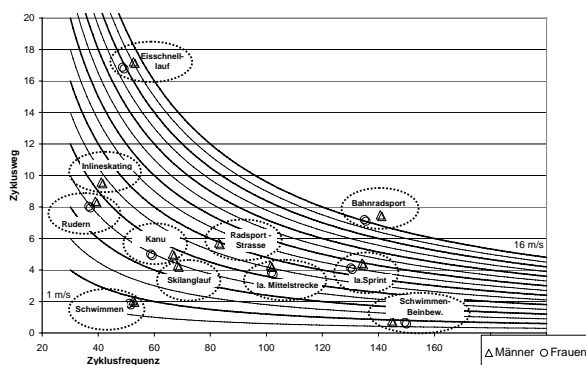


Abbildung 3. Relation von Zyklusweg und Zyklusfrequenz in verschiedenen Sportarten (Mittelwerte der entsprechenden Disziplinen).

Um die Relation von Zyklusfrequenz und Zyklusweg bei unterschiedlichen Lokomotionsgeschwindigkeiten beschreiben zu können, nutzten wir die erste Ableitung der Geschwindigkeitshyperbel. Sie beschreibt den Anstieg der Tangente mit den aktuellen Parametern von Zyklusweg und Zyklusfrequenz als Parameter der Zykluscharakteristik (Zyklusparameter). Es kann eine Verlängerung des Zykluswegs zwischen 2 und 80 cm durch eine Verringerung der Frequenz um einen Zyklus pro Minute erreicht werden. Der berechnete Anstieg beschreibt die Lage des aktuellen Verhältnisses zwischen Zyklusfrequenz und -weg auf der Geschwindigkeitshyperbel. Kleine Werte weisen auf eine Frequenzorientierung, große Werte auf eine Zykluswegorientierung hin. Verändert sich die Be-

wegungsgeschwindigkeit bei konstantem Anstieg der Hyperbel, so hat sich am Verhältnis von Zyklusweg und -frequenz nichts verändert. Vergrößert sich der Anstieg, kam es zu einer Betonung des Zykluswegs, während eine Verringerung für eine Betonung der Zyklusfrequenz spricht (Witt 2007).

Die statistische Aufbereitung der Daten erfolgte auf der Basis beschreibender Verfahren mit dem Statistikprogramm SPSS.

3 Ergebnisse

3.1 Veränderung der Zyklusfrequenzen und -wege auf verschiedenen Wettkampfdistanzen

Schwimmen

Der Zyklusweg vergrößert sich in allen vier Stilarten von der 50- bis zur 200-m-Strecke, d. h. mit Abnahme der Schwimgeschwindigkeit, mehr oder weniger stark (Abb. 4). Eine Ausnahme bildet nur das Rückenschwimmen der Frauen, hier fällt der Zyklusweg bereits auf der 200-m-Strecke wieder deutlich ab. Dies beobachten wir auch auf den längeren Freistilstrecken. Es fällt in diesem Zusammenhang auf, dass sich die Zyklusfrequenz bei Männern und Frauen kaum unterscheidet, die Unterschiede im Zyklusweg aber konstant 0,2 bis 0,25 m betragen, das entspricht etwa 10 %. Während die Unterschiede im Zyklusweg einen typischen Befund darstellen, wäre eine teilweise Kompensation durch höhere Bewegungsfrequenzen bei den Frauen zu erwarten gewesen. Dagegen finden wir über 50 und 100 m Brust sogar eine signifikant höhere Bewegungsfrequenz bei den Männern.

Im Schwimmen liegt der notwendige Weggewinn bei einer Frequenzreduzierung zwischen 2 und 5 cm. Wir finden im Schwimmen die höchsten Zyklusfrequenzen für die unteren Extremitäten. Es werden hier von den Finalisten auf den 50-m-Freistilstrecken im Mittel Zyklusfrequenzen für die oberen Extremitäten von 60 Zyklen/min realisiert. Da auf einen kompletten Armzyklus sechs Kickbewegungen der Beine (so genannter 6er-Beinschlag) ausgeführt werden, entspricht dies einer Kickfrequenz von 6 Kickbewegungen/s bzw. 180 Beinzyklen/min. Damit liegen die Frequenzen im Freistilsprint über denen der leichtathletischen

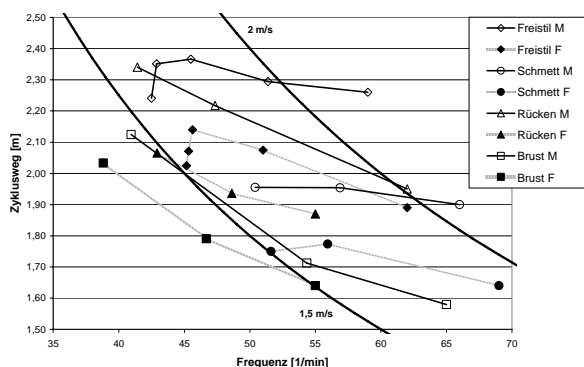


Abbildung 4. Relation von Zyklusweg und Zyklusfrequenz im Schwimmen (F-Frauen, M-Männer).

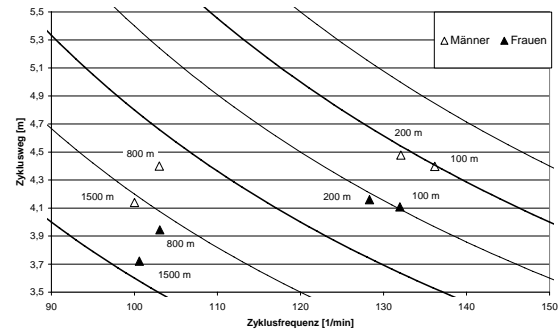


Abbildung 5. Relation von Zyklusweg und Zyklusfrequenz im leichtathletischen Lauf/Sprint.

Sprinter, die maximal 5,5 Schritte/s bzw. 165 Zyklen/min erreichen und denen der Radsprinter mit 150 Umdrehungen/min.

Leichtathletischer Lauf/Sprint

Im leichtathletischen Sprint werden Spitzenfrequenzen von 5 bis 5,5 Schritten pro Sekunde, das entspricht 150 bis 180 Zyklen/min, erreicht. Die Zykluswege erreichen Werte von bis zu 5 m. Die Erhöhung der Zyklusfrequenz führt zu einem Weggewinn von 3 bis 4 cm. Dieser ist aufgrund der sehr hohen Frequenz im Vergleich mit anderen Sportarten sehr gering (Abb. 5).

Die Bewegungsfrequenzen im Mittel- und Langstreckenbereich sind deutlich niedriger. Sie erreichen bei den Mittelstrecklern noch Werte von etwa 100 Zyklen/min (etwa 3,5 Schritte/s). Die Zykluswege liegen bei 4 bis 4,5 m. Wir finden also auch im leichtathletischen Lauf kein Maximum des Zykluswegs. Die Erhöhung des Zyklusweges setzt sich, wenn auch abgeflacht, bis zu den maximalen Geschwindigkeiten fort.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass zwischen der Zyklusfrequenz und dem Zyklusweg in fast allen Sportarten unter Wettkampfbedingungen eine reziproke Beziehung besteht, das heißt Frequenzerhöhungen gehen mit einer Zykluswegverringerung einher. Diese Beziehungen werden nicht in allen Wettkampfanalysen deutlich, da durch veränderte Arbeitsbedingungen (z. B. in Mannschaftsbooten im Rudern) zusätzliche Einflüsse wirksam werden. So beobachten wir im Rudern eine synchrone Erhöhung von Zyklusweg und Zyklusfrequenz, während im Radsport durch unterschiedliche Übersetzungsverhältnisse sehr ähnliche Zykluswege bei unterschiedlichen Frequenzen realisiert werden können. Noch deutlicher wird der Einfluss äußerer Arbeitsbedingungen bei Wettkämpfen mit unterschiedlichem Profil (Ski-langlauf, Straßenradsport).

Offensichtlich treten unter Wettkampfbedingungen nur sehr stark eingeschränkte Kombinationen von Weg und Frequenz auf, deshalb wird nur im Freistilschwimmen und im leichtathletischen Lauf das von Hay (2002) postulierte Wegmaximum in der Weg-Frequenz-Relation im Bereich der Wettkampfgeschwindigkeiten erreicht.

Eine Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang in den von uns untersuchten Sportarten der

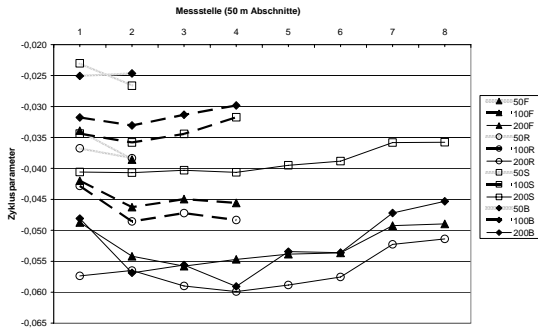


Abbildung 6. Veränderung des Zyklusparameters in Abhängigkeit von der Disziplin und der Ermüdung unter Wettkampfbedingungen (Mittelwert der Finalisten der EM 2002).

leichtathletische Lauf. Hier ist eine gleichzeitige Erhöhung von Zyklusfrequenz und Zyklusweg mit der Geschwindigkeitssteigerung zu beobachten. Im Radsport wird die Aussage durch die unterschiedlichen Übersetzungen eingeschränkt.

3.2 Veränderung der innerzyklischen Antriebsgestaltung unter renntaktischen Aspekten

In diesem Abschnitt sollen im Gegensatz zum vorangegangenen, in dem Mittelwerte des gesamten Wettkampfs berechnet wurden, Veränderungen der Zyklusstruktur innerhalb eines Wettkampfs verdeutlicht werden. Diese Darstellung erfolgt am Beispiel des Schwimmens und des leichtathletischen Laufs, die beide ähnliche Tendenzen aufweisen.

Schwimmen

Die Ausprägung der Zyklusweg- bzw. Zyklusfrequenzorientierung ist abhängig von der Schwimmart. Die Gleichschlagschwimmarten (Brust- und Schmetterlingsschwimmen) sind generell frequenzorientierter als die Wechselschlagschwimmarten (Freistil- und Rückenschwimmen). Die Zykluswegorientierung nimmt mit zunehmender Belastungsdauer in allen Schwimmarten zu. Die Renngestaltung weist am Start in den meisten Fällen eine Frequenzorientierung auf. Im weiteren Rennverlauf erfolgt eine stärkere Orientierung auf den Zyklusweg. Abhängig von der Belastungsdauer ist dann auf den längeren Strecken (ab 200 m) im letzten Viertel wiederum ein Wechsel zur Frequenzorientierung erkennbar (Abb. 6).

Vergleicht man die Renngestaltung bei der EM 2002 und der darauf folgenden WM im Jahre 2003 am Beispiel der Freistilstrecken, so wird eine stärkere Zykluswegorientierung des Finalfelds bei den Weltmeisterschaften deutlich. Dies gilt für die Strecken ab 100 m (Abb. 7).

Leichtathletischer Lauf/Sprint

Im leichtathletischen Sprint zeigt sich in der Beschleunigungsphase bedingt durch die deutliche Geschwindigkeitssteigerung aus der Ruhe eine deutliche Zykluswegorientierung. Im weiteren Rennen werden nur geringe Verschiebungen zwischen

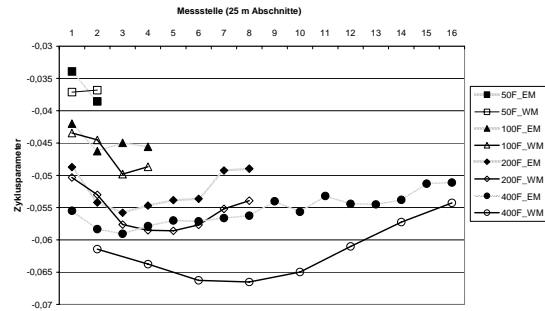


Abbildung 7. Vergleich des Zyklusparameters in den Freistilwettbewerben der EM 2002 und der WM 2003.

der Frequenz und dem Zyklusweg deutlich. Nachdem die Sprinter die Grenze von 11 m/s erreicht haben, kommt es zu einer leichten Verschiebung in Richtung Bewegungsfrequenz, am Ende des Rennens kehrt sich dies in eine leichte Dominanz der Schrittlänge um. Dies wird besonders durch die detaillierten Daten in 10-m-Segmenten von Shen (2000) deutlich (Abb. 8).

Auch die Mittelstreckler beginnen ihre Rennen mit einer Frequenzorientierung auf den ersten 100 m. Danach erfolgt eine Verschiebung zu einem längeren Zyklusweg, bevor am Ende des Wettkampfs, ausgelöst durch die Ermüdung, die Bewegungsfrequenz wiederum stärker dominiert. Am deutlichsten zeigt sich diese Frequenzorientierung auf der 800-m-Strecke der Männer. Die Verläufe der Mittelstreckler sind denen im Schwimmen sehr ähnlich. Auch im Lauf werden die Mittelstrecken im Vergleich mit dem Sprint mit einer deutlichen Betonung des Zykluswegs absolviert (Abb. 9).

Für beide Sportarten zeigt sich eine Anfangsdominanz der Bewegungsfrequenz, verbunden mit hohen Beschleunigungen bzw. Bewegungsgeschwindigkeiten und eine Zunahme der Bewegungsfrequenz unter Ermüdung, die jedoch bereits deutlich vor dem Erreichen des Ziels beendet ist. Detailuntersuchungen im Bereich der Mittelzeitdauer weisen auf einen optimalen Zeitpunkt für das Erreichen der maximalen Bewegungsfrequenz von 10 s vor dem Zieleinlauf hin (Witt, Hildebrand & Knoll, 2004).

3.3 Veränderung der innerzyklischen Antriebsgestaltung in Stufentests

Die Veränderungen in der innerzyklischen An-

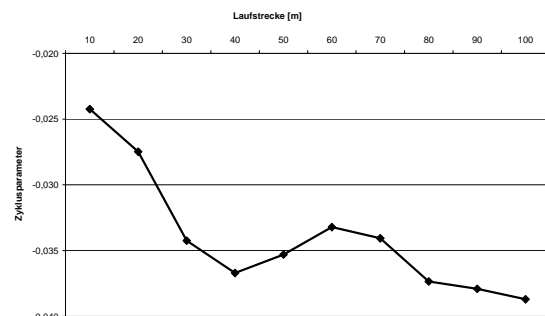


Abbildung 8. Veränderung des Zyklusparameters im 100-m-Sprint (Shen, 2000).

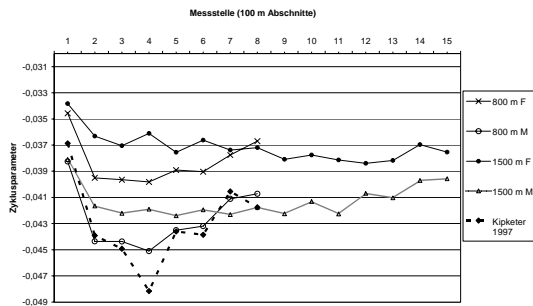


Abbildung 9. Veränderung des Zyklusparameters im Mittelstreckenlauf (F-Frauen, M-Männer).

triebsgestaltung sollen in diesem Abschnitt am Beispiel zweier Sportarten dargestellt werden, in denen unterschiedliche Regulationsmechanismen wirken: dem leichathletischen Lauf, in dem die Geschwindigkeitssteigerung zykluswegorientiert erfolgt und dem Schwimmen, in dem eine Frequenzregulation vorherrscht.

Schwimmen

Im Schwimmen wird die Geschwindigkeitserhöhung im Wesentlichen durch eine Frequenzerhöhung realisiert. Dies kommt in einer Zunahme des Zyklusparameters bei allen Stufentestarten (8 x 100 m; 8 x 200 m, 4 x 400 m) und in allen Stilarten zum Ausdruck. Dabei fällt eine hohe Variation des Zyklusparameters bei niedrigeren Geschwindigkeiten auf. Bei hohen Geschwindigkeiten engen sich die Kombinationsmöglichkeiten deutlich ein. Leistungsstarke Schwimmer und Schwimmerinnen zeichnen sich tendenziell durch eine deutliche Zykluswegorientierung aus (Abb. 10).

Die Zyklusparameter erreichen Grenzwerte zwischen -0,03 bis -0,04 unabhängig von der Schwimmart. Außer im Freistilschwimmen zeigen sich auch keine Abhängigkeiten von der Streckenlänge. Vergleichbare Geschwindigkeiten werden in ähnlichen Zyklusstrukturen absolviert. In den meisten Fällen sind die Sportler auch nicht auf eine Disziplin, sondern eher auf eine Schwimmart spezialisiert. In den Freistil-Stufentests wird bei Einbeziehung der längeren Strecken insbesondere

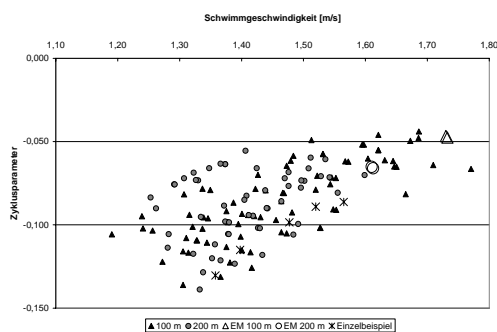


Abbildung 10. Veränderung des Zyklusparameters in Abhängigkeit von der Schwimmgeschwindigkeit bei Stufentests über 8 x 100 m bzw. 8 x 200 m Rücken der Männer (als Vergleichswerte sind die Mittelwerte aller Finalisten der EM 2002 und ein Stufentest eines leistungsstarken Schwimmers dargestellt).

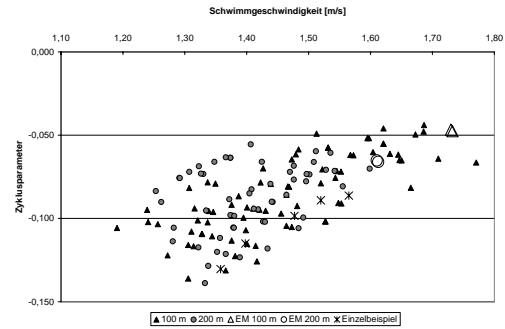


Abbildung 11. Veränderung des Zyklusparameters in Abhängigkeit von der Schwimmgeschwindigkeit beim Stufentest über 4 x 400 m Freistil der Frauen (als Vergleichswerte sind die Mittelwerte aller Finalisten der EM 2002 dargestellt).

bei den Frauen deutlich, dass sich die Schere für den Zyklusparameter bei den längeren Strecken nicht so weit öffnet wie im Sprint (Abb. 11), d. h. die Zykluswegorientierung spielt in den Trainingsgeschwindigkeiten der Langstrecklerinnen keine so große Rolle.

Eine Aussage über die Zielbezogenheit der realisierten Zyklusstruktur lässt sich erst bei der Einbeziehung der Rennverläufe von internationalen Top-Wettkämpfen treffen. In den beiden Abbildungen werden deshalb zum Vergleich die Mittelwerte der EM 2002 dargestellt. Das Ziel besteht darin, diese Ziel-Zyklusstruktur im Training entsprechend vorzubereiten. Dabei kann sowohl eine zu starke Zyklusweg- als auch Frequenzorientierung bei den niedrigeren Schwimmgeschwindigkeiten hinderlich sein.

Der Zyklusparameter eignet sich aber auch zur Beschreibung eines Leistungsfortschritts in Tests mit variabler Geschwindigkeit. Bei einer unveränderten Laktat-Leistungskurve lassen sich so trainingsbedingte Veränderungen in der Antriebsgestaltung darstellen. In unserem Beispiel (Abb. 12) zeigt eine Freistilsprinterin über mehrere Jahre keine Veränderungen in den leistungsphysiologischen Reaktionen. Trotzdem verändert sich ihre Antriebsgestaltung zuerst deutlich in Richtung Frequenzorientierung (von Test 1 zu Test 2). Durch eine veränderte Belastungsgestaltung im Olympiajahr gelingt die Umkehrung dieser Tendenz zu einer Erhöhung des Zykluswegs (Test 3). Durch die Einbeziehung dieses Zyklusparameters können insbesondere unter dem Aspekt der Maximierung der Antriebsleistung Trainingswirkungen diagnostiziert werden.

Lauf

Im Geschwindigkeitsbereich der Stufentests (ST) zeigt sich bis etwa 5,5 m/s eine eindeutige Zykluswegorientierung (Abb. 13). Ein höheres Leistungsniveau äußert sich auf vergleichbaren Geschwindigkeitsstufen in größeren Schrittlängen. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen entstehen bei einer entsprechenden Gruppengröße (in der Gruppe ST 3,50 m/s + befinden sich 5 und in der Gruppe ST 3,75 m/s + 15 Tests, in den anderen Gruppen mehr als 50 Tests). Wir finden

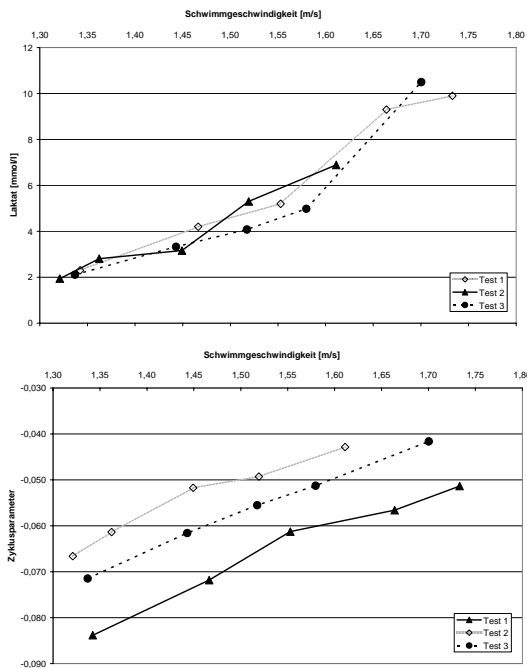


Abbildung 12. Veränderung der Laktat-Leistungs-Kurve (oben) und der Zyklusstruktur (unten) einer Sportlerin in Stufentests über 8 x 100 m Freistil.

einen signifikanten Unterschied in der Schrittlänge zwischen der Gruppe ST 4,00 m/s + und der Gruppe ST 4,25 m/s + ebenso wie zwischen den Gruppen ST 4,25 m/s + und ST 4,50 m/s + ($p < 0,05$). Kein Unterschied zeigt sich zwischen den Gruppen ST 4,50 m/s + und ST 4,75 m/s +. In der letzten Gruppe befinden sich vor allem Langstreckler, die in der Bewegungsstruktur ihrer Wettkampfbewegung geringere Zykluswege realisieren.

In den Tempolauftests zeigt sich ein stabiles Verhältnis von Zyklusweg und -frequenz im Bereich der Geschwindigkeiten von 5,5 bis 7,5 m/s. Erst bei höheren Geschwindigkeiten bzw. unter Ermüdung kommt es zu einer Dominanz der Bewegungsfrequenz. Dies zeigt das Beispiel eines Sprinters, der einen Stufentest im Geschwindigkeitsbereich zwischen 10,25 und 11,25 m/s absolvierte (Stufendauer ca. 10 s). Mit Zunahme der Geschwindigkeit steigerte der Sprinter seine Schrittfrequenz von 4,06 auf 4,65 Schritte/s (122 bis 140 Zyklen/min).

Auch in den Tempolauftests (TL) wird mit steigender Qualifikation eine Zunahme des Zykluswegs auf vergleichbaren Geschwindigkeitsstufen deutlich. Diese Unterschiede erreichen das Signifikanzniveau von $p < 0,01$ im Vergleich der Gruppen TL 5,50 m/s + und TL 5,75 m/s +, TL 6,50 m/s + und TL 6,75 m/s + sowie TL 6,75 m/s + und TL 7,00 m/s +. Es wird deutlich, dass die Unterschiede in der Schrittlänge im mittleren Leistungsbereich sehr gering sind. Dies resultiert aus der inhomogenen Zusammensetzung der Gruppen mit Vertretern unterschiedlicher Spezialdisziplinen

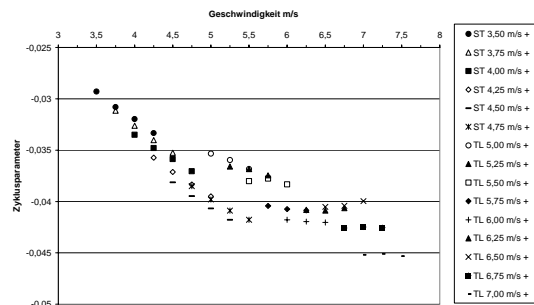


Abbildung 13. Vergleich des Zyklusparameters in Stufentests (ST) und Tempolauftests (TL); (in der Legende ist die jeweilige Geschwindigkeit der ersten Stufe dargestellt, die Steigerung betrug jeweils 0,25 m/s).

vor allem in den Randbereichen der Geschwindigkeit. In den drei Gruppen mit dem höchsten Leistungsniveau befinden sich so z. B. fast ausschließlich 800-m-Läufer.

Da in den Stufentestprogrammen definierte Geschwindigkeiten vorgegeben werden, können in diesem Fall Mittelwerte in den einzelnen Stufen berechnet werden. Bei der Vorgabe von definierten Bewegungsgeschwindigkeiten z. B. auf Laufbändern kann deshalb alternativ zum Zyklusparameter auch der Zyklusweg zur Interpretation herangezogen werden. Ein Vergleich mit der Zyklusstruktur unter Wettkampfbedingungen kann aber wiederum nur mit Hilfe des Zyklusparameters erfolgen, da hier die Geschwindigkeit ähnlich wie unter Trainingsbedingungen variiert.

Die Abbildung 14 zeigt die individuelle Variation der Zyklusparameter am Beispiel zweier 800-m-Läufer, von denen einer frequenzorientiert und der andere zykluswegorientiert läuft. Diese Grundcharakteristik spiegelt sich in allen Geschwindigkeitsbereichen und auch im Wettkampf wider. Die Unterschiede im Zyklusparameter zwischen Test und Wettkampf ergeben sich vor allem durch eine höhere Frequenz in der Start- und Endspurtphase des Wettkampfs. Wenn eine Veränderung in der Zyklusstruktur angestrebt werden soll, so muss sich diese über alle Geschwindigkeiten erstrecken.

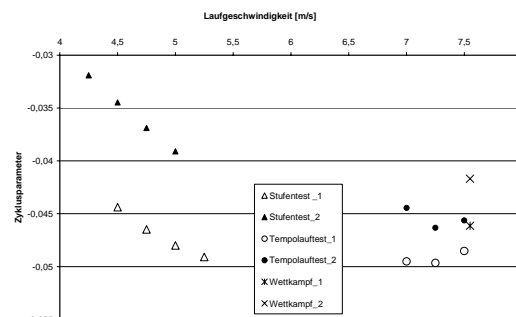


Abbildung 14. Veränderung des Zyklusparameters für zwei Sportler (1, 2) in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit beim Stufentest, Tempolauftest und im Wettkampf.

4. Zusammenfassung

Im Vergleich der Sportarten Lauf und Schwimmen zeigen sich unterschiedliche Regulationsstrukturen. Diese resultieren aus den unterschiedlichen äußeren Arbeitsbedingungen, die im Schwimmen im Gegensatz zum Lauf größere innerzyklische Ruhephasen in Form einer Gleitbewegung ermöglichen. Ähnliche Bedingungen finden wir auch in den Wasserfahrtsportarten (z. B. Rudern und Kanu) sowie in Sportarten mit gleitendem Widerlager (z. B. Skilanglauf). Im Gegensatz dazu führt die Wirkung der Schwerkraft im Lauf besonders bei niedrigen Laufgeschwindigkeiten zu einem schnell wiederkehrenden Bodenkontakt, da die Schrittlänge in unmittelbarem Zusammenhang mit der horizontalen Körperschwerpunktgeschwindigkeit steht. Lediglich die überproportionale Erhöhung der vertikalen Geschwindigkeit im Abdruck könnte dieses Missverhältnis etwas verbessern. Diesen federnen Lauf kann man oft bei Sprintern in der Erwärmung beobachten.

Die von uns beobachteten maximalen Bewegungsfrequenzen liegen deutlich unter den maximalen Frequenzen der unbelasteten Extremität, z. B. bei Tappingversuchen. Hier werden sowohl von der oberen als auch der unteren Extremität maximale Bewegungsfrequenzen von 15 bis 17 Hz erreicht (Voß, Witt & Werthner, 2007). In leistungsdiagnostischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass diese hohen Tappingfrequenzen eine notwendige (wenn auch nicht hinreichende) Leistungsvoraussetzung für hohe Bewegungsfrequenzen in der spezifischen Bewegung sind (ebenda). Die erreichbaren maximalen Frequenzen können wesentliche Informationen für individuelle Optimierungsstrategien (Entwicklung der Zyklusfrequenz vs. des Zyklusweges) liefern.

Für alle untersuchten Bewegungen wurden Unterschiede im Zyklusparameter für einzelne Sportlergruppen deutlich. So realisierten die Langstreckler in vergleichbaren Geschwindigkeitsstufen geringere Zykluswege als Mittelstreckler. Dies gilt in vergleichbarer Weise auch für Langstreckenschwimmer im Vergleich mit Kurzstrecklern. Damit wird deutlich, dass die Realisierung höherer Wettkampfgeschwindigkeiten bereits bei niedrigen GA-Geschwindigkeiten eine andere Zyklusstruktur erfordert. Andererseits weisen unsere Untersuchungen auch darauf hin, dass eine Überbetonung dieser Zykluswegorientierung bei einer folgenden Geschwindigkeitserhöhung in eine Frequenzfalle führen kann. Der Zyklusparameter verändert sich mit der Geschwindigkeitserhöhung fast linear. Dies bedeutet, dass bei hohen Geschwindigkeiten die Zyklusfrequenz überproportional erhöht werden

müsste, was dann meist zu einer Leistungslimitierung in den zyklischen Sportarten führt. Mit Hilfe des entwickelten Zyklusmodells können Aussagen über

- prognoseorientierte Zyklusstrukturen in verschiedenen Sportarten
- über die Bewegungsqualität in Stufentests und
- individuelle Frequenzvorgaben für alle Geschwindigkeitsbereiche im Training erarbeitet werden.

Literatur

- Bauer, S., Ostrowski, C. & Wick, J. (2003). *Analyse der Nordischen Skiweltmeisterschaft - Skilanglauf -, Val di Fiemme 18.02.-01.03.2003*. Leipzig: IAT, Forschungsbericht.
- Ehrig, A. & Müller, J. (2001). *Wettkampfuntersuchungen (Teilgeschwindigkeit, Schrittfrequenz, Schrittvortrieb) anlässlich der WM-Einzelstrecken Damen und Herren 9.-11.03.2001 in Salt Lake City* (Forschungsbericht). Berlin: IAT Leipzig.
- Englert, M. & Kießler, R. (2004). *Olympiazyklusanalyse 2000/2004 Kanurennsport*. Leipzig: IAT, Forschungsergebnis.
- Graumnitz, J. & Küchler, J. (2004). Entwicklungstendenzen und Leistungsreserven im Schwimmen. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 11(2), 119-129.
- Hay, J. G. (2002). Cycle Rate, Length, and Speed of Progression in Human Locomotion. *Journal of applied Biomechanics*, 18, 257-270.
- Kleshnev, V. (2004). Racing strategy in Rowing During the Sydney Olympic Games. 04.05.2004, unter: www.coachesinfo.com/map
- Leopold, W. (2002). *Competition Analysis, XXVI. European Championships in Swimming, July, 29. - August, 04. 2002*. Berlin: DSV.
- Shen, W. (2000). *The Effect of stride length and frequency on speeds of elite sprinters in 100 meter dash*. Proceedings of the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Hong Kong, S. 333-336.
- Utkin, V. L. (1984). *Biomechaniceskie aspekty sportivnoj taktiki*. Moskva: Fizkul'tura i sport.
- Voß, G., Witt, M. & Werthner, R. (2007). *Herausforderung Schnelligkeitstraining*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Witt, M., Hildebrand, F. & Knoll, K. (2004). Leistungsreserven aus der Sicht der Biomechanik. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 11(2), 54-63.
- Witt, M. & Schnabel, U. (2003). Untersuchungen zur Antriebsgestaltung im Schwimmen. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 10(1), 20-41.
- Witt, M. (2007). *Antriebsgestaltung bei zyklischen Bewegungen unter besonderer Beachtung der oberen Extremitäten*. Habilitationsschrift, Universität Leipzig, Fakultät für Sportwissenschaft.
- Zatsiorky, V. M., Aljeschinnski, S. J. & Jakunin, N. A. (1987). *Biomechanische Grundlagen der Ausdauer*. Berlin: Sportverlag.

Danksagung

Hiermit möchte ich mich ganz herzlich bei meinen Kollegen des IAT, Frau Dr. A. Berbalk und Herrn Dr. D. Gohlitz, für die Bereitstellung der leistungsdiagnostischen Daten aus den Sportarten Schwimmen und leichtathletischer Lauf bedanken.

Themenschwerpunkt erhalten: 10.03.2008
Überarbeiteten Themenschwerpunkt erhalten: 25.11.2008
Themenschwerpunkt akzeptiert: 25.11.2008
Themenschwerpunkt veröffentlicht: 22.12.2008



THEMENSCHWERPUNKT

MODELLIERUNG UND SIMULATION VON ADAPTATIONSPROZESSEN

JAN-PETER BRÜCKNER & ANDREAS WILHELM

INSTITUT FÜR SPORT UND SPORTWISSENSCHAFTEN, CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT KIEL

Simulative Trainings-Wirkungs-Modelle können die Trainingssteuerung im Leistungssport unterstützen. Eingangs werden die Modellansätze von Banister et al. (1986), Mader (1990), Perl (Mester & Perl, 2000) sowie unser eigenes Modell zur Simulation von Belastungs-, Ermüdungs- und Anpassungsprozessen (Brückner, 2007) vorgestellt. Dieses SimBEA-Modell lässt sich anhand von Trainingsdaten individuell kalibrieren, so dass es die personenspezifischen Reaktionsweisen eines Athleten simulieren kann. Dabei wird berücksichtigt, dass jede Trainingsbelastung zu einer vorübergehenden Abnahme der Leistungsfähigkeit führt, die wiederum die Voraussetzung für weitere Anpassungen darstellt. Die Adaptation wird im Modell durch eine maximale Adaptationsrate begrenzt, wodurch Überlastungsphänomene simulierbar werden. Für die Modellprüfung werden mit einem Läufer zwei Einzelfalluntersuchungen über sechs und 68 Wochen durchgeführt, wobei die Anpassungs- und Ermüdungsdiagnostik über den Ausdauer-Standard-Test (AST) (Hottenrott, 1993) erfolgt. Die Modellprüfung erfolgt in vier Schritten: Für die Reliabilität des Kalibrierungsverfahrens und der eigentlichen Simulation ergeben sich hohe Reliabilitätskoeffizienten. Die Modellanpassung an die gemessenen Trainingszustandswerte ($r = .86$ bzw. $.65$, $p < .001$) weist auf eine hohe Validität des SimBEA-Modells hin. Bezüglich der prognostischen Validität ergeben sich hohe (kurzfristige Prognose) bzw. mittlere (langfristige Prognose) Validitätskoeffizienten.

Schlüsselwörter: Modell, Superkompensation, Belastung, Ermüdung, Anpassung

Simulative training-effect-models can support the training control in competition sport. First the model attempts of Banister et al. (1986), Mader (1990), Perl (Mester & Perl, 2000) are discussed, as well as our own model for the simulation of load, tiredness and adaptation processes (Brückner, 2007). This SimBEA model can be calibrated individually on the basis of training data, so that it can simulate the specific reactions of an athlete. Besides, it is taken into consideration that every training load leads to a temporarily decrease of fitness, which again creates the conditions for other adaptations. Adaptation is limited in the model by a maximum adaptation rate by which strain phenomena become simulateable. For the model check two single case investigations with a runner are carried out over six and 68 weeks, whereas adaptation and tiredness diagnostics are realized by the endurance-standard-test (AST) (Hottenrott, 1993). The model check occurs in four steps: For the reliability of the calibration procedure and the simulation itself high reliability coefficients appear. The model adaptation to the measured training state values ($r = .86$ or $.65$, $p < .001$) points to a high validity of the SimBEA model. With regard to

the prognostic validity high (short-term prediction) or middle (long-term prediction) validity coefficients appear.

Keywords: model, supercompensation, load, tiredness, adaptation

Einleitung

Ziel des leistungssportlichen Trainings ist die Entwicklung von Höchstleistungen. Das Training bewegt sich dabei häufig auf einem schmalen Grat zwischen Unterforderung und Überlastung. Sollen optimale Leistungsfortschritte erreicht werden, so sind die individuellen Grenzen der Belastbarkeit und Anpassungsfähigkeit zu beachten. Computerbasierte Trainings-Wirkungs-Modellierungen können nach Hohmann (2005) den Prozess der Trainingsteuerung schon im Rahmen der Trainingsplanung unterstützen und dadurch helfen, Überlastungen und Unterforderung zu vermeiden: „Mit solchen Modellen kann auf der Basis vorab ermittelter, individueller mathematisch-statistischer Funktionszusammenhänge eine simulative Folgenabschätzung für die geplanten Trainingsinterventionen vorgenommen werden“ (Hohmann, 2005, S. 58).

Und diese Trainingswirkungsanalyse ermöglichte nach Hohmann (2005) dann unter Berücksichtigung individueller Besonderheiten auch eine termingenaue Formsteuerung bei der Anpassung des Athleten an das jeweilige Trainingsprogramm. Vor dem Einsatz derartiger Trainings-Wirkungs-Modellierungen ist jedoch in jedem Fall die Zuverlässigkeit und Gültigkeit des jeweiligen Modells zu prüfen.

Trainings-Wirkungs-Modelle haben bisher Banister (z.B. Banister, Good, Holman & Hamilton, 1986), Mader (1990) und Perl (z.B. Mester & Perl, 2000) vorgestellt. Diese Ansätze werden in der vorliegenden Arbeit kurz diskutiert, um anschließend am Beispiel unseres eigenen SimBEA-Modells (Brückner, 2007) ein Verfahren zur Prüfung solcher Trainings-Wirkungs-Modelle vorzustellen.

Adaptative Trainings-Wirkungs-Modelle

Das Banister-Modell

Banister hat einen der ersten Ansätze vorgestellt, der den Vorbereitungsstatus eines Sportlers kalkulierbar machen sollte (z.B. Banister, Calvert, Savage & Bach, 1975; Banister et al., 1986; Morton, Fitz-Clarke & Banister, 1990). Das Banister-Modell, auch *fitness-fatigue*-Modell (z.B. Hohmann, Lames & Letzelter, 2002, S. 174) genannt, geht davon aus, dass die Leistungsfähigkeit eines Athleten gewissen Schwankungen unterliegt, die durch Trainingsbelastungen verursacht werden. Jede Trainingseinheit hat eine positive und eine negative Auswirkung auf den Vorbereitungsstatus. Beide Effekte treten impulsartig auf, überlagern sich aber gegenseitig (vgl. Banister et al., 1986): Einerseits erhöht das Training unmittelbar nach der Belastung die Leistungsfähigkeit, andererseits führt es zu einer Ermüdung, die den Vorbereitungsstatus beeinträchtigt. Beide Effekte werden im Laufe der Zeit abgebaut. Dabei unterliegt die Leistungsfähigkeit einem langsamen und die Ermüdung einem schnelleren Abbau. Der positive Effekt des Trainings ist also stabiler als die negative Ermüdungswirkung.

Im mathematischen Modell werden diese Trainingsnachwirkungen mit Exponentialfunktionen beschrieben. So lässt sich dann zu einem beliebigen Zeitpunkt t nach einer Trainingseinheit die Größe der Leistungsfähigkeit und der Ermüdung berechnen. Der Vorbereitungsstatus zum Zeitpunkt t ergibt sich schließlich aus der Differenz von Leistungsfähigkeit und Ermüdung.

Die Arbeiten von Banister et al. (1975), Banister und Hamilton (1985) und Banister et al. (1986) zeigen, dass sich mit dem *fitness-fatigue*-Modell bei geeigneter Wahl der Modellparameter bekannte Phänomene wie z.B. das der Superkompensation simulieren lassen. Mittlerweile liegen mehrere Studien vor, in denen das Modell z.T. erfolgreich zur Simulation und Analyse von Belastungseffekten eingesetzt wurde (Banister, Carter & Zarkadas, 1999; Banister et al., 1986; Banister & Hamilton, 1985; Busso, Benoit, Bonnefoy, Feason & Lacour, 1997, 2002; Candau, Busso & Lacour, 1992; Fitz-Clarke, Morton & Banister, 1991; Ganter, Witte & Edelmann-Nusser, 2006; Millet et al., 2002; Millet, Gros Lambert, Barbier, Rouillon & Candau, 2005; Morton et al., 1990; Mujika et al., 1996; Thomas & Busso, 2005).

Dennoch ist kritisch festzustellen, dass Leistungseinbrüche im Sinne eines Übertrainings (Israel, 1976) oder eines Kollapseeffekts (Mester & Perl, 2000) mit dem Banister-Modell nicht simuliert werden können: Jede noch so hohe Belastung hat im Modell zwar einen Ermüdungseffekt, dieser geht jedoch allmählich zurück und wird dann vom langsamer abnehmenden leistungssteigernden Effekt übertroffen. So kommt es selbst bei solchen Belastungen zur Superkompensation, die den Athleten eigentlich überfordern würden. Ein entsprechender Überlastungsmechanismus ist im Ba-

nister-Modell jedoch nicht vorgesehen, anders als bei den im Folgenden vorgestellten Modellen.

Das Modell der Proteinbiosynthese

Maders Modell der Proteinbiosynthese (Mader, 1990) basiert auf der Vorstellung, dass die Funktionssysteme von Organismen zum großen Teil aus Proteinen bestehen und dass spezielle Proteine die Aufgaben des jeweiligen Systems erfüllen. Die Leistungsfähigkeit des Organismus und seiner Teilsysteme hängt dementsprechend im Wesentlichen vom Bestand an funktioneller Proteinmasse der betreffenden Systeme ab. Allgemein kann die Bedeutung der Proteinsynthese als ein grundlegender Anpassungsmechanismus an konditionelle Belastungen als akzeptiert und gesichert angesehen werden (bspw. Hollmann & Hettinger, 2000; Weicker & Strobel, 1994; Weineck, 1997).

Mader (1990) beschreibt einen Mechanismus, der die Aktivierung der Synthese von Proteinen in Abhängigkeit von der spezifischen Beanspruchung erklärt: Einerseits kommt es durch die gesteigerte Beanspruchung zu einem verstärkten Proteinabbau, der auch als vorübergehende Abnahme der spezifischen Leistungsfähigkeit anzusehen ist. Andererseits bewirkt der Proteinabbau die Zunahme der Proteinsyntheserate und somit einen Anstieg der spezifischen Leistungsfähigkeit. Training schafft also über die kurzzeitige Abnahme der Leistungsfähigkeit die Voraussetzungen für eine anschließende Leistungssteigerung.

Diese Vorstellungen zur Regelung der Proteinsynthese hat Mader (1990) in ein System von Differentialgleichungen umgesetzt, um damit den Proteinbestand in Abhängigkeit von der Belastungseinwirkung simulieren zu können. Wird die Belastung im Modell kontinuierlich erhöht, so ist ab einem bestimmten Punkt der belastungsbedingte Strukturverschleiß nicht mehr durch eine gesteigerte Proteinsyntheserate kompensierbar und es kommt zum Zusammenbruch des Systems. Damit sind im Mader-Modell auch Überlastungseffekte simulierbar. Aufgrund der komplizierten mathematischen Struktur des Modells und der Vielzahl von Modellparametern erscheint ein Einsatz des Modells in der Trainingspraxis allerdings fraglich (vgl. auch Mader, 1990).

Das Metamodell LeiPot

Während sich Maders (1990) Modell am konkreten Mechanismus der Proteinsynthese orientiert, wählt Perl einen abstrakten Modellansatz (z.B. Mester & Perl, 2000; Perl, 1998, 2002 b; Perl & Mester, 2001): Das sogenannte **Leistungs-Potential-Modell** LeiPot (oder PerPot für **Performance Potential**) simuliert die belastungsabhängige Veränderung der Leistungsfähigkeit im Sinne eines allgemeinen Metamodells. Das bedeutet, das LeiPot-Modell hat kein konkretes, real existierendes System zum Vorbild wie herkömmliche Modelle, sondern es stellt ein Modell von *Modellen* dar, die ähnliche Eigenschaften aufweisen und ähnliche Verhaltensweisen zeigen.

Wesentliches Merkmal des LeiPot-Modells ist die antagonistische Struktur. Ähnlich wie im Banister-Modell (Banister et al., 1986) hat Training einen positiven und einen negativen Effekt auf die Leistungsfähigkeit. Die Trainingsbelastung wirkt sich allerdings nicht sofort auf die Leistungsfähigkeit aus, sondern wird zuvor in zwei Potentialen zwischengespeichert. Erst mit einer spezifischen zeitlichen Verzögerung treten dann die positiven und die negativen Effekte der Belastung ein und wirken sich auf das Leistungspotential aus. Die Verzögerungswerte beeinflussen entscheidend die Anpassungsdynamik des Systems. Darüber hinaus sorgen Potentialgrenzen im Modell dafür, dass die Leistungsfähigkeit des Systems beschränkt und die Belastbarkeit des Systems begrenzt ist. Wird die Obergrenze des so genannten Belastungspotentials bei hohen Belastungsraten überschritten, so sorgt ein Überlaufmechanismus im Modell dafür, dass die Leistungsfähigkeit rapide reduziert wird. Langfristige Überlastung führt so zum Zusammenbruch der Leistungsfähigkeit.

Die Berechnung der einzelnen Modellzustände erfolgt über Differenzgleichungen in diskreten Schritten. D.h. der Zustand eines Potentials ergibt sich aus dem jeweils vorhergehenden Zustand und den entsprechenden Flussraten zwischen den Potentialen. Die Schrittweite Δt lässt sich bei der Simulation frei wählen. In Simulationsrechnungen mit fiktiven Belastungs- und Leistungsdaten zeigen Mester und Perl (2000), dass das LeiPot-Modell bei einem konstanten Belastungsprofil und bei geeigneter Wahl der Verzögerungen wie erwartet eine Art Superkompensationseffekt simulierbar macht und dass bei stetig ansteigender Belastung ein umgekehrt U-förmiger Verlauf der Leistungsentwicklung und bei Überlastung ein Kollaps-Effekt auftritt.

Ausgehend von der skizzierten Grundstruktur, hat die Arbeitsgruppe um Perl zahlreiche Erweiterungen des Modells vorgestellt (Perl, 2002 a; 2003; 2004; Perl, Dauscher & Hawlitzky, 2003) und dadurch die Einsatzmöglichkeiten des LeiPot-Modells erheblich vergrößert. So wurde das LeiPot-Modell beispielsweise um zwei Atrophiekomponenten erweitert, die das Leistungspotential im Sinne einer kurzfristigen, reversiblen und einer irreversiblen Atrophie reduzieren (Perl, 2002 a; Perl, Dauscher & Hawlitzky, 2003). Dadurch werden dann auch langfristige Adaptionsprozesse simulierbar, bei denen entsprechende Leistungsrückgänge eine Rolle spielen.

In Simulationsversuchen zeigt Perl, dass durch zeitvariable Verzögerungen die Genauigkeit der Simulation gegenüber Simulationen mit konstanten Verzögerungen erhöht werden kann (Perl & Mester, 2001; Perl, 2004). Dabei werden für jedes Simulationsintervall die optimalen Verzögerungen aus den vorliegenden Belastungs- und Leistungsdaten bestimmt. Einen ähnlichen Effekt konnten Busso et al. (1997) auch für zeitvariable Parameter beim Banister-Modell nachweisen. Für die Modellierung der Belastungsherzfrequenz während Ausdauerbelastungen zeigt sich ferner,

dass sich die Modellparameter systematisch im Laufe der Belastung verändern, was für einen Zusammenhang zwischen der Parameterausprägung und dem Zustand des Athleten spricht (vgl. Perl, 2005). Durch Berücksichtigung dieser Abhängigkeiten bei der Modellierung lässt sich die Simulationsgenauigkeit erhöhen und damit letztlich das Training optimieren.

In einer Erweiterung des einfachen LeiPot-Modells benutzt Perl (Perl, 2002 a; 2003; Perl et al. 2003) nun ein zweites, internes LeiPot-Modell, um in Abhängigkeit von der Belastung die Veränderung der Verzögerungen des ersten, externen LeiPot-Modells zu modellieren. Simulationsversuche mit diesem sog. 2-level-PerPot ergeben ähnlich gute Übereinstimmungen von simulierten und vorgegebenen Leistungswerten wie bei den Simulationen mit dem einfachen Modell und zeitvariablen, lokalen Verzögerungen, ohne dass dabei allerdings die lokalen Verzögerungen direkt an die vorgegebenen Daten angepasst werden müssen (vgl. Perl, 2003).

Das 2-level-PerPot-Modell erweitert Perl (2003) nochmals für Simulationen, die die gesamte Lebensspanne von Organismen umfassen. Dazu wird ausgehend von einer stetig abnehmenden vital energy und einer spezifischen Verzögerung das sogenannte vital potential modelliert. Dieses vital potential steuert im 2-level-Modell die Höhe der Verzögerungen des internen LeiPot-Modells, wodurch sich wiederum das Anpassungsverhalten des externen LeiPot-Modells im Laufe des Lebens verändert: Anfangs nimmt die Anpassungsgeschwindigkeit zu, im höheren Lebensalter fällt sie wieder ab.

Die Arbeitsgruppe um Perl (Perl und Mester, 2001; Perl, 2004, 2005) führt einige Beispiele an, in denen das LeiPot-Modell erfolgreich an realen Trainingsdaten kalibriert wird. So simuliert sie erfolgreich die Wechselwirkung zwischen Trainingsbelastung und Hämoglobinkonzentration oder das Anpassungsverhalten der Herzfrequenz an Belastungen. In neueren Arbeiten modellieren Perl und Endler (2006 a, b) die Belastungsherzfrequenz im Laufen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, dem Höhenprofil und der Ermüdung des Athleten. Hierbei wird von der realen Laufgeschwindigkeit und dem aktuellen Gefälle bzw. der aktuellen Steigung ausgehend eine Referenzgeschwindigkeit ermittelt, die dann als Belastung in die Modellierung einfließt. Die Verzögerungen werden schließlich in Abhängigkeit von der aktuellen Ermüdung, der Fitness und dem Alter modifiziert. Dieses Modell konnten die Autoren zur Prognose von Laufzeit und Herzfrequenzprofil bei einem Bergmarathon einsetzen.

Diese erfolgreichen Modellierungen bestätigen, dass das LeiPot-Modell zur Simulation von allmählichen Anpassungsprozessen an Belastungen geeignet ist, wie sie etwa im Fall der allmählichen, zeitlich verzögerten Anpassung der Herzfrequenz an die Belastung während einer Trainings- oder Wettkampfbelastung auftreten (z.B. Perl & Endler, 2006 a, b).

In einer Untersuchung von Ganter et al. (2006) wurde das LeiPot-Modell (und ebenso das Banister-Modell) bei zehn Sportlern zur Simulation der Leistungsentwicklung in einem 8-wöchigen Radtraining eingesetzt. Die Bestimmtheitsmaße bei den Modellanpassungen zwischen $r^2 = .134$ und $r^2 = .928$ bedeuten, dass nur in Einzelfällen erfolgreiche Modellierungen gelungen sind. Niedrige Bestimmtheitsmaße könnten nach den Autoren einerseits auf die geringe Leistungsdynamik durch zu geringe Trainingsbelastungen zurückzuführen sein (Ganter et al., 2006, S. 58). Andererseits könnte auch der eingesetzte 30-seconds all-out Ergometertest zur Erfassung von Anpassungen im Ausdauertraining ungeeignet gewesen sein. Da nach Ganter et al. (2006, S. 58) auch bei den Fällen mit hohen Bestimmtheitsmaßen deutliche Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Werten auftreten, ist allerdings auch zu hinterfragen, ob der gewählte Modellansatz sowohl die allmähliche, langfristige Anpassung als auch die kurzfristigen Schwankungen der Leistungsfähigkeit darstellen kann (bzw. ob derartige Schwankungen überhaupt modelliert werden sollten).

Perl und Mester (2001, S. 56) merken hierzu an, dass extreme Zustandsänderungen, die sich im Leistungsprofil als „Zacken“ zeigen, aufgrund der verzögerten Dynamik mit dem LeiPot-Modell nicht modellierbar sind. Einerseits können derartige Zustandswechsel in den realen Leistungsdaten zwar als physiologisch nicht erklärbare Artefakte oder schlichte Messfehler aufgefasst werden (Perl & Mester, 2001, S. 56). Andererseits ist bei einer einzelnen Trainingseinheit nach dem klassischen Superkompensationsmodell (Jakowlew, 1977), und auch nach den Modellvorstellungen von Mader (1990) und den ressourcentheoretischen Überlegungen von Schönplüg (1987; 1991), aber zu erwarten, dass die Belastung unmittelbar zur Abnahme der Leistungsfähigkeit führt, was sich dann als „Zacke“ im Leistungsprofil zeigen kann. Diese Leistungsabnahme ist z.B. auf funktionsbedingte Strukturzerstörungen (Mader, 1990) oder den Verbrauch energetischer Ressourcen zurückzuführen. Entsprechend ist die Leistungsfähigkeit im klassischen Schema der Superkompensation unmittelbar nach einer Einzelbelastung vermindert; in der anschließenden Erholungsphase kommt es dann zu einer überschießenden Anpassungsreaktion. Für die Trainingsplanung ist die Modellierung der kurzfristigen, unmittelbaren Ermüdungseffekte durchaus wichtig, um Überlastungen vermeiden und die Trainingsbelastung an den Zustand des Athleten anpassen zu können. D.h. neben den allmählichen, verzögerten Anpassungseffekten sind auch die sofortigen Ermüdungseffekte in der Trainingsplanung von Interesse.

Das LeiPot-Modell wurde dagegen zur Modellierung von Superkompensationseffekten bei konstanten Belastungsprofilen entwickelt (vgl. Mester & Perl, 2000, S. 46). Entsprechend zeigen sich im LeiPot-Modell positive Anpassungsreaktionen bei fortschreitender (und ausreichend hoher) Belastung. Dabei kommt es (bei geeigneter Wahl der

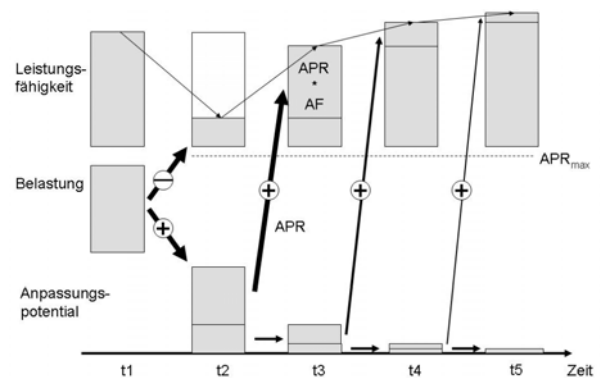
Parameter) während einer Belastung, die sich über viele Simulationsintervalle erstreckt, erst zu einem allmählichen Abfall der Leistung und dann zur allmählichen Leistungssteigerung noch während der Belastung (vgl. z. B. Mester & Perl, 2000; Brückner, 2007). Der mit dem LeiPot-Modell modellierbare Anpassungseffekt entspricht damit eher dem von Verchoshanskij (1988) beschriebenen langfristig verzögerten Trainingseffekt als der von Jakowlew (1977) beschriebenen „klassischen“ Superkompensation.

Um dennoch sowohl die langfristigen Anpassungseffekte als auch die kurzfristigen, unmittelbar nach Belastung auftretenden Ermüdungsreaktionen im Sinne der klassischen Superkompensation modellieren zu können, haben wir einen Modellansatz entwickelt, der im Folgenden dargestellt wird.

Das SimBEA-Modell

In unserem eigenen Modellansatz zur **Simulation von Belastungs-, Ermüdungs- und Anpassungsprozessen** (SimBEA-Modell) verbinden wir ausgewählte Strukturelemente der oben beschriebenen Modelle (vgl. Brückner, 2007): Die mathematische Umsetzung des Modells orientiert sich am LeiPot-Modell. So erfolgt die Berechnung der Modellzustände schrittweise aus den vorhergehenden Zuständen unter Berücksichtigung der von außen auf das System einwirkenden Belastung (s. Abb. 1).

Auch im SimBEA-Modell hat Training sowohl negative als auch positive Effekte auf die Leistungsfähigkeit. Wie Banister et al. (1986) gehen auch wir davon aus, dass Trainingsbelastungen unmittelbar zur Abnahme der sportlichen Leistungsfähigkeit führen, d.h. ohne zeitliche Verzögerung. Die zum Zeitpunkt t absolvierte Trainingsbelastung $B(t)$ reduziert deshalb im Modell unter Berücksichtigung eines Umrechnungsfaktors BF (BelastungsFaktor) die Leistungsfähigkeit $L(t)$ um den Betrag $BF * B(t)$. Zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ ergibt



APR: Anpassungsrate, APRmax: maximale Anpassungsrate, AF: Anpassungsfaktor

Anm.: Training reduziert unmittelbar die aktuelle Leistungsfähigkeit und erhöht das Anpassungspotential. Die Flüsse vom Anpassungspotential zur Leistungsfähigkeit erhöhen in der Folge die Leistungsfähigkeit. Die Anpassungsraten werden dabei mit einem Anpassungsfaktor (AF) modifiziert und durch die maximale Anpassungsrate des Systems (APR_{max}) beschränkt. Nicht dargestellt sind der Umrechnungsfaktor BF und die Atrophierate AR .

Abbildung 1. Schematische Darstellung des Anpassungsmechanismus im SimBEA-Modell am Beispiel einer Einzelbelastung.

sich dann eine entsprechend verminderte Leistungsfähigkeit $L(t + \Delta t)$.

Wie im Modell der Proteinsynthese von Mader (1990) schafft die Belastung die Voraussetzung für die anschließend stattfindenden Anpassungsprozesse, die schließlich zur verbesserten Leistungsfähigkeit führen. Die Belastung wird deshalb im Anpassungspotential AP zwischengespeichert. Eine Belastung zum Zeitpunkt t erhöht das Anpassungspotential im Intervall $[t, t + \Delta t]$ um den Betrag $B(t)$.

Ähnlich wie im LeiPot-Modell (Mester & Perl, 2000) unterliegt die Anpassung des Systems in der Erholungsphase einer spezifischen Verzögerung, die die Erholungsfähigkeit des Athleten charakterisiert. Diese Verzögerung VA bestimmt die Höhe der AnpassungspotentialRate $APR(t)$ im Verhältnis zum aktuellen Bestand des Anpassungspotentials $AP(t)$:

$$APR(t) = AP(t) / VA$$

Einerseits wird das Anpassungspotential im Intervall $[t, t + \Delta t]$ nun um den Betrag $APR(t)$ vermindert, so dass sich zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ folgender Bestand ergibt:

$$AP(t + \Delta t) = AP(t) + B(t) - APR(t)$$

Andererseits bewirkt die Anpassungspotentialrate eine Leistungssteigerung. Dazu wird der Betrag $APR(t)$ mit dem Umrechnungsfaktor BF und mit einem Anpassungsfaktor AF modifiziert, so dass sich die Leistungsfähigkeit um den Betrag $AF * BF * APR(t)$ erhöht. AF charakterisiert das Anpassungsverhalten des Athleten. Je größer AF, umso höher ist der Leistungsgewinn in Folge einer Trainingsbelastung und damit die Anpassungsfähigkeit des Athleten.

Die Leistungsfähigkeit zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ kann dann folgendermaßen berechnet werden:

$$L(t + \Delta t) = L(t) - BF * B(t) + AF * BF * APR(t)$$

Bereits durch diese Grundstruktur des SimBEA-Modells lässt sich der bekannte Superkompensationseffekt (Jakowlew, 1977) modellieren (vgl. Brückner, 2007). Zusätzlich erweitern wir das Modell um eine Überlastungs- und eine Atrophiekomponente:

Da biologische Syntheseprozesse eine Kapazitätsgrenze besitzen (z.B. Goldspink, 1992; Hollmann & Mader, 2000; Jakowlew, 1977) und Anpassungsprozesse auf vermehrten Biosynthesen beruhen, sind Anpassungsvorgänge begrenzt. Die Fähigkeit zur Regeneration und Anpassung wird demnach im Modell mit Hilfe eines Minimumoperators durch eine maximale Anpassungsrate APR_{max} beschränkt, die entscheidend ist für die Belastbarkeit des Systems. So können starke Ab-

bauprozesse nach sehr großen Trainingsbelastungen ggf. nicht mehr durch Anpassungsvorgänge ausgeglichen werden, wenn die dafür erforderlichen Anpassungsraten die maximale Anpassungsrate deutlich überschreiten. Es kommt zum Übertraining und zum Leistungseinbruch.

Um Atrophieprozesse zu modellieren, führen wir für das SimBEA-Modell eine Atrophiekomponente ein, ähnlich wie im LeiPot-Modell (vgl. Perl, 2002 a). Vorerst wählen wir dafür eine konstante AtrophieRate AR. Im Modell bewirkt AR einen allmählichen Rückgang der Leistungsfähigkeit. Die vollständige, erweiterte Modellgleichung zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit lautet dann:

$$L(t + \Delta t) = L(t) - BF * B(t) + AF * BF * \min(APR(t), APR_{max}) - AR$$

Die Schrittweite Δt bei der Berechnung der Modellzustände kann bei Simulationen mit dem SimBEA-Modell prinzipiell je nach Erfordernissen gewählt werden: Für die Simulation von täglichen Leistungsschwankungen ist eine Zeitspanne von einem Tag oder kleiner zu wählen; bei Simulationen von langfristigen Veränderungen kann Δt größer ausfallen, um den Rechenaufwand zu verringern.

Individuelle Modellanpassung und Modellprüfung

Bevor sich eines der beschriebenen Modelle im Sinne von Hohmann (2005) zur Trainingsteuerung einsetzen lässt, ist für den betreffenden Sportler eine individuelle Modellanpassung vorzunehmen und die Zuverlässigkeit und Gültigkeit dieses individuellen Modells zu prüfen. Ein entsprechendes Verfahren zur Modellanpassung und -prüfung wird im Folgenden für das SimBEA-Modell am Beispiel eines Langstreckenläufers dargestellt.

Versuchsplanung und -durchführung

Für die Modellanpassung und -prüfung werden in zwei trainingsbegleitenden Längsschnittuntersuchungen Belastungsdaten und Daten zur Entwicklung der Leistungsfähigkeit eines Läufers erhoben (Körpermasse: 72 kg, Körpergröße: 1,82 m, Alter: 26 Jahre bei Untersuchungsbeginn).

Ziel der Untersuchungen ist es, kurz- und langfristige belastungsbedingte Veränderungen des Trainingszustandes zu ermitteln. Dazu wird in einer ersten Untersuchungsphase (Untersuchung 1) von sechs Wochen täglich die Leistungsfähigkeit erfasst (42 Messwerte). In einer zweiten Untersuchungsphase (Untersuchung 2) über 68 Wochen erfolgt die Messung der Leistungsfähigkeit an insgesamt 25 Tagen, wobei die Wahl der Erhebungstage dem Sportler überlassen bleibt, so dass der Trainingsprozess und der Trainingsalltag hierbei nur in geringem Maße durch die Datenerhebung beeinflusst wird. Die Modellprüfung soll dadurch unter möglichst realitätsnahen Bedingungen erfolgen.

Messung der Trainingsbelastung

In Anlehnung an das Verfahren von Banister et al. (1986) lässt sich die Trainingsbelastung für Simulationszwecke als so genannter Trainingsimpuls über das Produkt aus Trainingsdauer und Trainingsbeanspruchung beschreiben. Die Beanspruchung wird hier über das subjektiv erlebte Beanspruchungsempfinden erfasst. Die Einschätzung der Beanspruchung erfolgt unmittelbar nach dem Training anhand der 15-stufigen rating of perceived exertion-scale (RPE, Borg-Skala) von Borg (1985). Bei der weiteren Berechnung der Gesamtbelastung einer Trainingseinheit (Trainingsimpuls TI) wird nun die Höhe der Beanspruchung (RPE; Wertebereich zwischen 6 und 20) ins Verhältnis zur maximal möglichen Beanspruchung gesetzt und dieser Wert mit der Belastungsdauer in Stunden multipliziert:

$$TI = (RPE - 6)/14 * \text{Belastungsdauer}$$

Die so ermittelten Trainingsimpulswerte liefern die Belastungswerte für die Trainingssimulationen bei der Modellanpassung und Modellprüfung.

Messung der Leistungsfähigkeit

Bei der Messung der Leistungsfähigkeit sind sowohl langfristige Veränderungen des Leistungs-niveaus als auch kurzfristige ermüdungsbedingte Schwankungen der Leistungsfähigkeit zu erfassen. Maximalbelastungen sind als Testverfahren ungeeignet, denn die Datenerhebung darf den Trainingsprozess nicht zu stark beeinflussen und für den Sportler nicht zu belastend sein. Ein Testverfahren, das diesen Anforderungen gerecht wird, hat Hottenrott (1993) vorgestellt: Beim so genannten Ausdauer-Standard-Test (AST) ist eine fünfminütige submaximale, standardisierte Belastung zu absolvieren. Dabei wird die Belastungsherzfrequenz als Beurteilungskriterium für den Zustand des Sportlers ermittelt.

Einerseits hängt die Herzfrequenz bei einer Standardbelastung vom Trainingszustand ab. Durch gesteigertes Training kommt es zu kardialen und vegetativen Anpassungen sowie zur Optimierung neuromuskulärer Steuerungsprozesse, wodurch langfristig die Belastungsherzfrequenz abnimmt. Umgekehrt steigt die Herzfrequenz bei einer Standardbelastung, wenn die Trainingsbelastung über längere Zeit reduziert wird (vgl. z.B. Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2000).

Andererseits zeigt die Herzfrequenz bei submaximaler Standardbelastung auch kurzfristige Ermüdungsprozesse an: Bei unzureichender Erholung stellt die gleiche Belastung einen erhöhten Systemstress dar. Die sympathische Aktivität ist in diesem Fall höher als bei der gleichen Belastung im erholteten Zustand. Entsprechend steigt auch die Herzfrequenz bei submaximaler Belastung im ermüdeten Zustand stärker an (vgl. Neumann et al., 2000). Eine erhöhte submaximale Herzfrequenz, die in einem Ausdauer-Standard-Test (AST) ermittelt wird, kann damit auch auf eine

starke muskuläre Ermüdung hindeuten (vgl. Neumann, Pfützner & Berbalk, 1998).

Als Standardbelastung wird hier ein 1200 m-Lauf auf einer 400 m-Rundbahn mit 15 km/h gewählt, bei dem die Herzfrequenz im 5 s-Intervall gemessen wird. Aus den Daten der zweiten und dritten Laufrunde ergibt sich die durchschnittliche Belastungsherzfrequenz HF_{AST} , die dann als Leistungsvariable in die Modellrechnungen eingeht. Die Durchführung des Ausdauer-Standard-Tests (Hottenrott, 1993) erfolgt jeweils morgens unmittelbar nach dem Aufstehen.

Modellanpassung und Parameterbestimmung

Für konkrete Simulationszwecke sind die Modellparameter so zu bestimmen, dass das allgemeine Modell in Verbindung mit den konkreten, also numerisch bestimmten Parametern, ein Abbild des modellierten Athleten darstellt. Zur individuellen Anpassung des SimBEA-Modells verwenden wir das Verfahren der simulationsbasierten Kalibrierung, das auch Perl und Mester (2001) zur Kalibrierung des LeiPot-Modells heranziehen. Es nutzt Simulationsrechnungen auf Grundlage von realen Belastungsdaten und bekannten Leistungswerten zur Bestimmung geeigneter Parameterausprägungen, so dass die Modellanpassung trainingsbegleitend erfolgen kann, wenn während des Trainingsprozesses Belastungs- und Leistungsdaten ermittelt werden. Die Parameter des Modells lassen sich danach bestimmen, wie genau sich mit ihnen der reale Leistungsverlauf für die gegebenen Belastungswerte simulieren lässt: „Mit Hilfe einer entsprechenden Suchstrategie können diejenigen Modellparameter bestimmt werden, mit denen die simulierten Leistungsdaten am besten die gemessenen Leistungsdaten approximieren“ (Perl & Mester, 2001, S. 55).

Wenn der konkrete Gegenstand der Modellbildung (hier die submaximale Belastungsherzfrequenz im AST) bekannt ist, ist es möglich, vorab aufgrund theoretischer Überlegungen oder empirischer Befunde relativ enge Wertebereiche für die Parameteroptimierung festzulegen. Innerhalb dieser Wertebereiche werden die Parameter mit einer festzusetzenden Schrittweite variiert und jeweils die Simulationsgenauigkeit bestimmt. Auf diese Weise lässt sich innerhalb der vorgegebenen Wertebereiche und Schrittweiten der optimale Parametersatz ermitteln, der die realen Leistungswerte mit der höchsten Genauigkeit approximiert. Als Maß für die Simulationsgenauigkeit wird bei der Kalibrierung die Intraclass-Korrelation zwischen den simulierten und den realen Leistungswerten herangezogen, die sowohl die Übereinstimmung der Schwankungen als auch die absolute Übereinstimmung beider Wertereihen in einem Koeffizienten erfasst (vgl. Bühl & Zöfel, 2000).

Für die in dieser Arbeit vorgestellten Simulationsrechnungen und Modellanpassungen haben wir eigens eine Simulationssoftware in der Programmiersprache Visual Basic for Applications auf Basis von Microsoft Excel 97 entwickelt. Mit ihr lassen sich u.a. für gegebene Belastungs- und

Leistungsdaten die Modellparameter über das beschriebene Verfahren der simulationsbasierten Kalibrierung bestimmen und statistische Kennwerte zur Güte der Modellanpassung an die gegebenen Leistungsdaten berechnen (absoluter und relativer Fehler, Pearson- und Intraclass-Korrelation).

Modellprüfung

Als übergeordnetes Ziel der empirischen Modellprüfung gilt es, die Frage zu beantworten, ob das SimBEA-Modell reale Anpassungsprozesse an Trainingsbelastungen simulieren kann und somit im Trainingsalltag als Planungsinstrument einsetzbar ist. Die Prüfung dieses übergeordneten Kriteriums erfolgt in vier Schritten über die Untersuchung verschiedener Aspekte der Reliabilität und Validität des Modells.

Bezüglich der Reliabilität ist zu prüfen, wie zuverlässig das SimBEA-Modell im Einzelfall kalibrierbar ist, ob also im Einzelfall Modellparameter und Modellverhalten zuverlässig bestimmbar sind. Hierbei ist nachzuweisen, dass das gewählte Kalibrierungsverfahren zuverlässig ist (Schritt 1) und dass die Wahl der Leistungsdaten bei der Kalibrierung keinen Einfluss auf das Modellverhalten hat (Schritt 2). Bezogen auf die Validität ist dann zu prüfen, wie genau das SimBEA-Modell reale Leistungsentwicklungen simulieren kann. Hierbei geht es sowohl darum, reale Trainings- und Anpassungsprozesse über das Modell nachzubilden (Schritt 3), als auch darum, die Prognosegüte des SimBEA-Modells nachzuweisen (Schritt 4).

Schritt 1: Prüfung der Reliabilität des Kalibrierungsverfahrens

Um das SimBEA-Modell in der Trainingspraxis beispielsweise für Planungs- oder Analysezwecke einsetzen zu können, muss es an realen Belastungs- und Leistungsdaten eines Athleten kalibriert werden. Die Grundidee der simulationsbasierten Kalibrierung des SimBEA-Modells wurde von Perl und Mester (2001) übernommen. Für das LeiPot-Modell konnten die Autoren nachweisen, dass das Verfahren dort zuverlässig die Modellparameter ermitteln kann. Für das Kalibrierungsverfahren des SimBEA-Modells ist die Zuverlässigkeit des Kalibrierungsverfahrens ebenfalls zu zeigen. Denn nur wenn diese gegeben ist, sind auch zuverlässige Simulationen möglich.

Methode und Hypothesen

Im ersten Schritt wird das SimBEA-Modell mittels simulationsbasierter Kalibrierung an den Belastungs- und Leistungsdaten von Untersuchung 1 kalibriert (Modell U1). Anschließend berechnen wir mit diesem ersten Modell U1 das Leistungsprofil für ein fiktives Belastungsprofil. Dieses fiktive Belastungsprofil wurde in Anlehnung an ein systematisches Trainingskonzept von Sleamaker (1996) erstellt. Die Gesamtbelastung von 15 Belastungseinheiten entspricht dabei der durchschnittlichen

täglichen Belastung von Untersuchung 1. Für dieses simulierte Leistungsprofil ist somit der zugrundeliegende Anpassungsmechanismus bekannt; er entspricht dem Mechanismus von Modell U1.

Im zweiten Schritt wird das SimBEA-Modell erneut mittels simulationsbasierter Kalibrierung an den fiktiven Belastungsdaten und den mit Modell U1 berechneten Leistungsdaten kalibriert (Modell F).

Im dritten Schritt wird die von Modell U1 berechnete Leistungsentwicklung mit derjenigen verglichen, die von Modell F berechnet wurde, das ja an Modell U1 angepasst wurde. Wenn beide Leistungsprofile nur geringfügig voneinander abweichen, ist dieses als Indiz dafür anzusehen, dass das Verfahren der simulationsbasierten Kalibrierung zuverlässig ist. Denn: Das mittels simulationsbasierter Kalibrierung kalibrierte SimBEA-Modell zeigt ein sehr ähnliches Verhalten wie das ursprüngliche SimBEA-Modell. Folgende Hypothese wird aufgestellt:

Hypothese 1.1: Für das fiktive Belastungsprofil zeigen Modell U1 und Modell F das gleiche Modellverhalten.

Um sicherzustellen, dass das Kalibrierungsverfahren auch in anderen Belastungsbereichen zuverlässig ist, wird das obige Verfahren für ein niedrigeres und ein höheres Belastungsprofil wiederholt: Dazu wird bei gleichem systematischen Aufbau die Gesamtbelastung auf 80 % (120 %) der ursprünglichen Belastung verringert (erhöht). Die Simulation mit Modell U1 liefert zu diesem Belastungsprofil wiederum Leistungswerte, an denen das SimBEA-Modell erneut kalibriert wird. Und auch das so gewonnene **Modell F_{80%}** (bzw. **Modell F_{120%}**) liefert wiederum Leistungswerte, die erneut mit den ursprünglichen verglichen werden, also mit den Werten, die vorher Modell U1 für das selbe Belastungsprofil erzeugt hatte.

Hypothese 1.2: Für das verminderte (erhöhte) fiktive Belastungsprofil stimmt das Verhalten von Modell U1 und Modell **F_{80%}** (Modell **F_{120%}**) überein.

Die Modelle U1, F, **F_{80%}** und **F_{120%}** folgen alle dem gleichen Belastungs-Anpassungs-Mechanismus, wobei die Modelle F, **F_{80%}** und **F_{120%}** Approximationen von Modell U1 sind. Da die bei der Kalibrierung genutzten Leistungsdaten durch Modell U1 erzeugt wurden, existiert also ein Parametersatz, der das vorgegebene Modellverhalten exakt erzeugt. Der Grad der Übereinstimmung der Leistungsentwicklung für das jeweilige Belastungsprofil drückt also aus, ob und in welchem Maß das vorgestellte Verfahren der Parameterbestimmung geeignet ist, aufgrund von gegebenen Belastungs- und Leistungsdaten das Modellverhalten zuverlässig zu bestimmen.

Statistische Verfahren und Hypothesen

Die Übereinstimmung von zwei Leistungsprofilen lässt sich statistisch über das Verfahren der Intraclass-Korrelation erfassen (vgl. Bühl & Zöfel, 2000, S. 330). Entsprechend ergeben sich folgende statistische Hypothesen:

$H_01.1$: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den von Modell U1 und Modell F erzeugten Leistungswerten für das fiktive Belastungsprofil ($r_{CC} \leq 0$).

$H_11.1$: Zwischen den von Modell U1 und Modell F für das fiktive Belastungsprofil erzeugten Leistungswerten besteht ein positiver Zusammenhang ($r_{CC} > 0$).

$H_01.2$: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den von Modell U1 und Modell F_{80%} (Modell F_{120%}) erzeugten Leistungswerten für das fiktive verminderte (erhöhte) Belastungsprofil ($r_{CC} \leq 0$).

$H_11.2$: Zwischen den von Modell U1 und Modell F_{80%} (Modell F_{120%}) erzeugten Leistungswerten besteht ein positiver Zusammenhang ($r_{CC} > 0$).

Ergebnisse

Die mittlere Abweichung der von Modell U1 und Modell F erzeugten Leistungswerte beträgt 0.12 Schläge/min bzw. 0.08 %. Bezüglich der verminderten Belastung ergibt sich ein Simulationsfehler von 0.15 Schläge/min bzw. 0.10 % für die mit Modell U1 und Modell F_{80%} erzeugten Leistungswerte. Bei der erhöhten Belastung beträgt der Fehler 0.28 Schläge/min bzw. 0.18 % (Modell U1 und Modell F_{120%}).

In allen drei Simulationen ergeben sich Intraclass-Korrelationen von $r_{CC} = 1.00$ ($df = (40, 41, 0)$, $p < .001$). Bei dem gewählten α -Niveau von $\alpha = .05$ können alle Nullhypothesen verworfen und die Alternativhypothesen angenommen werden: Die simulierten Leistungswerte korrelieren in allen drei Fällen positiv und stimmen nahezu überein. Damit bestätigen sich Hypothese 1.1 und 1.2: Modell U1 und Modell F zeigen das gleiche Modellverhalten für das fiktive Belastungsprofil, und Modell U1 und Modell F_{80%} bzw. Modell F_{120%} zeigen dasselbe Modellverhalten für das verminderte bzw. erhöhte Belastungsprofil.

Diskussion

Alle berechneten Intraclass-Korrelationen ergeben einen sehr hohen oder nahezu perfekten positiven Zusammenhang. Damit stimmen die jeweils betrachteten Leistungswerte und damit ebenfalls die jeweiligen Modelle bezüglich ihres Verhaltens nahezu perfekt überein.

Die Modelle F, F_{80%} und F_{120%} wurden an vorgegebenen Belastungs- und Leistungsdaten kalibriert. Dabei variierte die Höhe der Belastung, während der zugrundeliegende Anpassungsmechanismus der Leistung in allen Fällen gleich war, nämlich entsprechend dem Mechanismus von Modell U1. Die sehr hohen Intraclass-Korrelationen zeigen: Das Modellverhalten von Modell U1 kann in allen drei Fällen zuverlässig simuliert wer-

den (Hypothesen 1.1 und 1.2), was bedeutet: In allen drei Belastungsbereichen lässt sich das SimBEA-Modell so kalibrieren, dass es den Anpassungsprozess zuverlässig simulieren kann.

Schritt 2: Prüfung der Reliabilität

Methode und Hypothese

Im nächsten Schritt ist nun die Reliabilität des SimBEA-Modells selbst zu prüfen. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, ob die Wahl der Leistungsdaten bei der Modellkalibrierung einen Einfluss auf das Verhalten des kalibrierten Modells hat. Zuverlässige Simulationen mit dem SimBEA-Modell sind nur möglich, wenn das Systemverhalten nicht von der Wahl einzelner Leistungsdaten bei der Kalibrierung abhängt. Wenn also aus ein und demselben Trainingsabschnitt unterschiedliche Leistungsdaten zur Kalibrierung genutzt werden, sollten die kalibrierten Modelle trotzdem dasselbe Modellverhalten zeigen und damit zu gleichen Simulationsergebnissen kommen.

Hypothese 2: Die Auswahl der Leistungsdaten für die Kalibrierung (aus einem diskreten Belastungszeitraum) beeinflusst nicht das Modellverhalten.

Statistische Verfahren und Hypothesen

Für die Hypothesenprüfung werden die Daten beider Untersuchungsphasen genutzt und folgendes Verfahren gewählt: Das SimBEA-Modell wird (getrennt für beide Datensätze) einmal an den Leistungsdaten für den ersten, dritten, fünften usw. Messzeitpunkt (**Modell U1_{ungerade}** bzw. **Modell U2_{ungerade}**) und ein weiteres Mal an dem zweiten, vierten, sechsten usw. Datenpunkt kalibriert (**Modell U1_{gerade}** bzw. **Modell U2_{gerade}**). Anschließend werden die an den jeweils ungeraden bzw. geraden Datenpunkten kalibrierten Modelle U1_{ungerade} und U1_{gerade} (resp. U2_{ungerade} und U2_{gerade}) genutzt, um die Leistungsdaten für alle Messzeitpunkte zu berechnen. Wie gut die Leistungsdaten übereinstimmen, wird mittels Intraclass-Korrelation geprüft.

Die Null- bzw. Alternativhypothese für Untersuchung 1 lautet:

$H_02.1$: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den von Modell U1_{ungerade} und Modell U1_{gerade} erzeugten Leistungswerten ($r_{CC} \leq 0$).

$H_12.1$: Zwischen den von Modell U1_{ungerade} und Modell U1_{gerade} erzeugten Leistungswerten besteht ein positiver Zusammenhang ($r_{CC} > 0$).

Entsprechend lauten die Hypothesen für Untersuchung 2:

$H_02.2$: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den von Modell U2_{ungerade} und Modell U2_{gerade} erzeugten Leistungswerten ($r_{CC} \leq 0$).

$H_12.2$: Zwischen den von Modell U2_{ungerade} und Modell U2_{gerade} erzeugten Leistungswerten besteht ein positiver Zusammenhang ($r_{CC} > 0$).

Ergebnisse

Die von Modell U1_{ungerade} und Modell U1_{gerade} (Untersuchung 1) bzw. von Modell U2_{ungerade} und Modell U2_{gerade} (Untersuchung 2) berechneten Herzfrequenz-Werte stimmen gut überein: Die Intraclass-Korrelation der Leistungsdaten von Modell U1_{ungerade} und Modell U1_{gerade} beträgt $r_{CC} = .92$, $df = (40, 41, 0)$, $p < .001$. Für Modell U2_{ungerade} und Modell U2_{gerade} ergibt sich ein Zusammenhang der simulierten Leistungswerte von $r_{CC} = .93$, $df = (23, 24, 0)$, $p < .001$. Damit können die Nullhypothesen verworfen und die Alternativhypothesen angenommen werden. Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen den simulierten Leistungswerten. Demnach wird Hypothese 2 bestätigt: Die Wahl der Leistungsdaten für die Kalibrierung beeinflusst nicht das Modellverhalten.

Diskussion

Untersucht wurde der Einfluss, den die Datenauswahl bei der Kalibrierung auf das spätere Modellverhalten hat. Das Verhalten der untersuchten Modelle stimmt in hohem Masse überein, trotz unterschiedlicher Datenbasis (desselben Anpassungsprozesses) bei der Kalibrierung. Die Intraclass-Korrelationen zeigen eine hohe Übereinstimmung der berechneten Leistungswerte an und entsprechen beispielsweise den Anforderungen, die Rost (1999) an die Reliabilität von Leistungsmessungen stellt. Die Übereinstimmung des Modellverhaltens ergibt sich, obwohl die Modelle einmal an jedem ersten, dritten, fünften usw. der vorliegenden Leistungswerte, und einmal an jedem zweiten, vierten, sechsten usw. Leistungswert kalibriert wurden. Die unterschiedliche Datenbasis für die Kalibrierung zeigt damit, dass die Wahl der Leistungswerte offenbar nur einen geringen Einfluss auf das Simulationsergebnis hat. Das gilt sowohl für Untersuchung 1, bei der täglich der Leistungszustand über sechs Wochen gemessen wurde, als auch für Untersuchung 2 mit einer deutlich geringeren Messwertdichte von 25 Leistungsdaten in einem Trainings- und Simulationszeitraum von über einem Jahr. Damit kann dem SimBEA-Modell eine hohe Stabilität des Modellverhaltens hinsichtlich unterschiedlicher Ausgangsdaten bei der Kalibrierung bescheinigt werden.

Schritt 3: Prüfung der Validität

Ähnlich wie bei Tests und Messverfahren, so ist auch bei Modellen die Validität zu prüfen. Allgemein ist unter der Validität die Güte zu verstehen, mit der ein Verfahren das Merkmal misst, das es zu messen vorgibt (vgl. etwa Bortz & Döring, 1995). Grundsätzlich lassen sich verschiedene Formen der Validität unterscheiden. In Bezug auf Modelle sprechen Perl und Uthmann (1997) dann von einer positiv ausgefallenen Validierung, wenn der Grad der Übereinstimmung von Modell- und Realitätsverhalten zufriedenstellend ist. Dieser Validitätsbegriff ähnelt dem Begriff der Kriteriumsvalidität für Tests. Darunter versteht man die Kor-

relation eines Messwertes mit einem Außenkriterium, das das gleiche Merkmal misst (Bortz & Döring, 1995). Im Folgenden soll in diesem Sinne die Validität des SimBEA-Modells geprüft werden. Zu beantworten ist also die Frage, ob die simulierten Leistungswerte mit den realen Leistungswerten zufriedenstellend übereinstimmen.

Methode und Hypothese

Um die Validität des SimBEA-Modells zu prüfen, wird das Modell an den empirischen Belastungs- und Leistungsdaten beider Untersuchungen getrennt kalibriert (Modell U1 und Modell U2). In Anlehnung an Perl und Uthmann (1997) stellt dann der Grad der Übereinstimmung der modellierten Leistungswerte mit den realen Werten ein Maß für die Validität dar. Folgende Hypothese ist für beide Untersuchungsphasen zu prüfen:

Hypothese 3: Das SimBEA-Modell kann den realen Verlauf der Leistungsfähigkeit als Reaktion auf die gegebene Trainingsbelastung simulieren.

Statistische Verfahren und Hypothesen

Bei der praktischen Validierung ergibt sich nun allerdings die Frage, wann die Übereinstimmung von Modell- und Realitätsverhalten im Sinne von Perl und Uthmann (1997) als zufriedenstellend anzusehen ist. Aber weder diese Autoren liefern entsprechende operationalisierte Bewertungskriterien, noch sind in der weiteren vorliegenden Literatur näher qualifizierende Angaben in Zusammenhang mit entsprechenden trainingswissenschaftlichen Belastungs- und Anpassungsmodellen zu finden. Bei der Validitätsprüfung wird deshalb auf die allgemeinen Angaben von Bortz und Döring (1995, S. 187) zurückgegriffen. Danach ist ein Validitätskoeffizient zwischen .40 und .60 als mittelmäßig zu bewerten. Größere Werte gelten dementsprechend als hoch.

Als Validitätskoeffizient wird wiederum die Intraclass-Korrelation herangezogen. Sie erfasst hier bezüglich der Leistungsfähigkeit den Grad der Übereinstimmung von Modell- und Realitätsverhalten. Folgende statistische Hypothesen sind auf dem gewählten α -Niveau von $\alpha = .05$ zu prüfen:

H₀3.1 bzw. H₀3.2: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den von Modell U1 (Modell U2) erzeugten Leistungswerten und den realen Leistungswerten ($r_{CC} \leq 0$).

H₁3.1 bzw. H₁3.2: Zwischen den von Modell U1 (Modell U2) erzeugten Leistungswerten und den realen Leistungswerten besteht ein positiver Zusammenhang ($r_{CC} > 0$).

Ergebnisse

Abbildung 2 und 3 veranschaulichen die Übereinstimmung der gemessenen HF_{AST}-Werte mit den berechneten Werten. Für Untersuchung 1 ergibt sich ein Zusammenhang der realen Leistungsdaten mit den simulierten Daten von $r_{CC} = .86$ ($df = (40, 41, 0)$, $p < .001$, Fehler: 2.63 Schläge/min bzw. 1.73 %). Bei Untersuchung 2 beträgt

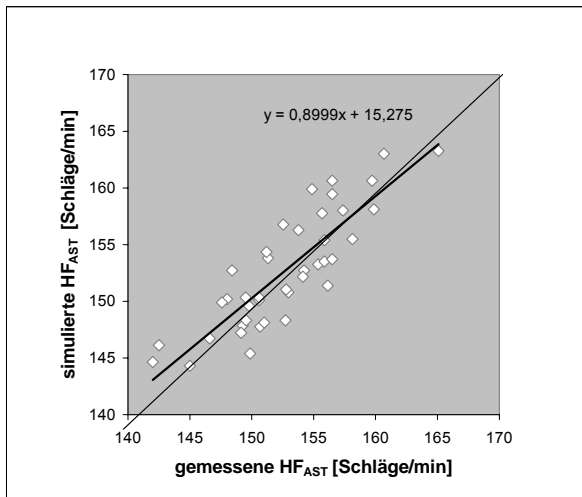


Abbildung 2. Gegenüberstellung der in Untersuchung 1 mit dem Ausdauer-Standard-Test gemessenen Herzfrequenzen und der zugehörigen simulierten Herzfrequenz-Werte und entsprechende Regressionsgerade. Bei perfekter Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Werte würden die Punkte und die Regressionsgerade auf der Identitätslinie liegen.

die Intraclass-Korrelation $r_{CC} = .65$ ($df = (23, 24, 0)$, $p < .001$, Fehler: 3.72 Schläge/min bzw. 2.35 %).

Die Nullhypothesen können demnach verworfen werden; entsprechend ist von der Gültigkeit der Alternativhypothesen auszugehen. In beiden Fällen bestehen positive Zusammenhänge zwischen den realen und den berechneten Leistungswerten. Demnach bestätigen beide Untersuchungen Hypothese 3: Das SimBEA-Modell kann den realen Verlauf der Leistungswerte simulieren.

Diskussion

In beiden Untersuchungen ergeben sich signifikante positive Intraclass-Korrelationen zwischen den realen und den berechneten Leistungsdaten. Nach den allgemeinen Bewertungskriterien für Validi-

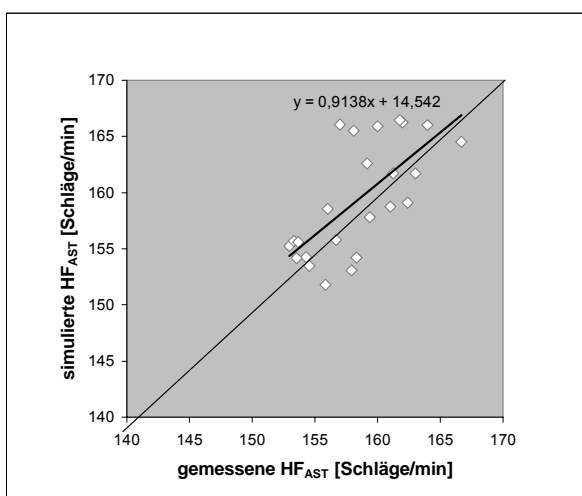


Abbildung 3. Gegenüberstellung der in Untersuchung 2 mit dem Ausdauer-Standard-Test gemessenen Herzfrequenzen und der zugehörigen simulierten Herzfrequenz-Werte und entsprechende Regressionsgerade (siehe auch Erläuterung zu Abb. 2).

tätskoeffizienten von Bortz und Döring (1995) sind die Werte $r_{CC} = .86$ bzw. $r_{CC} = .65$ als hoch zu bewerten. Weineck (1997, S. 53) nennt Kriterien zur Beurteilung von Gütekoeffizienten für sportmotorische Tests. Sportmotorischen Tests sind innerhalb der Trainingssteuerung ähnliche Funktionen zuzuschreiben wie simulativen Trainingswirkungsmodellen. Im ersten Fall werden Aspekte der sportlichen Leistungsfähigkeit gemessen, im zweiten Fall wird die Leistungsfähigkeit berechnet. Beide Verfahren zur Informationsgewinnung sollen letztlich Entscheidungsprozesse in der praktischen Trainingssteuerung ermöglichen, so dass an beide Verfahrensweisen ähnliche Anforderungen hinsichtlich der Gültigkeit der Daten zu stellen sind. Werden die von Weineck (1997, S. 53) angeführten Beurteilungskriterien auf das Problem der Modellvalidierung übertragen, dann sind die vorliegenden Korrelationen folgendermaßen zu bewerten: Der Zusammenhang von $r_{CC} = .86$ spricht für eine ausgezeichnete Validität des SimBEA-Modells, der Wert von $r_{CC} = .65$ ist bei sehr komplexen Tests als annehmbar anzusehen. Zweifellos darf die Simulation der Ermüdungs- und Anpassungsprozesse als komplexes Verfahren im genannten Sinne anzusehen sein, zumal dann, wenn die Simulation derart lange Zeiträume umfasst. So ist auch die für Untersuchung 2 gefundene Validität als durchaus annehmbar zu bewerten.

Somit ist davon auszugehen, dass Modell- und Realitätsverhalten in hohem Maße (nach Bortz & Döring, 1995) bzw. annehmbar bis ausgezeichnet (nach Weineck, 1997) übereinstimmen, so dass das SimBEA-Modell im Sinne von Perl und Uthmann (1997) als valide bezeichnet werden darf.

Dennoch sind zwei Punkte anzumerken: 1. Da die Simulationsgenauigkeit bei Untersuchung 2 über 68 Wochen deutlich gegenüber der sechswöchigen Untersuchung abfällt, kann vermutet werden, dass die Modellparameter sich im Laufe der Zeit verändern, dass also keine 100%ige zeitliche Stabilität der Parameter gegeben ist. Für praktische Simulationszwecke über derart lange Zeitspannen sollte deshalb die Kalibrierung des Modells regelmäßig überprüft werden, um gegebenenfalls durch eine Parameteranpassung die Simulationsgenauigkeit zu verbessern.

2. Trotz einer als hoch zu bewertenden Validität treten auch bei Untersuchung 1 deutliche Abweichungen zwischen Modellverhalten und realen Messwerten auf. Zurückzuführen ist das darauf, dass das SimBEA-Modell, wie jedes andere Modell auch, ein vereinfachtes Abbild seines realen Vorbildes ist. Eine wesentliche Vereinfachung der Realität ist z. B. in der Annahme einer monofaktoriellen Struktur der Leistungsfähigkeit zu sehen: Die Belastung wirkt im Modell auf eine Leistungs-komponente, die daraufhin in einer bestimmten Weise ermüdet und dann ein charakteristisches Anpassungsverhalten zeigt. In der Realität sind sportliche Leistungen dagegen multifaktoriell bedingt, da viele Teilsysteme zusammenwirken und die Leistung absichern müssen und da außerdem vielfältige Faktoren auf den Athleten einwirken.

Jede Vereinfachung bei der Modellbildung führt dazu, dass Modell und modelliertes System sich mehr oder weniger unterscheiden. Abweichungen im Modellverhalten sind damit normal. Ziel einer Modellbildung kann es demnach nicht sein, ein „richtiges“ Modell zu entwickeln, sondern ein Modell, das für die vorgesehenen Zwecke geeignet ist (vgl. auch Perl & Uthmann, 1997). Bei den gegebenen Validitäten scheint eine taggenaue und numerisch exakte Berechnung nicht oder nur eingeschränkt möglich zu sein. Im vorliegenden Fall, in dem die Leistungsfähigkeit über den Ausdauer-Standard-Test erfasst wird, ist eine genaue Kenntnis der Herzfrequenzwerte darüberhinaus für trainingsplanerische Zwecke nicht notwendig, da über die HF_{AST} z.B. keine exakte Prognose der Wettkampfleistung möglich ist. Vielmehr sind hier die trainingsbedingten Veränderungen von Interesse. Und für eine Simulation der Entwicklungstendenz dürfte das SimBEA-Modell durchaus geeignet sein, so dass das Modell in der Trainingsanalyse Aufschluss darüber geben kann, ob Trainingsbelastungen positive oder negative Effekte haben und ob das Training noch zu optimieren ist.

Schritt 4: Prüfung der prognostischen Validität

Im vorhergehenden Abschnitt ist bereits ein Aspekt im Hinblick auf die Validität des SimBEA-Modells untersucht worden: So wurde geprüft, ob und inwieweit es möglich ist, das Modell an vorliegende Leistungsdaten anzupassen. Für praktische Zwecke, z.B. in der Trainingsplanung, ist es darüber hinaus außerdem erforderlich, die prognostische Validität zu prüfen. Es ist also nachzuweisen, dass das SimBEA-Modell auch zutreffende Prognosen ermöglicht. Dazu ist zunächst das Modell an vorliegenden Belastungs- und Leistungsdaten zu kalibrieren und anschließend zu prüfen, ob dieses Modell für eine zweite Belastungsphase den realen Verlauf der Leistungsfähigkeit richtig prognostizieren kann. Der Grad der Übereinstimmung der simulierten Leistungswerte mit den realen Leistungswerten kennzeichnet dann die prognostische Validität des Modells. Geprüft wird die prognostische Validität des SimBEA-Modells in zwei Teiluntersuchungen, wobei unterschiedlich lange Kalibrierungs- und Prognosezeiträume betrachtet werden.

Kurzfristige Prognose

Im Trainingsalltag ist es erforderlich, Trainingsbelastungen kurzfristig auf den aktuellen Trainingszustand des Athleten abzustimmen, um so Über- oder Unterforderung zu vermeiden. Wird das SimBEA-Modell im Training fortlaufend an Belastungs- und Leistungsdaten eines Sportlers kalibriert, dann ließe es sich für kurzfristige Simulationen von Trainingswirkungen und für Leistungsprognosen einsetzen. Z.B. könnte man dann aufgrund der vorliegenden Trainingsdaten die Wirkung des geplanten Trainings für den nächsten Mikrozyklus simulieren, um ggf. korrigierend in den

Trainingsprozess einzugreifen. Für einen solchen Einsatzzweck ist jedoch die prognostische Validität über den entsprechenden Zeitraum von einer Woche nachzuweisen.

Hypothese 4.1: Das an den Trainings- und Leistungsdaten weniger Mikrozyklen kalibrierte SimBEA-Modell kann die Leistungsentwicklung über einen Zeitraum von einer Woche zutreffend simulieren.

Die Hypothesenprüfung erfolgt anhand von Untersuchung 1. Das SimBEA-Modell wird mittels simulationsbasierter Kalibrierung über zwei, drei, vier und fünf Wochen kalibriert. Dabei werden jeweils alle möglichen Abschnitte der sechswöchigen Untersuchung genutzt, um dann die Prognosegüte für die folgende Woche zu prüfen. Eingangswert für die Simulation in der Prognosephase ist jeweils der letzte simulierte Leistungswert der Kalibrierungsphase.

So wird das SimBEA-Modell beispielsweise an der ersten und zweiten Woche kalibriert, um dann, ausgehend vom letzten berechneten Leistungswert, die Leistungswerte für die dritte Woche zu prognostizieren. Außerdem folgen eine Kalibrierung an der zweiten und dritten Woche, an der dritten und vierten Woche und an der vierten und fünften Woche, um die Entwicklung in der jeweils folgenden Woche zu simulieren. Entsprechend ist das Vorgehen bei den längeren Kalibrierungsabschnitten. Bei der Kalibrierung über fünf Wochen erfolgt schließlich nur eine Modellanpassung an den Daten der Wochen eins bis fünf und die Prognose für die sechste Untersuchungswoche.

Statistische Verfahren und Hypothesen

Die Beurteilung der Prognosegüte erfolgt über die Pearson-Korrelation zwischen den gemessenen Leistungswerten und den mit dem SimBEA-Modell prognostizierten Werten. Für alle genannten Varianten der Kalibrierung werden global folgende statistische Hypothesen auf dem α -Niveau von $\alpha = .05$ im Rahmen von einseitigen Tests geprüft:

H₀4.1: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den prognostizierten Leistungswerten und den realen Leistungswerten in der Prognosephase von einer Woche ($r \leq 0$).

H₁4.1: Zwischen den prognostizierten Leistungswerten und den realen Leistungswerten in der Prognosephase besteht ein positiver Zusammenhang ($r > 0$).

Die Hypothesenentscheidungen fallen im vorliegenden Fall aufgrund des Vergleichs der empirischen Prüfstatistik mit einem sogenannten kritischen Wert (vgl. Bortz, 1993): Dazu werden die Korrelationskoeffizienten t -transformiert und mit dem kritischen t -Wert $t_5 = 2.015$ verglichen ($\alpha = .05$, einseitiger Test, $n = 7$, $df = 5$). Korrelationen mit t -Werten oberhalb dieses kritischen t -Wertes sind als signifikant anzusehen, so dass die Nullhypothese zu verwerfen und die Alternativhypothese anzunehmen ist. Für $r = .669$ und $r = .670$ ergeben sich t -Werte von 2.013 bzw. 2.018. Korrelationen mit $r \geq .67$ führen demnach zur Annahme der Alternativhypothese; Korrelatio-

nen mit $r < .67$ werden als nicht signifikant betrachtet. Aus Gründen der Anschaulichkeit werden die Korrelationen in Abhängigkeit von der Kalibrierungsdauer (zwei, drei, vier oder fünf Wochen) zusammengefasst. Die einzelnen Korrelationskoeffizienten werden dazu in Fishers Z-Werte transformiert, um dann die arithmetischen Mittelwerte zu bilden. Diese Mittelwerte lassen sich anschließend wieder zurücktransformieren (vgl. Bortz, 1993).

Ergebnisse und Diskussion

Im Durchschnitt ergeben sich für alle Kalibrierungsabschnitte positive mittlere Korrelationen. Im Fall der zweiwöchigen Kalibrierung liegt allerdings nur eine Korrelation über dem kritischen Wert von $r = .67$, ein Korrelationskoeffizient ist sogar negativ ($r = -.17$). Dagegen liegen bei Kalibrierungszeitabschnitten zwischen drei und fünf Wochen alle Korrelationen über dem kritischen Wert von $r = .67$. Damit können die Nullhypothesen bei mindestens dreiwöchigen Kalibrierungsphasen verworfen und die Alternativhypothesen angenommen werden. Es bestehen demnach positive Zusammenhänge zwischen der realen Leistungsfähigkeit und der über eine Woche prognostizierten Leistungsfähigkeit. Hypothese 4.1 wird also bestätigt, so dass sich das SimBEA-Modell unter den genannten Bedingungen zu Prognosezwecken einsetzen lässt.

Abbildung 4 zeigt die mittleren Validitätskoeffizienten für die verschiedenen Kalibrierungsabschnitte. Werden zur Beurteilung der prognostischen Validität wiederum die Bewertungskriterien von sportmotorischen Tests nach Weineck (1997) herangezogen, dann zeigt sich für die dreiwöchige Kalibrierung im Mittel eine sehr gute Prognosegüte ($M = .84$). Bei vier- und fünfwöchiger Kalibrierung

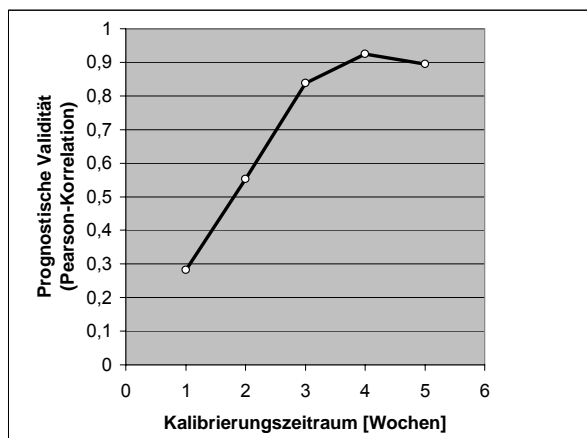


Abbildung 4. Darstellung der Prognosegüte des SimBEA-Modells (mittlere Pearson-Korrelationen) für einwöchige Leistungsprognosen in Abhängigkeit von der Länge der Kalibrierungsdauer. Mit zunehmender Kalibrierungsdauer steigt die prognostische Validität.

sind die mittleren Korrelationskoeffizienten sogar ausgezeichnet ($M = .93$ bzw. $M = .90$) zu bewerten.

Langfristige Prognose

Die Simulation von Trainingswirkungen über mehrere Wochen oder Monate ließe sich in der Trainingsplanung von Mesozyklen einsetzen. Die Validität bezüglich solcher langfristigen Prognosen wird anhand von Untersuchung 1 und 2 geprüft und dazu das Modell jeweils an die erste Hälfte der vorliegenden Leistungswerte über das Verfahren der simulationsbasierten Kalibrierung angepasst (Kalibrierungsphase). Anschließend simuliert das Modell die weitere Leistungsentwicklung für die real absolvierte Trainingsbelastung. In der Prognosephase lässt sich dann für die zweite Hälfte der vorliegenden realen Leistungsdaten die Übereinstimmung mit den simulierten Leistungswerten bestimmen. Bezüglich beider Untersuchungsphasen wird folgendes erwartet:

Hypothese 4.2: Das an der ersten Hälfte der vorliegenden Leistungsdaten kalibrierte SimBEA-Modell kann den weiteren Verlauf der realen Leistungsfähigkeit zutreffend simulieren.

Statistische Verfahren und Hypothesen

Die Beurteilung der Prognosegüte erfolgt wiederum über die Pearson-Korrelation. Für Untersuchung 1 bzw. 2 sind folgende statistische Hypothesen auf dem α -Niveau von $\alpha = .05$ im Rahmen von einseitigen Tests zu prüfen:

$H_{04.2.1}$ bzw. $H_{04.2.2}$: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen den prognostizierten Leistungswerten und den realen Leistungswerten in der Prognosephase ($r \leq 0$).

$H_{14.2.1}$ bzw. $H_{14.2.2}$: Zwischen den prognostizierten Leistungswerten und den realen Leistungswerten in der Prognosephase besteht ein positiver Zusammenhang ($r > 0$).

Ergebnisse

Für Untersuchung 1 ergibt sich für die Prognosephase ein Zusammenhang der realen und simulierten Leistungswerte von $r = .54$ ($p < .01$, Fehler: 5.27 Schläge/min bzw. 3.50 %). Für Untersuchung 2 zeigt sich ein Zusammenhang von $r = .56$ ($p < .05$, Fehler: 15.1 Schläge/min bzw. 9.50 %).

Demnach fallen die Hypothesenentscheidungen in beiden Fällen zugunsten der Alternativhypothesen aus und die ermittelten Zusammenhänge zwischen den prognostizierten und den gemessenen Werten sind ein Indiz für die Bestätigung von Hypothese 4.2: Das an der ersten Hälfte der vorliegenden Leistungsdaten kalibrierte SimBEA-Modell kann den weiteren Verlauf der realen Leistungsfähigkeit simulieren.

Diskussion

Untersucht wurde die Prognosegüte des SimBEA-Modells über einen Zeitraum von drei Wochen bei dreiwöchiger Kalibrierung und über 46 Wochen bei einer Kalibrierung über 22 Wochen. Zwischen den gemessenen und den simulierten Leistungsdaten bestehen in beiden Fällen signifikante Zusammenhänge. Nach den Kriterien von Bortz und Döring (1995) sprechen die Korrelationen von $r = .54$ bzw. $r = .56$ für eine mittelmäßige prognostische Validität des Modells unter den vorliegenden Bedingungen. Wird zusätzlich der absolute und relative Fehler der Leistungsprognose berücksichtigt, dann ist diese Bewertung bzgl. Untersuchung 2 zu hinterfragen (Fehler: 15.1 Schläge/min bzw. 9.50 %). Wodurch sind die großen Abweichungen von Modell- und Realverhalten zu erklären?

Eine Trainingsanalyse zeigt, dass die weitaus größte Trainingsbelastung zwischen dem 16. und 17. HF_{AST}-Messwert für die Leistungsfähigkeit auftritt. In dieser Zeit wurde ein Trainingslager mit besonders hohen Trainingsumfängen durchgeführt. Das SimBEA-Modell wurde über die ersten 13 Messwerte kalibriert. Die Trainingsbelastungen lagen in dieser Zeit deutlich unter der Belastung des Trainingslagers, so dass das Modell für derartige Spitzenbelastungen nicht kalibriert wurde. Entsprechend zeigt es dann in der Prognosephase ein nicht-adäquates Anpassungsverhalten, das die realen Anpassungen bei weitem übertrifft.

Um diese hypothetische Erklärung zu prüfen, wird das SimBEA-Modell erneut kalibriert. Dabei wird der Kalibrierungszeitraum bis zum 17. HF_{AST}-Wert ausgeweitet, so dass die Spitzenbelastung des Trainingslagers (zwischen 16. und 17. Messwert) gerade noch in die Kalibrierungsphase fällt. Wie gehab prognostiziert das SimBEA-Modell dann die weitere Leistungsentwicklung für das anschließend absolvierte Training. Zwischen den prognostizierten und den realen Daten ergibt sich daraufhin zwar nur ein ähnlich hoher, mittlerer Zusammenhang von $r = .52$ ($p < .10$), der aufgrund der nunmehr kleinen Messwertzahl nur noch tendenziell signifikant ist. Jedoch ist jetzt der Simulationsfehler deutlich niedriger: Statt 15.1 Schlägen/min bzw. 9.50 % beträgt er nur noch 5.52 Schläge/min bzw. 3.47 %. Offenbar kann das Modell Anpassungsprozesse für einen Belastungsbereich nur dann zutreffend simulieren, wenn es auch in einem vergleichbaren Belastungsbereich kalibriert wurde.

Dennoch sind langfristige Leistungsprognosen nur mit mittlerer Genauigkeit möglich. Dass die Vorhersagegenauigkeit gegenüber der einwöchigen Prognose deutlich abfällt, könnte darauf zurückzuführen sein, dass bei längeren Zeiträumen vielfältige Einflussfaktoren auf die Leistungsfähigkeit einwirken bzw. dass das Systemverhalten selbst einer gewissen Veränderung unterliegt. Die Ergebnisse legen jedenfalls die Vermutung nahe,

dass die Modellparameter sich im Laufe der Zeit verändern. Während über eine Woche noch sehr gute Prognosen möglich sind, nimmt diese Genauigkeit bereits bei dreiwöchiger Prognose ab. Andererseits spricht der Validitätskoeffizient von $r_{CC} = .65$ bei der Modellanpassung über 68 Wochen zumindest für eine mittlere Stabilität der Parameter. Aus praktischer Sicht scheint eine laufende trainingsbegleitende Überprüfung der Modellkalibrierung und ggf. eine Neukalibrierung sinnvoll.

Zusammenfassende Diskussion

Ziel der empirischen Untersuchung war es, zu prüfen, ob sich das SimBEA-Modell zur Simulation der belastungsabhängigen Leistungsveränderung in der Trainingspraxis einsetzen lässt. Die dafür aufgestellten operationalisierten Hypothesen konnten weitgehend bestätigt werden. So bleibt abschließend zu fragen: Ist das SimBEA-Modell damit zur Simulation von Anpassungsprozessen geeignet, und worauf ist dabei zu achten?

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich das SimBEA-Modell durch trainingsbegleitende Belastungs- und Leistungserfassung über das Verfahren der simulationsbasierten Kalibrierung zuverlässig kalibrieren lässt. Die Wahl der Datenpunkte ist für die Zuverlässigkeit der Modellanpassung dabei nicht von Bedeutung. Die Güte der Modellanpassung an die realen Leistungsdaten (hier die HF_{AST}) ist bei sechswöchiger Simulationsdauer (Untersuchung 1) sehr gut und bei Langzeitsimulationen (Untersuchung 2) immerhin annehmbar. Ebenso sind kurzzeitige Prognosen der Leistungsentwicklung mit hoher Gültigkeit simulierbar, wenn die Datenbasis zur Kalibrierung ausreichend groß ist. Für einwöchige Prognosen sind mindestens dreiwöchige Kalibrierungsphasen erforderlich.

Bei längeren Prognosen von über drei Wochen bis hin zu 28 Wochen besitzt das Modell eine mittlere prognostische Validität. Unter diesen Bedingungen liefert das SimBEA-Modell damit immerhin Orientierungswerte, in welche Richtung die Leistungsentwicklung geht. Da bei der Simulation über sechs Wochen eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen Realverhalten und Modellverhalten vorliegt, können die geringeren Übereinstimmungsgrade bei längeren Prognosen und Modellierungen möglicherweise auf eine nur mittlere Stabilität des Modellverhaltens bzw. der Parameter hindeuten. Regelmäßige Überprüfungen der Prognosegüte sind beim trainingsbegleitenden Einsatz des SimBEA-Modells daher zu empfehlen. Die Daten zur Überprüfung ließen sich dann jeweils auch zur Nachjustierung des Modells nutzen, um die Prognosegüte zu erhöhen. Auf die Entwicklung und Prüfung geeigneter, d.h. trainingsbegleitend leicht durchführbarer und wenig belastender Verfahren der Datenerhebung sollte zukünftig deshalb besonders Wert gelegt werden.

Literatur

- Banister, E. W., Calvert, I. W., Savage, M. V. & Bach, I. M. (1975). A system model of training for athletic performance. *Australian Journal of Sports Medicine*, 7(3), 57-61.
- Banister, E. W., Carter, J. B. & Zarkadas, P. C. (1999). Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 79, 182-191.
- Banister, E. W., Good, P., Holman, G. & Hamilton, C. L. (1986). Modeling the training response in athletes. In D. M. Landers (Ed.), *1984 Olympic Scientific Congress proceedings; v. 3. Sport and elite performers* (pp. 7-23). Champaign: Human Kinetics.
- Banister, E. W. & Hamilton, C. L. (1985). Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 54(1), 16-23.
- Borg, G. (1985). *An introduction to Borgs RPE-scale*. Ithaca: Movement.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (4., vollst. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler* (2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.
- Brückner, J.-P. (2007). *Training im Leistungssport: Modellierung und Simulation von Adaptionsprozessen*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2000). *SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows* (7., überarb. u. erweilt. Aufl.). München: Addison-Wesley.
- Busso, T., Benoit, H., Bonnefoy, R., Feasson, L. & Lacour, J. R. (1997). Modeling of adaptations to physical training by using a recursive least squares algorithm. *Journal of Applied Physiology*, 82, 1685-1693.
- Busso, T., Benoit, H., Bonnefoy, R., Feasson, L. & Lacour, J. R. (2002). Effects of training frequency on the dynamics of performance response to a single training bout. *Journal of Applied Physiology*, 92, 572-580.
- Candau, R., Busso, T. & Lacour, J. R. (1992). Effects of training on iron status in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 64(6), 497-502.
- Fitz-Clarke, J. R., Morton, R. H. & Banister, E. W. (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1151-1158.
- Ganter, N., Witte, K. & Edelmann-Nusser, J. (2006). Performance prediction in cycling using antagonistic models. *International Journal of Computer Science in Sport*, 5(2), 56-59.
- Goldspink, G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In R. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 211-229). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Hohmann, A. (2005). Steuerung sportlicher Spitzenleistungen aus trainingswissenschaftlicher Perspektive. *Leistungssport*, 35(6), 56-62.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin* (4., völlig neu bearb. Aufl.). Stuttgart: Schattauer.
- Hollmann, W. & Mader, A. (2000). Grenzen der Leistungsfähigkeit des Menschen aus physiologischer Sicht. *Leistungs-sport*, 30(1), 11-17.
- Hottenrott, K. (1993). *Trainingsteuerung im Ausdauersport: Theorien – Untersuchungen – Beispiele*. Ahrensburg: Czwalina.
- Israel, S. (1976). Zur Problematik des Übertrainings aus internistischer und leistungsphysiologischer Sicht. *Medizin und Sport*, 16(1), 1-12.
- Jakowlew, N. N. (1977). *Sportbiochemie*. Leipzig: Barth.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. Ein Beitrag zum Mechanismus der Trainingswirkung und der Kompensation von funktionellen Mehrbelastungen von Organen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41(2), 40-58.
- Mester, J. & Perl, J. (2000). Grenzen der Anpassungs- und Leistungsfähigkeit des Menschen aus systemischer Sicht. *Leistungssport*, 30(1), 43-51.
- 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 triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 23, 55-63.
- Millet, G. P., Gros Lambert, A., Barbier, B., Rouillon, J. D. & Candau, R. B. (2005). Modelling the relationships between training, anxiety, and fatigue in elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 492-498.
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R. & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of applied Physiology*, 69, 1171-1177.
- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geysant, A. & Chatard, J. C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28, 251-258.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A. (1998). *Optimiertes Ausdauertraining*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Hottenrott, K. (2000). *Alles unter Kontrolle: Ausdauertraining* (6., überarb. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Perl, J. (1998). Anwendung der EDV in Sportmedizin und Sportwissenschaft: Entwicklung und Perspektiven. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 49(Sonderheft 1), 322-326.
- Perl, J. (2002 a). Adaptation, antagonism, and system dynamics. In G. Ghent, D. Kluka & D. Jones (eds.), *Sport and information technology. Perspectives*, 4 (pp. 105-125). Aachen: Meyer & Meyer.
- Perl, J. (2002 b). Physiologische Modelle der Adaptation. In J. Perl, M. Lames & U. Glitsch (Hrsg.), *Modellbildung in der Sportwissenschaft* (S. 162-178). Schorndorf: Hofmann.
- Perl, J. (2003). On the long term behaviour of the Performance-Potential-Metamodel PerPot: New results and approaches. *International Journal of Computer Science in Sport*, 2(1), 80-92. Zugriff am 25. Juli 2006 unter http://www.informatik.unimainz.de/perpot/Full2003_Perl_Longterm.pdf
- Perl, J. (2004). PerPot – a meta-model and software tool for analysis and optimisation of load-performance-interaction. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 4(2), 61-73.
- Perl, J. (2005). Dynamic simulation of performance development: Prediction and optimal scheduling. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4(2), 28-37.
- Perl, J., Dauscher, P. & Hawlitzky, M. (2003). On the long term behaviour of the Performance-Potential-Metamodel PerPot. *International Journal of Computer Science in Sport*, Special Ed. 2003, 12-21. Zugriff am 25. Juli 2006 unter http://www.informatik.unimainz.de/perpot/Full2003_Perl_Dauscher_Hawlitzky.pdf
- Perl, J. & Endler, S. (2006 a). Trainings- und Wettkampf-Planung in Ausdauersportarten mit Hilfe von Streckenprofilen und PerPot-gestützter Analyse. In J. Edelmann-Nusser & K. Witte (Hrsg.), *Sport und Informatik IX*, (S. 37-42). Shaker: Aachen.
- Perl, J. & Endler, S. (2006 b). Training- and contest-scheduling in endurance sports by means of course profiles and PerPot-based analysis. *International Journal of Computer Science in Sport*, 5(2), 42-46.
- Perl, J. & Mester, J. (2001). Modellgestützte und statistische Analyse der Wechselwirkung zwischen Belastung und Leistung. *Leistungssport*, 31(2), 54-62.
- Perl, J. & Uthmann, T. (1997). Modellbildung. In J. Perl, M. Lames & W.-D. Miethling (Hrsg.), *Informatik im Sport: ein Handbuch* (S. 43-64). Schorndorf: Hofmann.
- Rost, J. (1999). Test- und Fragebogenanalysen. In B. Strauß, H. Haag & M. Kolb (Hrsg.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft: hermeneutische und statistische Verfahren* (S. 455-480). Schorndorf: Hofmann.
- Schönpflug, W. (1987). Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit – Konzepte und Theorien. In U. Kleinbeck & J. Rutenfranz (Hrsg.), *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie*, Bd. 1 (S. 130-184). Göttingen: Hogrefe.
- Schönpflug, W. (1991). Von der Aktivierungstheorie zur Ressourcentheorie: Die Regulation von Aktivierungszuständen. In J.-P. Janssen, E. Hahn & H. Strang (Hrsg.), *Konzentration und Leistung* (S. 27-36). Göttingen: Hogrefe.
- Sleamaker, R. (1996). *Systematisches Leistungstraining: Schritte zum Erfolg* (2., überarb. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.

- Thomas, L. & Busso, T. (2005). A theoretical study of taper characteristics to optimize performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, 1615-1621.
- Verchoshanskij, J. (1988). *Effektiv trainieren. Neue Wege zur Planung und Organisation des Trainingsprozesses*. Berlin: Sportverlag.
- Weicker, H. & Strobel, G. (1994). *Sportmedizin: biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung*. Stuttgart: Gustav Fischer.
- Weineck, J. (1997). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (10. Aufl.). Balingen: Spitta.
-
- Themenschwerpunkt erhalten: 12.09.2007*
Überarbeiteten Themenschwerpunkt erhalten: 25.11.2008
Themenschwerpunkt akzeptiert: 25.11.2008
Themenschwerpunkt veröffentlicht: 22.12.2008



THEMATIC PRIORITY

AN AMBIENT INTELLIGENCE SYSTEM TO SUPPORT TEAM TRAINING IN CYCLING

THOMAS JAITNER¹ & MARCUS TRAPP²¹AG TRAININGS- UND BEWEGUNGSWISSENSCHAFT, TU KAISERSLAUTERN, GERMANY,²AG SOFTWAREENGINEERING, TU KAISERSLAUTERN, GERMANY

In den letzten Jahren werden vermehrt hoch entwickelte Technologien eingesetzt, um das Training im Radsport zu unterstützen. Parameter wie Leistung, Geschwindigkeit, Puls werden nicht nur im Hochleistungsbereich, sondern zunehmend auch im Freizeit- und Breitensport online während des Trainings erfasst und zur Optimierung der Belastung des einzelnen Sportlers herangezogen. Obgleich der Fokus im Radsport hauptsächlich auf der Leistung des einzelnen Athleten liegt, wird im Training auch häufig in der Gruppe gefahren. In einer typischen Teamkonstellation hängt die Beanspruchung des einzelnen Fahrers von der Position in der Gruppe und bedingt u. a. durch Führungswechsel vom Leistungszustand der gesamten Mannschaft ab (Neumann, 2000). Zur Optimierung des Gruppentrainings wurde ein Team Cycling Training System (TCTS) entwickelt, das auf einem kommerziellen Leistungsmesssystem basiert und über eine funkbasierte Kommunikation alle Fahrer miteinander verbindet. Basierend auf Trainingsvorgaben und aktuellen Messwerten für jeden einzelnen Sportlers wurde ein Algorithmus entwickelt, der durch Führungswechsel und Geschwindigkeitsregulation das Training für die gesamte Gruppe so optimieren soll, dass individuelle Abweichungen von der vorgegebenen Leistung und Herzfrequenz minimiert werden. Neben physiologischen und biomechanischen Leistungsparametern wird das subjektive Beanspruchungsempfinden anhand einer BORG-Skala (Borg 1998) erfasst und bei der Trainingssteuerung berücksichtigt. Nach den bisherigen Ergebnissen mit dem ersten Prototyp könnte das TCTS vor allem in Bereich des Nachwuchstrainings erheblich zur Effektivierung des Trainings beitragen.

Schlüsselwörter: Radsport, Informationstechnologie, Messplatztraining, Feedback, adaptive Software-Architektur

In recent years, sophisticated technologies have been developed to support the training in cycling. Professionals as well as an increasing number of recreational cyclists monitor parameters such as power, speed, or heart rate to adapt the training load according to the actual physical state and to improve performance. Although the focus is primarily on the performance of the single athlete, cycling in teams is a very common method in training. In a typical team constellation, the load of each cyclist depends on the position within the group as well as on the level of performance of the whole team (Neumann, 2000). A Team Cycling Training System (TCTS) has been developed that is based on a commercial powermeter and provides a Wi-Fi communication between all cyclists. Based on predefined exercise intensities and dynamically collected status data an algorithm has been developed to improve team training such that each cyclist is as close to his individual exercise intensity as possible. The TCTS adjusts training parameters, for instance by advising the group to change the formation or to increase or

decrease the speed. Besides physiological and biomechanical parameters subjective sensations are measured on a BORG scale (Borg 1998) and considered for the optimization of the training load. According to the preliminary results with the first prototype, the TCTS might be considerably support a more effective cycling training, especially for youth athletes.

Keywords: cycling, information technology, feedback training, adaptive software architecture

Introduction

In recent years, sophisticated technologies have been developed to support the training in cycling. Commercial powermeters such as SRM™, Ergomo™ or Powertab™ are meanwhile part of the standard equipment of professional cyclists, but also used by an increasing number of recreational cyclists. These systems provide long time measurement and storage of heart rate, speed, cadence and especially pedal power during training and competition. Hence, performance-related data of the most crucial parameters are available to direct and control the training. Further, actual values of these parameters are monitored online which helps the cyclists to train close at their planned intensity. Especially for athletes on a high level of performance, a deliberate regulation of the training load is of particular importance to improve performance and prevent overtraining (Jeukendrup & van Diemen, 1998; Lindner, 2005).

The power exerted on the pedal can be considered as an objective and reliable indicator of the external load. To estimate the internal load or physical stress that results from an external load the heart rate is the widely chosen parameter, especially under conditions of training. However, the heart rate is subject to considerable fluctuations that might be caused by external conditions (temperature, height, e.g.), physical abilities and dispositions (fatigue, nutrition, health, e.g.) or technical skills (seating position, e.g.) (Gregor & Conconi, 2000; Achten & Jekendrup, 2003). During long lasting aerobic exercises with constant load also a

Correspondence Address:

Thomas Jaitner (jaitner@sowi.uni-kl.de)
Fachgebiet Sportwissenschaft,
Technische Universität Kaiserslautern,
Postfach 3049,
67663 Kaiserslautern
Germany



E-Journal Bewegung und Training

Offizielles Organ der Sektionen Biomechanik,
Sportmotorik und Trainingswissenschaft in
der Deutschen Vereinigung für
Sportwissenschaft
ISSN 1612-5770

cardiovascular drift of up to 15 beats per minute has been observed (Mognoni et al., 1990).

Due to these uncertainties, the heart rate must be handled with care especially during the exercise. Besides the physiological and biomechanical measures subjective sensations are considered as a reliable and highly relevant indicator for the determination of the appropriate exercise intensity (Gregor & Conconi, 2000). Athletes (as well as trainers) on a high level of expertise have developed a distinct perception of one's own body (or the body of athletes they are responsible for, respectively). They can regulate their physical stress according to the actual physical disposition or state by adapting the external load in an optimal way. Young and less experienced athletes still need to develop these perception skills. Hence, it seems promising to apply self evaluation techniques during training. Up to now, commercial powermeters or comparable technological systems in cycling do not measure subject's sensations. The RPE scale (Borg 1998) is a well known and easy-to-use method for the evaluation of physical exertion and it consist of a rating scale that is also applicable for exercise and training.

Although the focus in cycling is primarily on the performance of the single athlete, cycling in teams is very common. The team pursuit and the team sprint are standard race formats in track cycling. In road cycling, events like the team trial during the Tour de France are well known. Cyclists even train in groups, especially for long lasting training sessions (Gregor & Conconi, 2000). In a typical team constellation, a group of cyclists covers a distance of up to 200km, with a varying road profile. For best training effects, each cyclist should ride with his predetermined exercise intensity that at least will slightly differ between athletes due to individual physical capabilities and skills. While cycling in a group the speed for all cyclists must be the same, whereas the power output to maintain the speed depends on the position within the group. Because of the head wind the power output of the leading cyclist is up to 36% higher than the power output of subsequent cyclists (Neumann, 2000). In consequence, a cyclist being pulled by the leader may achieve the same speed with lower cardiocirculatory and metabolic efforts. To improve team training such that each cyclist is as close to his individual exercise intensity as possible, the cyclists might regularly change positions, adjust the speed of the whole group or arrange their positions according to individual differences in exercise intensities (e.g. Lindner, 2005; Schmidt, 2001)

An ambient intelligence system has been developed to support the training of a group of cyclists. Ambient Intelligence represents an "intelligent environment", which reacts in a sensitive and adaptive way to the presence of humans and objects in order to provide various services to people (Litz, Wehn & Schürmann, 2004). The technological basis is a network of computing nodes; which collect and process information using various sensors in order to interact, to influence or to alter the

environment accordingly. The objective of this system is (1) to improve training for the single athlete considering physiological and biomechanical data as well as subjective sensations and (2) to improve team training such that each cyclist is as close to his individual predetermined exercise intensity as possible.

In this paper, the focus is on the basic concept of a Team Training Cycling System. A first prototype has been established that is described in the following sections. Though this system has been applied under conditions of training, it also serves as a platform on which further technologies as well as applications for training will be developed.

Team Cycling Training System

The Team Cycling Training System (TCTS) consists of hardware components, a software system and an algorithm to direct and control the training as well as a simulator for ergometer training (fig. 1).

Hardware setting

Each bicycle is equipped with a powermeter (Ergomo™) and an Ultra Mobile Personal Computer (UMPC). The cable connection between the Ergomo™-System and the UMPC has been established via the serial port (RS232). Actual sensor data of the heart rate, speed, cadence und power serve as input data for the training control algorithm which is maintained by the software system. All UMPCs are connected among each other using Wi-Fi technology forming an ad-hoc network. With this hardware setting, the system runs under field or outdoor conditions.

Alternatively, the bicycles can be mounted on ergometers (Tacx™ T1680 Flow) for indoor training. The processing of real sensor values as well as conversion of control variables of the eddy-current brake that result of the force information generated by a simulator are done on a control board. These boards are connected via CAN-Bus with an external computer on which the simulation software runs.

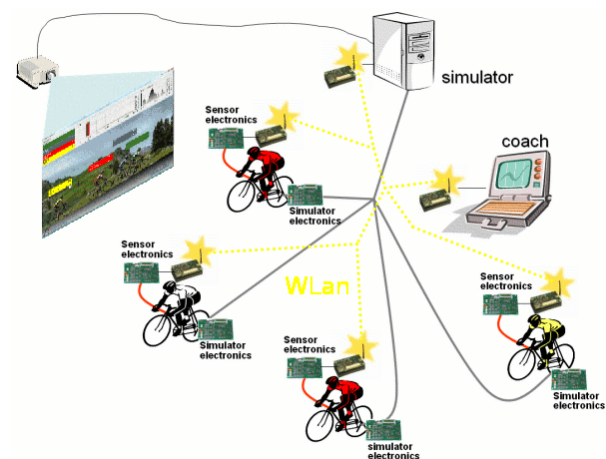


Figure 1. Diagram of the Team Cycling Training System including the simulator for indoor training.

Software Architecture

To keep the training control application very flexible, it is based on a service-oriented software architecture (SOA) (Bartelt et. al., 2005). Therefore, this application consists basically of all services offered by the available system components. The quality of the services can range from the simple delivery of sensor values to the complex computation of new training parameters. In terms of SOA, system components may be hardware components, like a pulse sensor or a PDA, as well as software components like a training control algorithm. Each component offers at least one service but may offer a large number of services. To be able to offer a service, a component may need several other services offered by other components. The training control algorithm, for instance, offers new training parameters (like the sequence of the cyclists) based on several sensor values offered by differed sensor components.

Each service is identified by its software interface only. An interface describes what kind of service it represents and how to use this service. Thus, it is not necessary to know the exact type or vendor of a specific service to use it. This allows a flexible usage of several hardware configurations. For example, the training control algorithm needs the current power the cyclist pedals. Due to the service oriented architecture, the training control components searches for a component that offers a "current pedal power delivery" service. Regardless of the vendor or brand of the power meter used by the cyclist, the training control component uses the available service based on its interface only. This flexible exchangeability of hardware is necessary since we cannot assume that all cyclists use the same components like pulse sensors or power meters.

This flexibility is enabled by a so called configuration service which manages and orchestrates all services within the system. Every component registers services it offers and services it needs at the configuration service. Then the configuration service automatically connects the services accordingly. For example, the training control algorithm component registers at the configuration service, stating that it needs a pulse sensor service, a power sensor service, and many services more in order to offer the current training parameters. The Configuration Service determines automatically the best set of services (if there are several services with the same interface) and connects them.

Additionally, components can use several services with the same interface in parallel. For example, the group training algorithm needs input data from all cyclists currently participating in the training session. Therefore, it simply has to state during registration at the configuration service that it wants to use all available data services from all cyclists. The configuration service connects them automatically.

Different configuration sets allow the components, and thus the system, to be more flexible. For example the training control algorithm compo-

nent could offer a very simple control based on a basic set with only the pulse sensor as needed service and the more advanced control set, containing the power sensor as well as a needed service. This enables a flexible configuration at run-time since the configuration service checks for better configurations and notifies the application if applicable. Therefore it is possible to change the configuration (for example, introducing a new sensor) without changing the software or restarting the system.

As the configuration process is performed during run-time of the system, components can easily be added or removed. Thus, new cyclists can join an established training group, or a single cyclist can leave the group. In both cases, the re-configuration is performed automatically without user interference. Thereby, it is easily possible to switch between single training and group training, for example if a cyclist meets another cyclist during a training session. If both want to form a group, they can simply switch to group training without stopping and reconfigure the system manually.

A cyclist mainly interacts with the training application via a graphical user interface (GUI) displayed on the touch screen of the mini PC (see figure 2). The GUI is able to display all currently available sensor values (like pulse, power, speed, etc.) and training parameters (recommended position within a group, target pulse corridor). Each cyclist can personalize the sensor values currently displayed using the touch screen of the mini PC. Every visual message is displayed in the upper large message panel of the GUI and additionally supported by an audio signal. This is very important, as during training the cyclist has to concentrate on his environment and cannot always focus on the GUI. Important messages are for example "Go faster!", "Slow down!", "Take the lead!".

After starting the training the main manual input will be the current "Rating of perceived exertion (RPE) (Borg, 1998). Therefore, the cyclist uses the



Figure 2. For each cyclist, heart rate ("Puls"), power ("Leistung"), cadence ("Trittfrequenz") and time as well as the position are monitored on the touch screen of the UMPC. On top, feedback as well as advice from the TCTS is displayed (e.g. "Drive slowly"/"Fahren Sie langsamer"). The bottom line shows the current rate of perceived exhaustion on the Borg scale. With the two buttons on the left and the right, cyclists can adjust their rating.

large arrow buttons on the lower left and lower right of the GUI to easily adjust the RPE.

Training control algorithm

In the following the single training control which serves as a basis for the group training control is described. An individual training plan composed of training phases is given as input for the system. Every phase is described by its duration as well as the cadence the cyclist should pedal, the power exerted on the pedal and the expected heart rate during this phase. These target values define the exercise intensity and can be derived as example by an incremental cycling test.

The primary task of the TCTS is to control the cyclist's heart rate by controlling the target power of every training phase. A range of tolerance for each parameter is defined in advance. If the difference between actual and target values exceeds the range of tolerance for a given time, the exercise intensity will be decreased or increased, respectively, by adjusting the target values. The range of tolerance, latencies as well as the gradient for the adaptation of exercise intensity can be adjusted individually.

The effect of the training control algorithm might be explained by two examples. If a cyclist is above the upper threshold of the heart rate tolerance corridor for the current training phase over a period of 30 seconds, the target power will be decreased by 10 Watt (example 1). The cyclist now cycles with lower power and the heart rate should decrease. If the cyclist's heart rate remains above the upper threshold, the system lowers the value again. This procedure will be repeated until the target value is reduced to 80% of the initial value. Then the TCTS will not lower this value even if the heart rate is still too high. The system reacts in the opposite way every time the cyclist stays below the lower threshold of the heart rate corridor for 30 seconds. The athlete will be advised to cycle at a higher speed by increasing the target value for the power (example 2).

The group training control is based on the single training control that is described above. A group must be formed by a minimum of two cyclists. The group control maximizes the training effect of every single cyclist within the group while keeping the group together. The optimal group speed is calculated by minimizing the sum of differences for all cyclists between the target values of their initial training plans and the new target values of the group. Moreover, the formation of the group (e.g. cycling in one or two rows) as well as the positions of each cyclist within the group are determined.

As set of rules has been specified in hierarchical order to optimize the group training if a cyclist's sensor values exceed the tolerance corridor:

1. Change the cyclist's position: The new position is calculated in a way that the cyclist's heart rate will move towards the tolerance corridor. A cyclist will be sent to front when his values are lower than the tolerance corridor and vice versa.

2. Change the formation: If at least two cyclists are overstrained for a longer period of time and even after change of position, and at least two cyclists are not challenged enough for a longer period the formation should be changed ordering the cyclists in two lines for minimizing the load difference between front row and back row cyclists

3. Adapt the group speed: If either all cyclists are overstrained or all cyclists are not challenged enough for a longer period of time and the previous rules did not help, the group speed has to be adapted accordingly.

All data gathered during the single or group training are stored persistently and can be used for evaluations afterwards.

Based on the examples for the single training control the control algorithm for the group training will be explained in the following. The cyclist in example 1 might cycle in leading position whereas the cyclist in example 2 follows in second position. Then the leading cyclist will be advised to change into a rearmost position to exploit the slipstream and the second cyclist will take the lead. If for all cyclists the actual values exceed the range of tolerance (example 1) and the positions are changed permanently, the speed of the whole group will be adapted.

Subjective sensations are implemented as a further control parameter of the TCTS. During the whole training the system asks the cyclist frequently to enter her/his current rating of perceived exertion as feedback about her/his current physical condition. The RPE scales ranges from 6 to 20. Low values are chosen, if the physical stress that results from the applied training load is perceived as low. High values (<14) stand for a high or very high amount of perceived exertion and indicate that the athletes is exhausted or overstrained.

Every time a new value is entered the range of tolerance of the cyclist's heart rate will be adjusted as described below (fig. 3). A RPE value of 12 is assumed for normal training conditions. Different values affect the range of tolerance for the initial heart rate set point values. If the cyclist enters a value between 6 and 9 the upper threshold of the tolerance corridor will be increased one point for

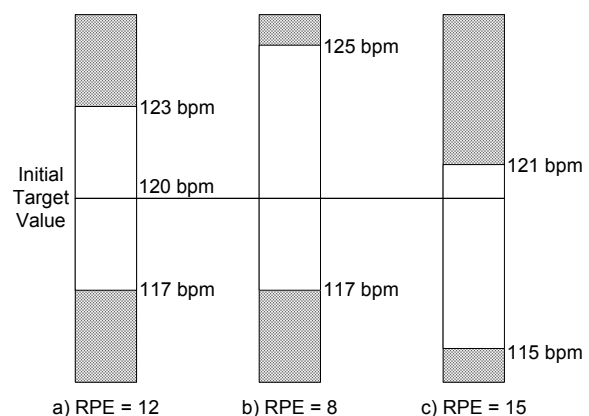


Figure 3. Influence of the rating on the Borg scale on the target values and the range of tolerance of the heart rate: (a) initial state, (b) a rating ≤ 9 increases the upper boundary, (c) a rating ≥ 14 leads to a downwards shift of the range of tolerance.

every value lower than 10 (see figure 3(b)). If the cyclist enters a value between 14 and 17 the lower threshold of the tolerance corridor will be increased one point for every value greater than 13 (see figure 3(c)). A value between 10 and 13 does not affect the tolerance corridor. If the cyclist enters a value of 18 or greater, the system recommends stopping the training. In addition, the recommended target power will be immediately set to a value that corresponds to 120 bpm according to the cyclist's personal profile. The cyclist is in the cool down phase of the training. The recommendation to stop the training will only be given if the RPE value is too high, not if the expected target power will not be reached.

Simulation of head wind and road profile

The TCTS can also be used for indoor training. In that case, all bicycles must be mounted on ergo meters that are controlled by a simulator. This simulator has been developed to simulate environmental conditions that are as closed as possible to the conditions outdoor, e.g. while cycling on the road.

A specific road profile can be defined in advance. The simulator then calculates the influence of head wind and road profile on the pedal power at a given speed and time. Thus, the ergometer braking forces are adjusted for each cyclist differently according to the actual position within the group as well as the actual distance between subsequent cyclists.

The power generated by the cyclist can only be gathered indirectly with knowledge of speed and the imposed force or moment of crank torque, respectively. For the static case the power is derived as:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v = \frac{D}{r} \cdot v$$

Equitation 1.

(with P = power, t = time, F = force, s = distance, D = torque, r = radius und v = speed). The moment of torque which is the force normalized to the radius is assumed to be approximately equal at crank and rear wheel. Hence in our current experimental setup the power can only be determined with help of the ergometer which serves as adjustable brake for the rear wheel. The given formula for static values (eq.1) can be applied as the brake force at the ergometer as well as the speed is dedicated to discrete time intervals.

Based on a simplified model of physics the brake force results as the sum of dynamic friction (F_R), the wind resistance (F_W) and the slope dependent lift force (F_G):

$$F = F_G + F_R + F_W^*$$

Equitation 2.

The inertial force which has to be overcome at acceleration is disregarded as it could only be derived by differentiation of the speed which would lead to immense errors. The single components of the braking force therefore are determined as follows:

(with m = mass of cyclist and bicycle, g = earth acceleration, α = slope at current position, c_R = coefficient of friction, ρ = density of air, c_W air drag coefficient, A = front surface and v_W = wind velocity in counter direction).

$$F_G = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_R = c_R \cdot \sqrt{(m \cdot g)^2 - F_g^2}$$

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_W \cdot A \cdot (v + v_W)^2$$

Equitation 3-5.

For cyclists on subsequent positions the wind resistance can be reduced considerably due to the exploitation of the slipstream. According to Gressmann (2003) and Neumann (2000) the effects of the slipstream can be calculated by linear approximation considering the speed, the distance between two consecutive cyclists as well as the

$$F_W^* = F_W \cdot \left(1 - \sum_i c_v \cdot \left(1 - \frac{d_i}{d_{max}}\right)\right)$$

Equitation 6.

position within the group.

(with c_v = maximum reduction of the wind resistance depending on the speed (for $v = 20\text{km/h} = 0,2$), d_i = distance to at most three leading cyclists, in case $d_i < d_{max}$, with $d_{max} = 10\text{m}$, d_{max} = maximum distance to exploit the slipstream).

A particular case is cycling downhill. Because the ergometers used here are not motor driven, the cyclists cannot be accelerated. Therefore, the velocity calculated for the downhill grade is compared to the speed the cyclist generates actually. The maximum of both values is considered for the simulation.

While the athletes cycle on the ergometers, the progress of each cyclist is visualized by virtual cyclists (fig. 4). Thus, changes in the formation of the group or within the position, overtakes or breakouts can be monitored online. Additionally, for each cyclists the actual position and velocity, the covered distance as well as the distance to the next cyclists are displayed. A bar indicates to which extent each cyclist exploits the slipstream.

During the exercise all data are stored for later analysis. These data can be synchronized with the data of the TCTS, which are stored on the UMPC.

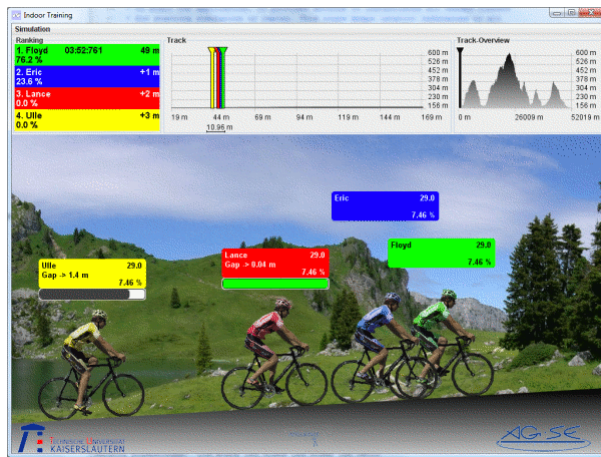


Figure 4. Visualization of the team training under indoor conditions. The actual position of each cyclist according to the track and the team mates is simulated by a virtual athlete. A bar above each virtual rider indicates to which extent the slipstream is exploited. On top, time and covered distance (left and middle) as well as road profile are displayed.

Feedback training vs. non-feedback training

In a pilot study, the effect of feedback training using the TCTS was analyzed. Subjects were competitive cyclists and triathletes with prior experience in team cycling. Team training was performed on a 20km-track, which was cycled twice at a moderate intensity on different days. During the first training session, subjects changed their position at constant time intervals of 3min (non-feedback training). They were advised to keep the speed of the team at a predefined value. During the second session, the position of the cyclists within the group, the time and order of the changes as well as the speed of the whole team was controlled by the TCTS (feedback training). Care was taken on the environmental conditions as well as on the physical state of the subjects. The training sessions were scheduled in a way that the environmental conditions (weather, wind, temperature etc) were nearly equal. Subjects did not perform any exhausting training sessions in

Table 1. Average of the heart rate, power, cadence and speed during two training sessions for subjects KG and MN. For each subjects, the results for the training without feedback (constant time intervals) and with feedback control by the TCTS are shown in the subsequent columns.

setting	subject KG		subject MN	
	constant time intervals	TCTS	constant time intervals	TCTS
heart rate [bpm]	148	143	155	152
power [W]	176	180	151	130
cadence [rpm]	92	90	81	84
speed [km/h]	26,6	26,5	26.6	26,5

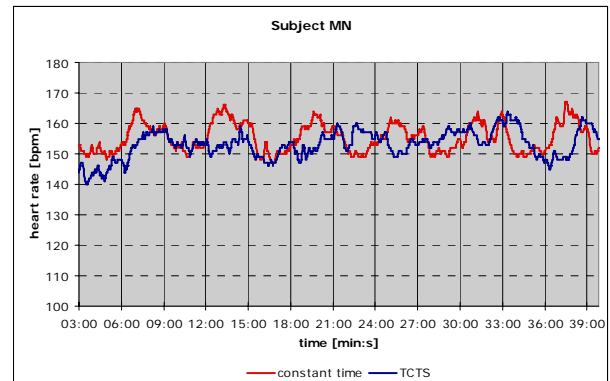


Figure 5. Heart rate of subject KG the training session with feedback control by the TCTS (blue) and without feedback (red).

the previous days and therefore they were in a good physical condition.

Average heart rate, power, cadence and speed of two subjects are shown in table 1, exemplarily. In both conditions, feedback training as well non-feedback training, the average speed was equal. The TCTS controlled training lead to a lower heart rate for both subjects. Power was decreased for subject MN compared to the non-feedback condition, whereas subject KG showed a slight increase.

The decrease of power for subject MN results from the control strategy of the TCTS. During the initial phase of the training, subjects changed their positions at time intervals of 3 min as for the non-feedback condition. When the heart rate of subject MN exceeded its range of tolerance during the leading phases, subjects were advised to change their position at short time. Overall, subject MN cycled a greater a percentage of time at a subsequent position exploiting the slipstream. Therefore, average heart rate was closer at the target value (150 bpm). Furthermore, the heart rate distribution indicates that the maximum heart rate was lower and higher values occurred for a shorter period (fig. 5).

Due to the heterogeneous level of performance within this group, subject KG performed below the desired intensity most of the time during both training conditions. Target values were only reached in a leading position. However, the power distribution indicates that due to the TCTS the percentage of high intensity phases were increased (fig. 6).

Discussion and conclusions

So far, information technologies in the area of on-line monitoring and feedback training had the major focus on the single athlete. In this paper, a new approach is presented that considers the complex interaction between individuals as well. The core item is a flexible, adaptive software architecture that supports the integration of different hardware

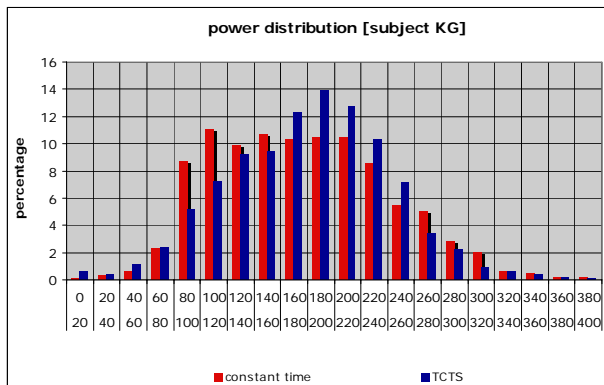


Figure 6. Percentage power distribution for subject KG during the training session with feedback control by the TCTS (blue) and without feedback (red).

(sensors, output peripherals, e.g.) and software components (training routines, e.g.) during runtime. The high flexibility offers a wide range of applications not only in cycling. As example, cyclists with different powermeters are enabled to train in one team. Further, athletes might change their sensors and peripherals as for the transitions from swimming to cycling or from cycling to running in triathlon. In this case, data collection will proceed without interruption or restart of the system. Even the spontaneous formation or splitting of cycling groups can be supported.

The first prototype of the TCTS has been applied successfully. Due to the feedback given by cyclists and trainers the TCTS can substantially support team training. The control algorithm modifies the training load already at moderate exhaustion, whereas traditionally trainers can only interfere if the exhaustion of a cyclist is quite apparent. However, there are several technical limitations. Compared to commercial cycling computers, the UMPCs are quite large. Outdoor training is restricted by battery capacity as well as weather conditions. Moreover, test runs have shown that the advice on the display might be hard to read, especially if the sun is shining. Therefore, a voice output has been implemented alternatively. Besides the integration of new sensors (GPS, inclination sensors, e.g.) future work will be on more adequate output devices.

According to the preliminary results, the TCTS including the indoor simulator as well as the feedback control system can support a more effective

cycling training. So far, further training experiments with youth athletes will be organized. However, the actual training algorithm is quite simple. In a next step, the ranges of tolerance for cyclists of different levels of performance should be optimized. Secondly, the implementation of a more sophisticated algorithm that considers the influence of cardiovascular drift and fatigue is planned (Le, Jaitner & Litz, 2007). Additionally, a comparison of different performance models such as the PerPot-Model (Perl, 2005; Perl & Endler 2006) is taken into account.

References

- Bartelt, C., Fischer, T., Niebuhr, D., Rausch, A., Seidl, F., Trapp, M. (2005) Dynamic Integration of Heterogeneous Mobile Devices. In: *Proceedings of the Workshop in Design and Evolution of Autonomic Application Software (DEAS)*, ICSE 2005, St. Louis
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Human Kinetics, Champaign
- Gregor, R.J., Conconi, F. (2000). *Road Cycling*. Blackwell Science, Oxford.
- Gressmann, M. (2003) *Fahrradphysik und Biomechanik (Cycling Physics and Biomechanics)*. Delius Klasing, Bielefeld.
- Jaitner, T., Trapp, M., Niebuhr, D., Koch, J. (2006) Indoor-simulation of team training in cycling. In: Moritz, E.F., Haake, S. (Hrsg.) *The Engineering of Sport 6. Volume I: Developments for Sports*. (S.103-108) New York: Springer Science + Business Media.
- Jeukendrup, A. E., van Diemen, A. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 16, 91-99.
- Le, A.; Jaitner, T.; Litz, L. (2007) Sensor-based Training Optimization of a Cyclist Group. *Proceedings of 7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 265-270.
- Lindner, W. (2005). *Radsporttraining (Cycling Training)*. BLV, München.
- Litz, L., Wehn, N. and Schuermann, B. (2004) *Research Center "Ambient Intelligence" at the University of Kaiserslautern. VDE Kongress 2004, 1*, 19-24, VDE, Berlin.
- Mognoni P, Sirtori MD, Lorenzelli F, Cerretelli P. (1990). Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(4), 239-43.
- Neumann, G. (2000) *Physiologische Grundlagen des Radsports (Physiological Bases of Road Cycling)*. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 5, 169-175.
- Perl, J., Endler, S. (2006). Training- and Contest-scheduling in Endurance Sports by Means of Course Profiles and PerPot-based Analysis. *International Journal of Computer Science in Sport*, 5 (2), 42-46.
- Perl, J. (2005). Dynamic Simulation of Performance Development: Prediction and optimal Scheduling. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4 (2), 28-37.
- Schmidt, A. (2001). *Handbuch für Radsport (Handbook of Road Cycling)*. Meyer & Meyer, Aachen.
- Stamper, C. (2007) *Design of an Indoor Bicycle Group Training Application*. Unpublished work, University of Kaiserslautern.

This work was founded by the Research Center Ambient Intelligence at the Technical University of Kaiserslautern.

Original article received: 04.02.2008

Revised article received: 11.12.2008

Article accepted: 11.12.2008

Original article published: 22.12.2008