

Techniktraining unter dem Einfluss hoher konditioneller Belastungen

Norbert Olivier, Claudia Augste, Michael Keim, Stefan Klippel

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Olivier, Norbert, Claudia Augste, Michael Keim, and Stefan Klippel. 2001. "Techniktraining unter dem Einfluss hoher konditioneller Belastungen." In *Muskel-Ermüdung: Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft; Zweites Jenaer Kolloquium zur Trainingswissenschaft*, 25./26. Juni 1999, edited by Hans-Alexander Thorhauer, K. Carl, and U. Türk-Noack, 29–57. Köln: Sport und Buch Strauß.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

Deutsches Urheberrecht

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>



Techniktraining unter dem Einfluss hoher konditioneller Belastungen

Norbert Olivier, Claudia Augste, Michael Keim, Stefan Klippel

1 Wo liegt das Problem?

Wie wirken sich hohe konditionelle Belastungen während oder kurz vor einem Techniktraining auf den Erfolg dieses Techniktrainings aus? Dies ist die grundsätzliche Fragestellung, mit der sich dieser Beitrag beschäftigen soll.

Der Erfolg eines Techniktrainings zeigt sich üblicherweise in der sportlichen Bewährungssituation, dem Wettkampf. Es erscheint plausibel, Techniktraining in den gleichen Situationsbedingungen wie die entsprechenden sportlichen Wettkämpfe durchzuführen. In der Motorikforschung wird dies als „specificity-hypothesis“ formuliert (HENRY 1958; MAGILL 1998).

Folgt man diesen Überlegungen, wäre ein Techniktraining in sportlichen Disziplinen, bei denen die Wettkampfbedingungen keine hohen konditionellen Belastungen implizieren, ohne konditionelle Belastungen durchzuführen. Dagegen wären bei einem Techniktraining in Disziplinen, bei denen hohe konditionelle Belastungen Bestandteil der Wettkampfbedingungen sind, entsprechend hohe konditionelle Belastungen auch im Techniktraining zu fordern. Ein Diskuswerfer oder auch ein Hochspringer wird z.B. seine Wurftechnik oder Hochsprungtechnik im Wettkampf kaum unter hohen konditionellen Belastungsbedingungen realisieren müssen. Trotzdem erscheint es denkbar, dass ein Techniktraining unter solchen Bedingungen durchgeführt wird. Konditionelle Belastungen können entweder durch das Techniktraining selbst (hohe Wiederholungszahlen mit geringen Pausen) oder z.B. durch ein vorangegangenes Krafttraining induziert werden.

In vielen Sportarten ist es jedoch der Fall, dass im Wettkampf bei hohen konditionellen Belastungen präzise koordinierte Bewegungen auszuführen sind. Dies gilt z.B. für den Fußballspieler, der in der 85. Spielminute nach einem 50-m-Sprint eine präzise Flanke schlagen soll ebenso wie für die Eiskunstläuferin, die gegen Ende ihrer Kür eine schwierige Sprungkombination bewältigen soll. Exemplarisch wird diese Situation am 400-m-Hürdenlauf verdeutlicht. Wir wissen ungefähr, was sich in der Beinmuskulatur am Ende eines 400-m-Laufes abspielt. Der ATP- bzw. KP-Spiegel ist auf 73 % bzw. 11 % des Ruhewertes reduziert, der muskuläre Laktatgehalt ist auf 17,3 mmol/kg angestiegen (HIRVONEN et al. 1992). Der pH-Wert fällt auf ca. 6,6 ab (COSTILL et al. 1983). Es ist davon auszugehen, dass die Innervation der Beinmuskulatur sich gegenüber den ersten 50 m des Laufes stark gewandelt hat und ihr Schnellkraftniveau auf ca. 60-70 % reduziert ist (z.B. KOMI et al. 1979; OLIVIER 1995). Dies bedeutet, dass der gesamte neuromus-

kuläre Funktions- und Leistungsstatus der Beinmuskulatur am Ende eines 400-m-Laufes gegenüber seinem Beginn dramatisch verändert ist. Man stelle sich jetzt vor, dass in einer solchen Situation – wie beim 400-m-Hürdenlauf erforderlich – die letzte Hürde überquert, d.h. eine komplizierte Bewegungstechnik ausgeführt werden soll. Grundsätzlich erscheint es notwendig, dass die Efferenzen zur Steuerung der Muskelkontraktionen ebenfalls einer Modifikation unterliegen müssen, um bei verändertem neuromuskulären Funktionsstatus den gleichen optimalen Bewegungsablauf oder zumindest einen am aktuellen Funktionsstatus orientierten quasi-optimalen Bewegungsablauf im Sinne des Erreichens des Bewegungszieles zu realisieren.

Der Beitrag soll demnach zwei Problembereiche bearbeiten:

1. Wie wirken sich konditionelle Belastungen auf den Erfolg von Techniktraining aus, wenn in der sportlichen Bewährungssituation keine hohen konditionellen Belastungen wirken?
2. Wie wirken sich hohe konditionelle Belastungen auf den Erfolg von Techniktraining aus, wenn in der sportlichen Bewährungssituation hohe konditionelle Belastungen vorliegen?

Der Beitrag wird zuerst allgemeine trainingswissenschaftliche und sportartspezifische Aussagen zum Thema exemplarisch zusammenstellen, um anschließend einige themenrelevante Ergebnisse der Motorikforschung zu skizzieren. Im dritten Abschnitt wird der in vielen Beiträgen zu unserem Thema benutzte Ermüdungsbegriff kritisiert und der Vorschlag formuliert, das Ermüdungskonzept durch das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept zu ersetzen. Die Kritik am Ermüdungskonzept geht über den engeren Rahmen dieses Beitrages hinaus und bezieht sich generalisierend auf das Tagungsthema. Im vierten Abschnitt werden ein eigener theoretischer Ansatz und hierzu vorliegende experimentelle Befunde dargestellt. Nach einem den aktuellen Forschungsstand zusammenfassenden Zwischenfazit wird abschließend hieraus eine neue Forschungsfrage abgeleitet.

2 Positionen und Befunde

2.1 Allgemeine trainingswissenschaftliche Aussagen

„Jede Übung ist zu wiederholen, bis sie fehlerfrei erfüllt wird oder bis die zu erwartende Wirkung eingetreten ist. Für die Zahl der jeweiligen Wiederholungen sind Ermüdungsgrenze und Konzentrationsvermögen zu berücksichtigen“ (DIEM 1960). Diese Aussage von Carl Diem soll als historischer Ausgangspunkt einer kurzen und exemplarischen Zusammenstellung allgemeiner trainingswissenschaftlicher Aussagen zu beiden Problemfeldern dienen. Sie spiegelt die älteren Aussagen dahingehend wider, dass nicht zwischen den oben genannten Problemfeldern unterschieden wird und ganz grundsätzlich gefordert wird, dass Techniktraining in erholtem bzw. nicht ermüdeten Zustand durchzuführen ist (z.B. GROSSER et al. 1982, 16; HEBESTREIT 1986, 251; LEHNERTZ 1991, 174, 175, 177-

178; LETZELTER 1987, 73; WEINECK 1987, 303). SCHNABEL (1986; 1987) äußert insofern differenziertere Aussagen, dass konditionelle Belastungen in den ersten zwei Lernphasen vermieden, in der dritten Lernphase jedoch gezielt eingesetzt werden sollen. Hier wird unser zweites Problemfeld und die „specificity-hypothesis“ dahingehend einbezogen, dass für die dritte Lernphase gefordert wird, sehr wettkampfnah zu trainieren, um weitere Leistungssteigerungen zu erreichen. Später modifiziert SCHNABEL seine bisherige Auffassung, indem er die Forderung, die energetische Beanspruchung bis in die dritte Lernphase hinein so gering wie möglich zu halten, nicht mehr aufrecht erhält. Höhere energetische Beanspruchungen seien auch in der zweiten Lernphase sinnvoll, mitunter sogar erforderlich (SCHNABEL 1998a, 202). Neumaier fordert die Verbindung von Techniktraining und Konditionstraining unter der Zielstellung, die Koordinationsstruktur der sportlichen Technik gegen physische Ermüdung zu stabilisieren (NEUMAIER 1997, 203-204).

Dieser kurze Überblick zeigt im historischen Verlauf zwei Tendenzen: Zum einen wird von der grundsätzlichen Forderung, Techniktraining immer im nicht ermüdeten bzw. erhaltenen Zustand durchzuführen, abgerückt. Dies ist an der Veränderung von den früheren pauschalen Aussagen zu den differenzierteren Aussagen z.B. von SCHNABEL (1998b) abzulesen. Zum zweiten wird – zumindest als Tendenz erkennbar – unser zweiter Problembereich in den Vordergrund gerückt. Es wird zunehmend thematisiert, wie ein Techniktraining durchzuführen ist, wenn im Wettkampf hohe konditionelle Belastungsbedingungen vorherrschen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die getätigten Aussagen nicht erkennbar auf theoretischen Ansätzen oder vorliegenden experimentellen Befunden basieren.

2.2 Sportartspezifische Befunde und Positionen

Sportartspezifische Befunde, die sich den Effekten von Techniktraining im Sinne unserer beiden Problemstellungen zuwenden, liegen kaum vor.

Die hier trotzdem aufzuführenden Untersuchungen haben gemeinsam, dass der Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung bzw. Bewegungsleistung erhoben wird, und dass aus den erhaltenen Ergebnissen Schlüsse im Sinne unserer beiden Problemstellungen abgeleitet und entsprechende Trainingsempfehlungen formuliert werden. Es wurden Untersuchungen zum Tennis, Schwimmen und Fußball ausgewählt.

WEBER et al. (1986) untersuchten den Blutlaktatgehalt und die Trefferquote bei einem tennisspezifischen Feldstufentest. Eine Ballmaschine spielte die Bälle mit steigender Frequenz (15-32 Bälle/min) abwechselnd auf die Vor- und Rückhandseite. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die Bälle in vorab bestimmte Zielfelder zu spielen. Die Autoren fanden mit steigenden Ballfrequenzen erhöhte Laktatkonzentrationen und verringerten Trefferquoten. In Bezug auf unser erstes Problemfeld schließen sie aus ihren Ergebnissen, dass ein tennisspezifisches Ausdauertraining im extensiven Intensitätsbereich (2-3 mmol/l)

mit einem Techniktraining kombiniert werden kann, da bei einer metabolischen Beanspruchung von mehr als 3 mmol/l die Trefferquote absinkt. Es ist anzunehmen, dass die Autoren diese geringere Leistung während des Techniktrainings vermeiden wollen, um negativen Effekte des Techniktrainings zu umgehen.

Zum zweiten Problemfeld wird nicht Stellung genommen, obwohl konstatiert wird, dass bei hochintensiven Ballwechseln in dichter Folge „Laktatazidosen“ (WEBER u.a. 1986, 152) entstehen können.

GERISCH et al. (1989) untersuchten die Qualität technisch/taktischer Fußball-Spielhandlungen unter hohen konditionellen Belastungen. Drei Testformen (Ball hochhalten, Wandspiel, Torschuss) wurden vor und nach drei Serien à zehn Maximalsprints von 14 m durchgeführt. Die Pause zwischen den Serien betrug eine Minute. Zusätzlich wurde die Blutlaktatkonzentration bestimmt. Die Autoren fanden signifikante Beziehungen zwischen der Laktatkonzentration und den relativen Fehlerhäufigkeiten bei der Durchführung der drei Testformen. Sie schließen aus ihren Befunden, dass Techniktraining unter wettkampftypischen Beanspruchungen durchgeführt werden soll.

HAHN (1992) untersuchte die Veränderungen der Schwimmgeschwindigkeit und der Koordination beim ermüdenden Absolvieren einer Schwimmstrecke (genauere Angaben fehlen leider). Der unter Ermüdungsbedingungen zu konstatierende Geschwindigkeitsabfall wurde auf reduzierte Zykluswege zurückgeführt. In einer „kompensierten Phase der Ermüdung“ (HAHN 1992, 39) wird dies durch eine Frequenzerhöhung ausgeglichen. Aus seinen Ergebnissen leitet er ab, dass die Technik der Schwimmarten sowohl im erholten Zustand als auch unter dem Einfluss von Ermüdung trainiert werden sollte. Hierdurch sollen Technikparameter in unterschiedlichen Belastungsbereichen optimal beherrscht werden.

Die exemplarisch aufgeführten drei Untersuchungen, ihre Ergebnisse und die daraus gefolgerten Trainingsempfehlungen spiegeln die Grundpositionen wider, die für unsere beiden Problemfelder, vorrangig jedoch für das zweite Problemfeld, anzutreffen sind. Während WEBER et al. (1986) aus der belastungsbedingten Reduktion der Trefferhäufigkeit schließen, dass eine Kombination von konditioneller Belastung und Techniktraining nur unterhalb bestimmter Blutlaktatkonzentrationen sinnvoll sei, ziehen GERISCH et al. (1989) aus im Grunde sehr ähnlichen Ergebnissen den genau gegenteiligen Schluss: Techniktraining muss auch unter diesen, die Qualität der technisch-taktischen Spielhandlungen negativ beeinflussenden konditionellen Belastungsbedingungen durchgeführt werden. Die Untersuchung von HAHN (1992) differenziert zwischen dem Einfluss konditioneller Belastungen auf die Zielgröße (hier die Schwimmgeschwindigkeit) und deren Einflussgrößen (hier Frequenz, Zykluswege, Koordination von Teilbewegungen). Sie stellen fest, dass durch die Veränderung der quantitativen Ausprägung von Einflussgrößen die Schwimmgeschwindigkeit bei zunehmender Beanspruchung eine zeitlang aufrecht erhalten werden kann, bis sich letztlich auch die Schwimmgeschwindigkeit verringert. Sie fordern, Techniktraining auch unter hohen konditionellen Belastungsbedingungen durchzuführen, um die kompensatorische Einstellung der Einflussgrößen auf hohe Beanspruchungen zu verbessern.

Sportartspezifische Untersuchungen, die die Effekte von Techniktraining unter unterschiedlichen konditionellen Belastungsbedingungen und in unterschiedlichen sportlichen Bewährungssituationen betrachten, liegen bislang nicht vor. Der Erkenntnisstand der Trainingswissenschaft bzgl. der beiden hier thematisierten Problemfelder ist als hochgradig defizitär zu bezeichnen. Die hohe Verunsicherung der Trainingspraxis ist deshalb gut zu verstehen.

2.3 Befunde der Motorikforschung

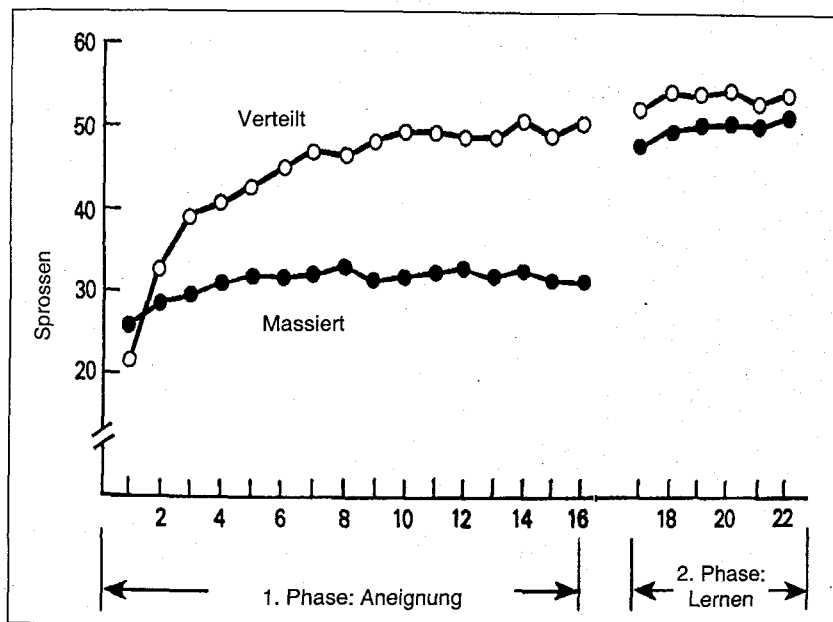


Abb.1: Aneignungs- und Lernleistungen bei verteiltem und massiertem Üben der Bachman-Leiter-Aufgabe (mod. n. STELMACH 1969)

Aus der amerikanischen verhaltensorientierten Motorikforschung sind mehrere experimentelle Untersuchungen bekannt, die den Einfluss von Ermüdung („fatigue“) auf Ausführungsleistungen verschiedener motorischer Aufgaben untersuchen (ALDERMAN 1965; BARTZ et al. 1970; BENSON 1968; CAPLAN 1969; CARRON 1969; CARRON 1972; CARRON et al. 1971; COCHRAN 1975; DWYER 1984; GODWIN et al. 1971; NUNNEY 1963; PACK et al. 1974; PHILLIPS 1962; SCHMIDT 1969; STELMACH 1969; THOMAS et al. 1975; WELCH 1969; WILLIAMS et al. 1975; WILLIAMS et al. 1976; WILLIAMS et al. 1979).

Eine der früheren Untersuchungen, die sich unserem ersten Problemfeld zuwenden, stammt von STELMACH (1969). Die Untersuchung thematisiert eigentlich die Bedeutung von verteiltem und massiertem Üben für den Lernerfolg. Motorische Lernaufgabe war der sogenannte Bachman-Leiter-Test. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, auf einer freistehenden Sprossenleiter so viele Sprossen wie möglich hinaufzusteigen. Gerieten sie aus dem Gleichgewicht, mussten sie abspringen und sofort wieder von vorne beginnen. Pro Versuch hatten sie hierfür 30 Sekunden Zeit. Die verteilt übende Gruppe hatte zwischen den Versuchen jeweils 30 Sekunden Pause, die massiert übende Gruppe hatte keine Pause.

Die Ergebnisse zeigen für eine erste Phase von sechzehn Übungsversuchen einen deutlichen Leistungsvorteil für die verteilt übende Gruppe. Hieraus allerdings den Schluss zu ziehen, dass diese Gruppe mehr gelernt hätte, würde den Tatsachen nicht entsprechen. Nach vier Minuten Pause führten beide Untersuchungsgruppen noch einmal sechs Versuche unter verteilten Übungsbedingungen durch. Sowohl die in der ersten Übungsphase verteilt Übenden, als auch die massiert Übenden liegen jetzt auf einem annähernd gleich hohen und statistisch nicht signifikant unterschiedlichen Leistungsniveau. Dies weist darauf hin, dass der Leistungsvorteil der in der ersten Übungsphase verteilt übenden Gruppe anscheinend nur temporärer Natur ist. Die Ursache hierfür scheint in der hohen konditionellen Belastung der massiert übenden Versuchspersonen zu liegen, die für eine Dauer von acht Minuten ohne Pause so schnell wie möglich Leitersprossen hochsteigen mussten. Es erscheint sehr plausibel, dass unter diesen Bedingungen schon aufgrund der hohen neuromuskulären Beanspruchung mit einer geringeren Leistung gerechnet werden muss. Die nach einer Pause von vier Minuten erbrachten Leistungen beider Untersuchungsgruppen zeigen, dass die in der ersten Übungsphase massiert übende Gruppe trotz der deutlich schlechteren Leistung annähernd genauso viel gelernt hat, wie die verteilt übende Gruppe.

Diese Untersuchung ist aus zweierlei Gründen bemerkenswert. Zum ersten macht sie deutlich, dass wir grundsätzlich unterscheiden müssen, wie sich die während des Techniktrainings gezeigten Leistungen entwickeln bzw. wie sie sich zu einem späteren Zeitpunkt unter veränderten Bedingungen zeigen. Es ist dies nichts anderes als die in der Motorikforschung vielfach als notwendig belegte Differenzierung von Aneignungs- und Lernleistung. Zum zweiten weist diese Untersuchung sehr konkret darauf hin, dass konditionelle Belastungen zwar die Leistungen im Techniktraining negativ beeinflussen können, wenn dieses Techniktraining unter hohen konditionellen Belastungen durchgeführt wird, dass jedoch nach einer Erholungspause diese negativen Effekte weitgehend verschwunden sind (s. Abb.1).

Leider sind die Befunde der oben aufgeführten Autoren nicht einheitlich. Es werden alle denkbaren Effekte gefunden. So finden BENSON (1968), COCHRAN (1975), THOMAS et al. (1975) sowie DICKINSON et al. (1979) teilweise positive Effekte konditioneller Belastungen für die Lernleistung. Negative Effekte finden CAPLAN (1969), GODWIN/SCHMIDT (1971) sowie CARRON (1972). Diese Untersuchungen sind jedoch wegen

methodischer Besonderheiten nur schwer interpretierbar (CAPLAN 1969 und GODWIN/SCHMIDT 1971 statistische Operationalisierung der Lernleistung; CARRON 1972 keine vollständige Erholung zwischen belastet durchgeführtem Techniktraining und der Erhebung der Lernleistung). Die meisten Untersuchungen weisen jedoch keine statistisch bedeutsamen Effekte der experimentell induzierten konditionellen Belastungen auf die nach einer Pause erhobene Lernleistung auf.

Zum zweiten Problemfeld liegen bislang kaum Befunde vor. Eine dieser Untersuchungen (WILLIAMS et al. 1976) soll hier exemplarisch vorgestellt werden, weil die gleiche Lernaufgabe wie bei STELMACH (1969, s. o.) verwendet wird. Zwei Untersuchungsgruppen übten 18 mal für jeweils 20 Sekunden die Bachman-Leiter-Aufgabe. Eine Untersuchungsgruppe wurde vor jedem Versuch mit einer Stufensteige-Aufgabe belastet, die zu einer Herzfrequenz von mindestens 180/min führte. Die andere Untersuchungsgruppe wurde zwischen den Versuchen nicht belastet. Zu einem späteren Zeitpunkt (anderer Untersuchungstag) durchliefen die Untersuchungsgruppen ein weiteres Mal diese Prozedur, diesmal wurden jedoch beide Gruppen zwischen den Versuchen belastet (Lernleistung unter Belastungsbedingungen). Es zeigten sich keinerlei Hinweise auf statistisch bedeutsame Unterschiede bezüglich der unter diesen Bedingungen erhobenen Lernleistung. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch schon BARNETT et al. (1974). Eine Untersuchung der eigenen Arbeitsgruppe zum zweiten Problemfeld wird an späterer Stelle vorgestellt..

Insgesamt muss konstatiert werden, dass bei den wenigen vorliegenden Befunden zum zweiten Problemfeld keinerlei Hinweise darauf gefunden werden, dass ein Techniktraining, das unter konditionellen Belastungsbedingungen durchgeführt wird, Vorteile bzgl. der Lernleistung zeigt, wenn diese ebenfalls unter hohen konditionellen Belastungsbedingungen erhoben wird.

Die zu beiden Problemfeldern aufgeführten Untersuchungen sind methodisch angreifbar. Die Schwächen liegen in der Operationalisierung von „Lernleistung“, und „Ermüdung“ sowie in den nicht berücksichtigten unterschiedlichen Interaktionen zwischen der belastenden Aufgabe und der Lernaufgabe. Da die gravierendsten methodischen Probleme durch die unzureichende Operationalisierung des Konstrukts „Ermüdung“ verursacht werden, soll diesem Aspekt ausführlicher Rechnung getragen werden.

3 Ermüdung, Belastung und Beanspruchung

Unter Ermüdung wird in der Arbeitswissenschaft und den relevanten sportwissenschaftlichen Disziplinen weitgehend übereinstimmend eine belastungsbedingte reversible Verminderung der Leistungs- oder Funktionsfähigkeit verstanden (SCHMIDTKE 1965, 17; FINDEISEN et al. 1980, 237; HARRE 1986, 72; HOLLMANN et al. 1980, 129-130; DE MARÉES 1981, 536; MARTIN 1982, 97; NITSCH 1970, 26-47; NITSCH et al. 1976, 23; SIMONSON et al. 1976, XV; ULMER 1983, 611, jedoch ohne die Reversibilitätskompo-

nente) bzw. der Leistung oder Funktion verstanden (z.B. SCHMIDTKE 1965, 16-18; FINDEISEN et al. 1980, 239; NÖCKER 1980, 37; THIESS et al. 1978, 72-73).

Diese kleine Auswahl meist deutschsprachiger Autoren der letzten Jahrzehnte soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass Ermüdungsphänomene gerade in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts international mit großem Aufwand untersucht wurden (vgl. im Überblick SIMONSON et al. 1976). So wurde auch schon 1921 von MUSCIO die erste fundamentale Kritik geäußert: „Is a fatigue test possible?“ (n. HOLDING 1983, 145). Diese Frage wurde auch später häufig gestellt (z.B. HAIDER 1962; NITSCH 1970; SCHMIDTKE 1965; „Definitionen-Methoden-Dilemma“, UDRIS 1976, 60).

Das erste Problem der o.g. Definitionen liegt im Unterschied zwischen der „Verminderung der Leistung“ und der „Verminderung der Leistungsfähigkeit“ als notwendige Bedingungen der Ermüdung. Beispielhaft sollen diese beiden Ermüdungsverständnisse für den Begriff „muskuläre Ermüdung“ erläutert werden. EDWARDS (1981, 1) schlägt als Definition muskulärer Ermüdung vor: „...a failure to maintain the required or expected force“. BIGLAND-RITCHIE (1981, 85) definiert dagegen muskuläre Ermüdung als „reduction in capacity of the neuromuscular system to generate force to perform work“. An späterer Stelle wird als Zusatz formuliert „regardless of the force required in any given situation“ (BIGLAND-RITCHIE et al. (1984, 691) bzw. „regardless of what type of work is being done“ (BIGLAND-RITCHIE et al. 1983, 197). Nach EDWARDS (s.o.) ist muskuläre Ermüdung an eine Leistungsminderung gekoppelt und daneben abhängig von der zusätzlich definitorisch zu bestimmenden Höhe einer aufzubringenden Kraft. BIGLAND-RITCHIE et al. vermuten dagegen, dass das physiologische Geschehen, das Ermüdung unterliegt, gleichzeitig mit der muskulären Aktivität beginnt, auch wenn es nicht immer beobachtbar ist. Ermüdung wird in diesem Sinne an eine Verminderung der Leistungsfähigkeit gekoppelt. Als Beispiel wird angeführt, dass bei submaximalen Kontraktionen mit zwischenliegenden maximalen willkürlichen Kontraktionen die hierbei erreichte Maximalkraft immer geringer wird (BIGLAND-RITCHIE et al. 1984, 691).

Ermüdung als reversible Verringerung der Leistungsfähigkeit bzw. Kapazität kann auch als Reduzierung konsumptiver energetischer Ressourcen verstanden werden (SCHÖNPFLUG 1986). Jede konditionelle Belastung hätte eine sofortige Ermüdung zur Folge, da jede konditionelle Belastung auf konsumptive Ressourcen zurückgreift. Trotz der sofort bei Belastungsbeginn eintretenden Ermüdung könnte die zu erbringende Leistung aufgrund sofort einsetzender Resyntheseprozesse für eine bestimmte Zeit aufrechterhalten werden. „Verminderung der Leistungsfähigkeit“ könnte auch bedeuten, dass eine bestimmte Leistung nur unter „größerer Anstrengung“, d.h. unter Ausnutzung von Kompensationszusammenhängen (andere konsumptive und strukturelle Ressourcen, SCHÖNPFLUG 1991) erbracht werden kann. Die Leistung bliebe auch in diesem Fall konstant. Ermüdung könnte dann in Kenntnis der Kompensationszusammenhänge durch Bestimmung entsprechender Kompensationsgrößen diagnostiziert werden.

Unabhängig hiervon beinhalten die o.g. Definitionen weitere Schwierigkeiten durch die ungeklärte Frage, welche Belastungen die reversible Verminderung welcher Leistungen/Leistungsfähigkeiten bedingen. Im einfachsten Fall könnte Ermüdung dann vorliegen, wenn eine bestimmte komplexe Belastung zu einer reversiblen Verminderung der Leistung/Leistungsfähigkeit bezüglich gerade dieser Belastung führt (Beispiel: Laufen führt zu einer Ermüdung für Laufen). Sportübergreifend entspricht einem solchen Ermüdungsverständnis die Definition von BARTLETT (1953, 1): „Fatigue is a term used to cover all those determinable changes in the expression in activity which can be traced to the continuing exercise of that activity under its normal operational conditions, and which can be shown to lead, either immediately or after delay, to deterioration in the expression of that activity, or, more simply, to results within the activity that are not wanted“.

Erweitert man das Ermüdungsverständnis auf Situationen, bei denen eine bestimmte komplexe konditionelle Belastung zu einer reversiblen Verminderung verschiedener, auch anderer Leistungen/Leistungsfähigkeiten als bezüglich gerade der die Ermüdung verursachten Belastung führen soll (z.B. motorische Lernleistung), taucht die Frage auf, an welcher zu erbringenden Folgeleistung die mögliche Ermüdung festgemacht werden soll. So beschreibt z.B. BENSON (1968) „ermüdungsbedingte“ gegenläufige, also auch positive Veränderungen zweier motorischer Lernleistungsvariablen (Genauigkeit und Geschwindigkeit).

Aus dieser Darstellung folgt einerseits, dass eine bestimmten Belastungen zuzuordnende generelle Ermüdung nicht angenommen werden kann. Ermüdung kann nur für die Kombination einer bestimmten Belastung mit einer bestimmten Folgeleistung auftreten oder in der Kombination mit verschiedenen Folgeleistungen unterschiedlich zu konstatieren sein. Andererseits wird am Beispiel von BENSON (s.o.) deutlich, dass Ermüdung einem zu kurz greifenden, weil einseitigem Verständnis ausschließlich leistungsnegativer Wirkungen konditioneller Belastungen entspricht. So finden z.B. GÜLLICH u.a. (1995) nach willkürlichen Maximalkontraktionen kurzfristige Steigerungen der Explosivkraft.

Eine Differenzierung „allgemeiner Ermüdung“ in die Ermüdung von Teilsystemen, z.B. „zentrale Ermüdung“ bzw. „periphere Ermüdung“ beseitigt die Definitionsprobleme nicht, da sich grundsätzlich die gleichen Schwierigkeiten zeigen. So zeigen eine Reihe von Befunden Leistungs- und Funktionssteigerungen des ZNS nach konditionellen Belastungen und widersprechen damit der Annahme ausschließlich leistungsnegativer Effekte konditioneller Belastungen auch auf dieser Ebene (vgl. OLIVIER 1991).

Als weiterer Kritikpunkt an der Heranziehung des Ermüdungskonzepts für die hier zu bearbeitende Fragestellung muss die Nichtberücksichtigung individueller Voraussetzungen, insbesondere des Trainingszustandes, angesehen werden. So werden in den oben aufgeführten Arbeiten zur Beschreibung des ermüdenden Treatments häufig Leistungsangaben gemacht, so z.B. Ergometerarbeit mit einer bestimmten Wattzahl für eine bestimmte Zeit oder Stufensteigen bei einer bestimmten Stufenhöhe, einer bestimmten Frequenz und Dauer. Abhängig vom Trainingszustand der Versuchspersonen führt eine solche vorgege-

bene Belastung jedoch zu sehr unterschiedlichen Effekten. Wenn wir dieses Problem als „intra-Untersuchungsproblem“ verstehen, müssten wir als „inter-Untersuchungsproblem“ konstatieren, dass in verschiedenen Untersuchungen zum Einfluss von Ermüdung auf das motorische Lernen das experimentelle Treatment mit höchst unterschiedlichen Belastungsintensitäten und Belastungsdauern induziert wird. Eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen ist damit kaum gegeben. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Ermüdungskonzept zur theoretischen und experimentellen Bearbeitung konditioneller Belastungswirkungen auf das Techniktraining als nicht geeignet angesehen werden muss.

Das arbeitswissenschaftliche Belastungs-Beanspruchungs-Konzept erscheint hierfür besser geeignet. Die Karikatur verdeutlicht die Grundidee des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts: Gleiche Belastungen, in diesem Fall das Gewicht der zu tragenden Last, führen bei unterschiedlichen individuellen Voraussetzungen zu verschiedenen Beanspruchungen (s. Abb. 2).

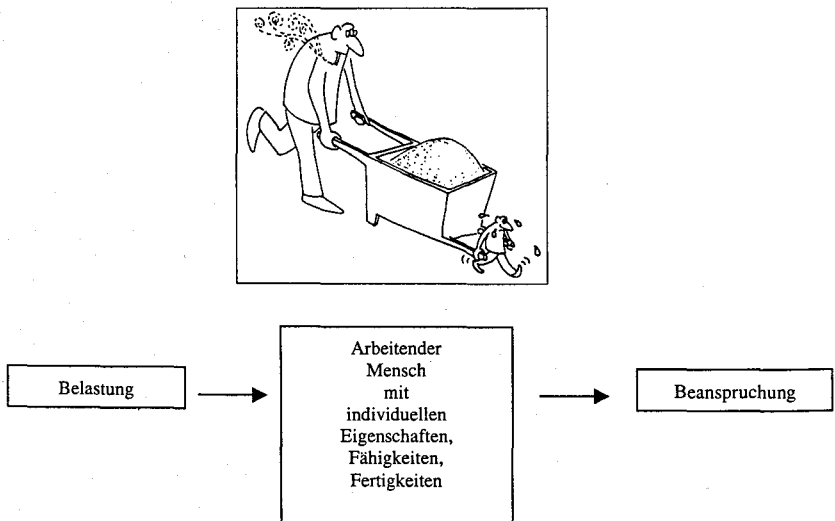


Abb. 2: Karikatur (JENIK o.A. aus LAURIG 1980) und vereinfachtes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (modif. n. ROHMERT 1984, 195)

Als individuelle Voraussetzungen werden von ROHMERT (1983, 10) individuelle Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden. Auf der linken Seite des vereinfachten Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts können die Belastungen weiter ausdifferenziert werden (Komponenten, z.B. Aufgabe, Situation; Arten, z.B. konditionell, informativ; Höhe, z.B. Intensität, Dauer; zeitliche Abfolge, simultan, sukzessiv) (modif. n. ROHMERT 1984, 195). Dieses Belastungsgefüge, ROHMERT (1984, 196) nennt es die „Komposition der Teilbelastung“, führt auf der rechten Seite des Modells zu ver-

schiedenen Teilbeanspruchungen. Diese Teilbeanspruchungen beziehen sich auf die Beanspruchung unterschiedlicher Komponenten oder Teilsysteme des Menschen, die objektiv mit geeigneten Messverfahren direkt gemessen oder über das subjektive Erleben der beanspruchten Person erfasst werden können. Unter „deduktiver Beanspruchungsermittlung“ versteht ROHMERT (s.o.) das Heranziehen eines theoretischen Konstrukts, z.B. einer Fähigkeit (modellorientierter Beanspruchungsbegriff), die durch Belastungen verschieden stark ausgeschöpft werden kann. Die üblicherweise im Krafttraining als Intensitätsvorgaben anzutreffenden Prozentwerte der isometrischen Maximalkraft stellen nach diesem Verständnis eine deduktive Beanspruchungsvorgabe vor. „Induktive Beanspruchungsermittlung“ bezieht sich demgegenüber auf einen phänomenorientierten Beanspruchungsbegriff. Der Grad der Beanspruchung zeigt sich hier in der Dynamik physiologischer Variablen bei Belastung (ROHMERT 1984, 197). Als Beispiele mögen die häufig bei Ausdauerleistungen angegebenen Blutlaktatkonzentrationen (anaerob glykolytische Beanspruchung) bzw. Herzschlagfrequenzen (Herz-Kreislauf-Beanspruchung) gelten.

4 Der eigene theoretische Ansatz und experimentelle Befunde

4.1 Das Drei-Faktoren-Modell

Zielstellung des theoretischen Ansatzes ist es, den Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung und die Ausführungsleistung zu erklären. Ein solcher Erklärungsansatz ist als Basis für weitere Überlegungen deshalb notwendig, weil sich in den bislang vorliegenden Untersuchungen der Motorikforschung Tendenzen negativer Effekte konditioneller Belastungen auf die Lernleistung nur dann gezeigt haben, wenn zuvor schon leistungsmindernde Effekte der konditionellen Belastung auf die Bewegungsausführung in der Aneignungsphase auftraten. Anschließend können dann theoretische Ansätze zum motorischen Lernen aufgeschaltet und zu experimentellen Hypothesen verarbeitet werden.

Konditionelle Belastungen führen nach unserem Drei-Faktoren-Modell (s. Abb. 3) zu zentralnervösen und neuromuskulären Beanspruchungen. Beide Beanspruchungskategorien sind physiologisch kaum trennbar. Ähnlich wie bei der Sensorik und der Motorik, zwei ebenfalls physiologisch kaum trennbaren Kategorien, dient die modellhafte Differenzierung dem besseren analytischen Zugriff. Die Gehirndurchblutung HOLLMANN et al. 1996) und das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (z.B. WIEMEYER 1996) stellen Beispiele für zentralnervöse Beanspruchungsgrößen, der muskuläre Kreatinphosphatgehalt (z.B. HARRIS et al. 1976) und das Schnellkraftniveau (OLIVIER 1995) Beispiele für neuromuskuläre Beanspruchungsgrößen dar. Die Heranziehung des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts vermeidet an dieser Stelle neben anderen Problemen des Ermüdungskonzepts besonders die a priori einseitige Negativität der Belastungseffekte und berücksichtigt andererseits individuelle Faktoren der Belastungsreaktionen.

Wie sich die vorliegenden zentralnervösen und neuromuskulären Beanspruchungen auf die Bewegungsausführung auswirken, hängt stark von der gestellten motorischen Aufgabe ab. Motorische Aufgaben stellen spezifische Anforderungen an zentralnervöse Teilsysteme und an neuromuskuläre Teilsysteme. Je nach dem, wie die Anforderungen der motorischen Aufgabe mit dem durch die konditionellen Belastungen veränderten Funktionsstatus der beanspruchten Teilsysteme in Beziehung stehen, werden die konditionellen Belastungen keine Auswirkungen, positive Auswirkungen oder negative Auswirkungen auf die Bewegungsausführung bei der Lösung der motorischen Aufgabe besitzen.

Wenn wir z.B. auf der linken Seite des Modells als Beanspruchungsgröße das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau herausgreifen und annehmen, dass unsere motorische Aufgabe ein gegenüber Ruhebedingungen erhöhtes Aktivierungsniveau erfordert, könnten wir von einer positiven Beeinflussung der Bewegungsausführung durch konditionelle Belastungen ausgehen, da diese bei einer Dauer von bis zu 30 Minuten eine Erhöhung des Aktivierungsniveaus zur Folge haben (s. 4.2.1).

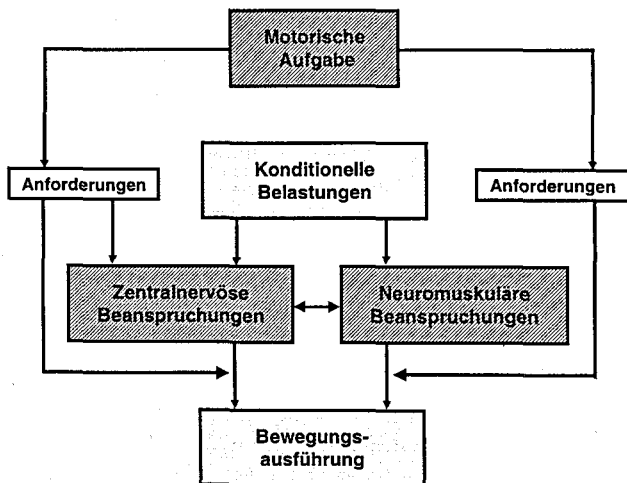


Abb. 3: Schematische Darstellung des Drei-Faktoren-Modells¹ zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung (OLIVIER 1997c)

Wenn wir auf der rechten Seite des Modells als deduktive neuromuskuläre Beanspruchungsgröße das Schnellkraftniveau annehmen, sind folgende Möglichkeiten denkbar:

- a) Die konditionelle Belastung beansprucht nicht die gleichen Muskelgruppen wie die motorische Lernaufgabe. In diesem Fall, z.B. im Volleyballtraining mit einer konditionellen Belastung durch „Japan-Sprints“ und einer vorrangigen Beanspruchung der Beinextensoren wird ein anschließendes Techniktraining mit der Zielstellung der

Verbesserung der Zielpräzision des oberen Zuspiels über kurze bis mittlere Entfernungen im Stand, d.h. ohne nennenswerte Beanspruchung der Beinextensoren, nicht beeinflussen (s. 4.2.1).

Wenn die konditionelle Belastung und die Anforderungen der motorischen Aufgabe zur Beanspruchung der gleich Muskelgruppen führen, können zwei weitere Situationen unterschieden werden:

- b) Zum einen können die Anforderungen einem Maximaltrend unterliegen. Dies wäre der Fall, wenn die motorische Aufgabe mit höherem Schnellkraftniveau besser gelöst bzw. bei schlechterem Schnellkraftniveau schlechter gelöst werden kann. Im Sprintstart-Training mit der Zielstellung der Verbesserung der 5-m-Zeit wird z.B. jede Verringerung des Schnellkraftniveaus der Beinextensoren zu einer entsprechenden Verschlechterung der Bewegungsausführung und der produzierten Bewegungsleistung führen (s. 4.2.3).
- c) Zum anderen können zum Erreichen optimaler Bewegungsausführungen submaximale Mindestwerte des Schnellkraftniveaus ausreichend sein. So ist z.B. für das Erzielen optimaler Bewegungsausführungen einer turnerischen Schwebekippe ein bestimmtes submaximales Schnellkraftniveau der Hüftbeuger notwendig. Das gleiche gilt für das Training von Eck- oder Freistößen im Fußball mit der Zielstellung der Zielpräzision. Eine Beeinträchtigung der Bewegungsausführung wird in dieser Situation nur vorliegen, wenn die benötigten submaximalen Mindestwerte des Schnellkraftniveaus nach konditionellen Belastungen nicht mehr erreicht werden (s. 4.2.2).

4.2 Experimentelle Befunde

Im Zusammenhang mit dem Drei-Faktoren-Modell wurden bislang eine beträchtliche Anzahl experimenteller Untersuchungen durchgeführt. Hierbei wurden drei Schritte vollzogen:

- 1) Laborexperimentelle Untersuchungen zu den Beanspruchungseffekten unterschiedlicher konditioneller Belastungen;
- 2) Laborexperimentelle Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Kombinationen von konditionellen Belastungen und motorischen Aufgaben auf die Bewegungsausführung;
- 3) Feldexperimentelle Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Kombinationen von konditionellen Belastungen und motorischen Aufgaben auf die Bewegungsausführung

4.2.1 Der erste Schritt

In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie sich verschiedene konditionelle Belastungen auf die zentralnervöse Beanspruchungsgröße „allgemeines zentralnervöses Aktivierungsniveau“ und die neuromuskuläre Beanspruchungsgröße „Schnellkraftniveau“ auswirken. Diese beiden Beanspruchungsgrößen wurden deshalb zentral thematisiert, weil sie im

Rahmen einer systematischen Analyse der vorliegenden Befunde (s. 2.3) zusammen mit der motorischen Aufgabe als die bedeutendsten Einflussgrößen erkannt worden waren. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchungen, dass maximale konditionelle Belastungen (bis zum erschöpfungsbedingten Abbruch) mit einer Dauer von bis zu 30 Minuten zu einer Erhöhung des Aktivierungsniveaus führen. Hinweise auf zentralnervöse Ermüdungseffekte werden nicht gefunden (OLIVIER et al. 1992). Das Schnellkraftniveau wird von maximalen konditionellen Belastungen (ebenfalls bis zum erschöpfungsbedingten Abbruch) reduziert. Die Höhe der Reduktion und die Dauer der Erholung steigen mit zunehmender Intensität und verringerter Dauer der maximalen konditionellen Belastungen. Das Schnellkraftniveau anderer als von der maximalen konditionellen Belastung beanspruchter Muskelgruppen wird nicht reduziert (OLIVIER 1995; OLIVIER 1996a).

4.2.2 Der zweite Schritt

Im zweiten Schritt wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, bei denen auf der Seite der unabhängigen Variablen verschiedene konditionelle Belastungen mit unterschiedlichen motorischen Aufgaben kombiniert wurden. Die konditionelle Belastungen wurden so ausgewählt, das als zentralnervöse Beanspruchungen spezifische Veränderungen des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus und als neuromuskuläre Beanspruchungen spezifische Effekte des Schnellkraftniveaus resultierten. Diese konditionellen Belastungen mit ihren verschiedenen Beanspruchungseffekten wurden mit motorischen Aufgaben kombiniert, die unterschiedliche Anforderungen an das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau und das Schnellkraftniveau stellen. Auf diese Weise sind die aus dem Drei-Faktoren-Modell abzuleitenden Hypothesen bzgl. des Einflusses konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung prüfbar. Hypothesen, die sich darüber hinaus den Effekten konditioneller Belastungen auf motorische Lernleistungen zuwenden, können erst dann formuliert werden, wenn die Voraussagen des Drei-Faktoren-Modells mit denen einer geeigneten motorischen Kontroll- und Lerntheorie in Beziehung gesetzt werden. Dies wurde mit der GMP- und Schema-Theorie (SCHMIDT 1975; SCHMIDT 1982; SCHMIDT 1988) versucht („Parameterregulations-Hypothese“, OLIVIER 1996b, 195).

Motorische Aufgabe: Das Realisieren einer vorgegebenen submaximalen Flughöhe des Körperschwerpunktes beim beidbeinigen vertikalen Sprung ohne Armschwung.

Unterschiedliche Anforderungen dieser motorischen Aufgabe wurden durch verschiedene zu realisierende Flughöhen des Körperschwerpunktes (40 % bzw. 90 % der max. Körperschwerpunkt-Flughöhe) berücksichtigt. Die Körperschwerpunkt-Flughöhe wurde dynamometrisch mit der Beschleunigungskraftstoß-Methode ermittelt. Zu verschiedenen Messzeitpunkten wurden Sprungserien mit jeweils vier Sprüngen durchgeführt: Ausgangsniveau (A, vor den konditionellen Belastungen), Optimierungsserie 1-3 (O1-O3, drei Serien mit jeweils vorgeschalteten konditionellen Belastungen), KR-Transfer (KR-T, Wegfallen der Rückmeldung des erzielten Ergebnisses, „knowledge of result“), Auf-

gabentransfer (AT, Wechsel der vorgegebenen Flughöhe des Körperschwerpunktes auf 65 % der Maximalhöhe), Behalten (B, nach 10 Minuten) und Belastungstransfer (BT, nach wiederum vorgeschalteter konditioneller Belastung). Zentrale abhängige Variablen waren der mittlere absolute (AE, absolute Soll-Ist-Diskrepanz in cm) und konstante Fehler (CE, Soll-Ist-Diskrepanz in cm mit Berücksichtigung des Vorzeichens) einer Sprungserie. Die Versuchspersonen unterzogen sich maximaler sechsminütiger (vor der ersten Optimierungsserie) bzw. einminütiger (vor der zweiten und dritten Optimierungsserie und vor dem Belastungstransfer) fahrradergometrischer bzw. handkurbelergometrischer Belastungen.

In einer ersten Untersuchung wurden handkurbelergometrische Belastungen verwendet. Diese Belastungen führen zu einem Anstieg des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus, jedoch zu keinerlei Beeinflussung des Schnellkraftniveaus der für die motorische Aufgabe wichtigen Muskelgruppen. Die Ergebnisse zeigen, dass handkurbelergometrische Belastungen bei keinem der untersuchten Messzeitpunkte zu einer Veränderung der Ausführungs- bzw. Lernleistung führen (der Messzeitpunkt „Belastungstransfer“ wurde bei dieser Untersuchung nicht eingesetzt).

In einer zweiten Untersuchung wurden fahrradergometrische Belastungen mit der Variante der motorischen Aufgabe kombiniert, die geringere Anforderungen an das Schnellkraftniveau der Beinextensoren stellt, das Erreichen von 40 % der maximalen Körperschwerpunkt-Flughöhe. Die hier verwendeten fahrradergometrischen Belastungen führen zu ähnlichen Anstiegen des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus wie die oben beschriebenen handkurbelergometrischen Belastungen. Zusätzlich führen sie jedoch zu einer Reduktion des Schnellkraftniveaus der Beinextensoren, also derjenigen Muskelgruppe, die hauptsächlich für die erfolgreiche Lösung der motorischen Aufgabe verantwortlich ist. Da 40 % der maximalen Körperschwerpunkt-Flughöhe auch nach den hier angewendeten fahrradergometrischen Belastungen erreicht werden, können die Anforderungen dieser motorischen Aufgabe grundsätzlich erfüllt werden.

Die Ergebnisse zeigen wie bei handkurbelergometrischer Belastung keinerlei Hinweis auf einen die Ausführungs- oder die Lernleistung beeinflussenden Effekt der konditionellen Belastung (s. Abb. 4). In einer dritten Untersuchung wurde als motorische Aufgabe das Erreichen von 90 % der maximalen Körperschwerpunkt-Flughöhe herangezogen. Die durch die fahrradergometrische Belastung induzierte Erhöhung des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus und die Reduktion des Schnellkraftniveaus der Beinextensoren können im Verhältnis zur vorangegangenen Untersuchung als gleich angesehen werden. Die Kombination dieser Beanspruchungseffekte mit der veränderten motorischen Aufgabe bedeutet jedoch, dass die Anforderungen an das Schnellkraftniveau der Beinextensoren während der Optimierungsserien nicht erfüllt werden können. Versuchspersonen sind nach den hier gewählten fahrradergometrischen Belastungen nicht in der Lage, 90 % ihrer maximalen Körperschwerpunkt-Flughöhe zu realisieren.

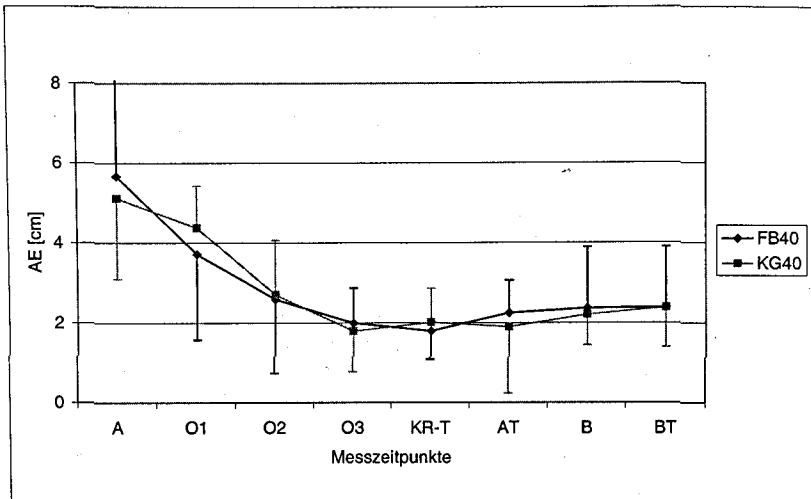


Abb. 4: Der Verlauf des absoluten Fehlers (AE) bei der Versuchsgruppe mit fahrrad-ergometrischen Belastungen und der Kontrollgruppe, motorische Aufgabe „40 %“

Die Ergebnisse zeigen für die drei Optimierungsserien das erwartete Ergebnis. Der CE geht von O1-O3 zunehmend in den negativen Bereich. Im weiteren Verlauf zeigen die Ausführungs- bzw. Lernleistungen der belasteten Versuchsgruppe und einer unbelasteten Kontrollgruppe eine deutliche Tendenz zur Annäherung. Zu den Messzeitpunkten „Behalten“ und „Belastungstransfer“ sind keine statistisch bedeutsamen Unterschiede feststellbar (s. Abb. 5).

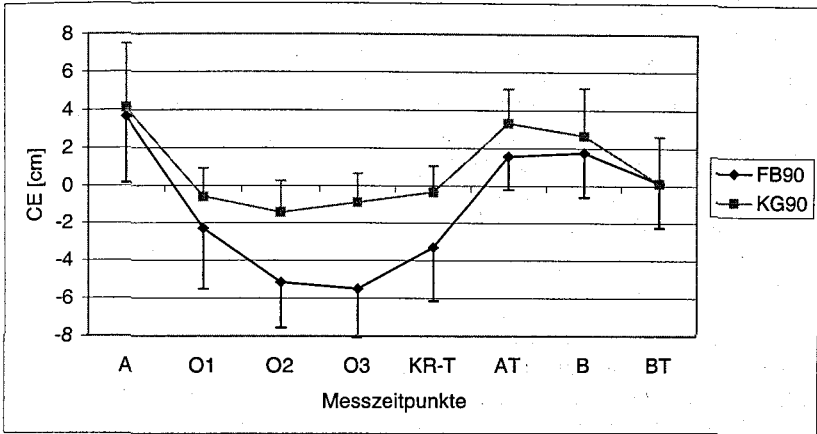


Abb. 5: Der Verlauf des konstanten Fehlers (CE) bei der Versuchsgruppe mit fahrrad-ergometrischen Belastungen und der Kontrollgruppe, motorische Aufgabe „90 %“

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild: Wenn die konditionellen Belastungen andere Muskelgruppen beanspruchen als die motorische Aufgabe, treten keinerlei Beeinflussungen von Ausführungs- bzw. Lernleistungen auf. Dies wird darauf zurückgeführt, dass einerseits die Reduktion des Schnellkraftniveaus nach maximalen konditionellen Belastungen lokaler Natur ist und andererseits die durch maximale konditionelle Belastungen induzierte Erhöhung des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus nicht ausreicht, um Ausführungs- bzw. Lernleistungen positiv zu beeinflussen.

Wenn die konditionellen Belastungen die gleichen Muskelgruppen beanspruchen wie die motorische Aufgabe, diese Anforderungen ihrer Quantität nach jedoch erfüllt werden können, zeigen sich keinerlei Effekte bzgl. der Ausführung- bzw. Lernleistung. Können die Anforderungen der motorischen Aufgabe an das Schnellkraftniveau der beteiligten Muskelgruppen aufgrund konditioneller Belastungswirkungen nicht erfüllt werden, zeigt sich ein negativer Ausführungseffekt unter den akuten Belastungswirkungen. Nach einer ausreichenden Erholungspause des Schnellkraftniveaus zeigen sich jedoch keine negativen Lerneffekte.

Die bis hier zusammengefassten Ergebnisse beziehen sich zum einen auf unseren ersten Problembereich. Techniktraining unter hohen konditionellen Belastungsbedingungen führt nur dann zu verschlechterten Ausführungsleistungen, wenn die konditionellen Belastungen die gleichen Muskelgruppen beanspruchen wie die motorische Aufgabe und wenn die Anforderungen der motorischen Aufgabe an das durch die konditionellen Belastungen reduzierte Schnellkraftniveau nicht erfüllt werden. Aber selbst dann, und das ist das Bemerk-

kenswerte, zeigen sich zu späteren Zeitpunkten, bei denen die konditionellen Belastungen nicht mehr akut wirken, keinerlei negative (Lernleistungs-) Effekte.

Die Ergebnisse des Messzeitpunktes „Belastungstransfer“ beziehen sich dagegen auf unseren zweiten Problembereich. Es werden keinerlei Hinweise darauf gefunden, dass sich ein Techniktraining unter konditionellen Belastungen gegenüber unbelastet durchgeführten Techniktraining positiv auf die Lernleistung auswirkt, wenn diese unter konditionellen Belastungsbedingungen erhoben wird. Die „specificity-hypothesis“ wird von unseren Ergebnissen nicht bestätigt.

4.2.3 Der dritte Schritt

Die Problemstellung unserer experimentellen Felduntersuchung bezog sich auf die Effekte eines während der Aneignungsphase der leichtathletischen Tiefstarttechnik reduzierten Schnellkraftniveaus der Beinextensoren auf Aneignungs- und Lernleistungen. Die konkrete motorische Aufgabe bestand in der Minimierung der 5-m-Zeit. Die leistungsrelevanten Muskelgruppen für diese Bewegungsaufgabe sind die Beinextensoren. Für eine maximale Ausführungsleistung (minimale Zeit) wird ein maximales Schnellkraftniveau der Beinextensoren benötigt.

Versuchspersonen waren 18 Schüler und Schülerinnen, die dem Nachwuchskader des Saarländischen Leichtathletik-Bundes angehören. Die 5-m-Zeit wurde mittels eines Startblockschalters, der mit einem Lichtschrankensystem gekoppelt war, ermittelt.

Die Belastung bestand aus Hock-Streck-Sprüngen mit Anhocken in der Luft, die bis zum erschöpfungsbedingten Abbruch durchgeführt wurden. Um sicherzustellen, dass die Aneignungsphase unter reduziertem muskelgruppenspezifischen Schnellkraftniveau absolviert wird, wurden in einer Voruntersuchung Reduktion und Erholungsverlauf des Schnellkraftniveaus ermittelt, um daraus die zeitliche Struktur der einzelnen Aneignungsreihen abzuleiten (ausführlich DILLINGER 1997, s. u.).

Den experimentellen Überlegungen lag ein dreifaktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung auf zwei Faktoren zugrunde. Der Faktor „Konditionelle Belastung“ war zweifach gestuft (ohne konditionelle Belastung = KG bzw. mit konditioneller Belastung = VG); der Faktor „Messzeitpunkt“ war siebenfach gestuft und bezog sich auf Serien einer unterschiedlichen Anzahl an Tiefstarts (zwischen zwei und vier). Als Gruppierungsfaktor diente der Faktor „Reihenfolge“, der zweifach gestuft war (erster Untersuchungstermin ohne konditionelle Belastung, zweiter mit konditioneller Belastung bzw. umgekehrt). Die sieben Messzeitpunkte umfassten vier Aneignungsreihen, den KR-Transfer sowie zwei Behaltentests. Konkret sah der Untersuchungsablauf wie folgt aus: Nach einem 30minütigen leichtathletikspezifischen Aufwärmprogramm wurde das Ausgangsniveau als Mittelwert der 5-m-Zeiten zweier Starts ermittelt. Die Aneignungsphase umfasste drei Serien, wobei die Vpn der Versuchsgruppe vor jeder Aneignungsreihe belastet wurden. Die informationelle Gestaltung erfolgte nach kombinierter Soll-/Istwert-Information (Videoinstruktion

bzw. Lehrbildreihe der Idealtechnik eines DLV-Sprinters/Knowledge of Performance = KP). In der ersten Serie wurde nach jedem Start informiert, in den folgenden nach jedem zweiten. Zusätzlich zu dieser Information gab es verbale Aufmerksamkeitslenkung auf Defizite der individuellen Technik (vgl. OLIVIER 1994). Nach jedem Start wurden den Vpn die 5-m-Zeit mitgeteilt (KR). Im unmittelbaren Anschluss an die Aneignungsserien wurden zwei Starts ohne KR und KP durchgeführt (KR-Transfer; wir nutzen im weiteren diesen Terminus, der auch den KP-Transfer miteinschließen soll). Nach einem Zeitraum von zehn Minuten, der ein verkürztes Aufwärmprogramm beinhaltete, um Abkühlungseffekte zu vermeiden, waren zwei weitere Tiefstarts zu absolvieren (Behalten 1). Zwei letzte Tiefstarts wurden nach einer Woche (Behalten 2) durchgeführt. Sie erfolgten im Anschluss an das o.g. Aufwärmprogramm.

Die Ausführungsleistungen wurden jeweils als Mittelwert der Starts einer Serie berechnet.

Die VG zeigt über die Aneignungsserien eine schlechtere Aneignungsleistung als die KG. Dies wird auf das durch die Hock-Streck-Sprünge reduzierte muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau zurückgeführt.

Im Zeitraum von Aneignungsserie 3 zu Behalten 1 war eine Verbesserung der 5-m-Zeit der VG zu verzeichnen. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass dieser Zeitabschnitt für die VG eine „Regenerationsphase“ darstellt. Das reduzierte muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau unterliegt einem Erholungsprozess.

Die 5-m-Zeit verbessert sich vom Ausgangsniveau zum Messzeitpunkt Behalten 2 unabhängig von der Zugehörigkeit zu KG bzw. VG. Dies bedeutet zum einen, dass durch die Trainingsprozedur ein statistisch bedeutsamer Lerneffekt erreicht wurde, zum anderen, dass dieser Lerneffekt nicht durch die konditionelle Belastung beeinträchtigt wurde (s. Abb. 6, vgl. OLIVIER et al. 1997a; 1997b).

Zu unserem ersten Problembereich konnten hiermit die laborexperimentellen Befunde feldexperimentell bestätigt werden. Es handelt sich jedoch um mehr als eine Verlegung der Experimentalsituation vom Labor in die Leichtathletikhalle. Für diese feldexperimentelle Untersuchung wurde eine motorische Aufgabe gewählt, die maximale Anforderungen an das Schnellkraftniveau der belasteten Muskelgruppe stellt (s. 4.1). Damit wurde eine Kombination von motorischer Aufgabe und konditioneller Belastung herangezogen, die in den bislang durchgeführten laborexperimentellen Untersuchungen nicht berücksichtigt wurde.

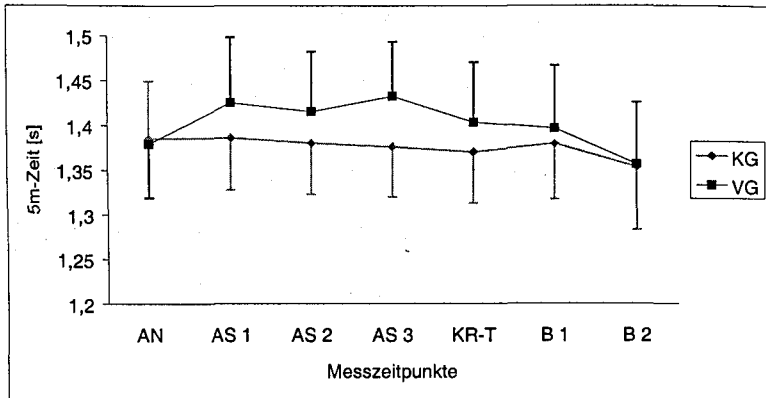


Abb. 6: Verlauf der 5-m-Zeiten der belasteten Versuchsgruppe und der unbelasteten Kontrollgruppe.

5 Zwischenfazit

Die bisherige Befundlage weist eine deutliche Tendenz auf: Die während eines Techniktrainings wirkenden konditionellen Belastungen bzw. die hieraus resultierenden Beanspruchungen beeinflussen die Bewegungsausführung und Ausführungsleistung nur temporär. Eine Beeinflussung des „Gelernten“, also derjenigen Ausführungsleistung, die nach einer Erholungspause entweder unter konditionell belasteten oder auch unbelasteten Bedingungen durchgeführt wird, ist nicht festzustellen.

Für die temporäre Beeinflussung der Ausführungsleistung sind in erster Linie neuromuskuläre Beanspruchungen verantwortlich. Der Stellenwert belastungsbedingter Veränderungen des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus muss stark relativiert werden. Reduktionen des Aktivierungsniveaus, die auf zentralnervöse Ermüdungsprozesse hinweisen können, wurden auch bei erschöpfenden konditionellen Belastungen bis zu 30 Minuten Dauer nicht gefunden. Grundsätzlich wurden vielmehr Anstiege des Aktivierungsniveaus registriert, die jedoch die Ausführungsleistung nicht beeinflussen. Hierfür scheint die nur geringe Quantität der durch konditionelle Belastungen verursachten Veränderung des Aktivierungsniveaus verantwortlich zu sein. Damit wird jedoch nicht die Bedeutung der Aktivierung als grundsätzliche Leistungsvariable in Frage gestellt. Ebenso wenig soll ausgeschlossen werden, dass andere zentralnervöse Beanspruchungsgrößen in unserem Zusammenhang eine Rolle spielen, obwohl einige von ihnen durchaus ähnliche Belastungsreaktionen aufweisen (z.B. HOLLMANN et al. 1996; WIEMEYER et al. 1991; s.a. 6).

Neuromuskuläre Beanspruchungen beeinflussen die Bewegungsausführung und Ausführungsleistung nur dann, wenn sie die gleichen Muskeln oder Muskelgruppen betreffen wie die motorische Aufgabe. Sie können sich auf die Ausführungsleistung positiv (z.B. bei submaximalen fahrradergometrischen Belastungen von 30 Minuten Dauer auf die Sprunghöhe) oder negativ (z.B. bei erschöpfenden fahrradergometrischen Belastungen von einer Minute auf die maximale Sprunghöhe) auswirken. Negative Effekte treten auf, wenn a) jede belastungsbedingte Reduktion des neuromuskulären Funktionszustandes zu einer Reduktion der Ausführungsleistung führt (Maximaltrend zwischen neuromuskulärem Funktionszustand und Ausführungsleistung, z.B. neuromuskulärer Funktionszustand der Beinextensoren und motorische Aufgabe „vertikaler Maximalsprung“ oder „Minimierung der 5-m-Zeit beim Sprintstart“), oder wenn b) submaximale Anforderungen der motorischen Aufgabe an die Kraft der entsprechenden Muskeln oder Muskelgruppen durch eine belastungsbedingte Reduktion des neuromuskulären Funktionszustandes nicht mehr erfüllt werden (z.B. Reduktion des neuromuskulären Funktionszustandes der Beinextensoren und motorische Aufgabe „Vertikalsprung mit 90 % der maximalen Sprunghöhe“).

Der Erfolg von Techniktraining scheint dagegen von den konditionellen Belastungsbedingungen des Techniktrainings unabhängig zu sein. Zumindest für unseren ersten Problembereich (keine hohen konditionellen Belastungen in der sportlichen Bewährungssituation) ist die Tendenz der experimentellen Befundlage eindeutig. Sie erlangen eine nicht zu unterschätzende praktische Bedeutung, die nicht nur in der damit offeneren Gestaltung der Reihenfolge von Konditions- und Techniktraining im Rahmen einer Trainingseinheit liegt. Sie betrifft auch konditionelle Belastungen, die das Techniktraining selbst beinhaltet. Eine durch konditionelle Belastungen bedingte schlechtere Bewegungsausführung muss nicht Abbruchkriterium des Techniktrainings sein. Diese schlechtere Bewegungsausführung kann auf kurzfristig wirkende Belastungseffekte zurückgeführt werden, die keine negativen Effekte für den Lernprozess haben müssen. Es können somit relativ hohe Umfänge im Techniktraining innerhalb einer Trainingseinheit absolviert werden. Entscheidend ist hierbei, dass der Trainer dem Athleten Informationen über relevante Bewegungsmerkmale in geeigneter Weise aufbereitet und nahe bringt.

Die trainingspraktischen Überlegungen sollten allerdings einige zusätzliche Aspekte berücksichtigen. Möglicherweise ist der Könnensstand der Trainierenden bezüglich der Lernaufgabe zu berücksichtigen. In absoluten Neulernsituationen, in denen die Trainierenden die motorische Lernaufgabe auch strukturell noch nicht beherrschen, sollten die konditionellen Belastungen nicht dazu führen, dass eine strukturell richtige Bewegungsausführung unmöglich wird. Hierzu liegen jedoch bislang keinerlei Befunde vor.

Zusätzlich sollten motivationale Effekte bedacht werden. Es wäre denkbar, dass ein Athlet demotiviert wird, wenn er keine unmittelbare Verbesserung seiner Technik feststellen kann. Mögliche Folge wäre, dass er sein Training nicht mehr konzentriert durchführt bzw. ganz abbricht. Dies sollte vor allem dann eintreten, wenn der Athlet nicht die möglichen Ursachen einer schlechteren Aneignungsleistung kennt und weitergehend aus dieser auf

eine Ineffektivität des Techniktraining schließt. Es ist daher zu fordern, dass bei einem Techniktraining unter konditionellen Belastungsbedingungen der Trainer dem Athleten verdeutlicht, dass die unmittelbare Leistung durch konditionelle Belastungen vermindert sein kann. Der Trainer sollte die Relevanz der längerfristig gesteigerten Lernleistung hervorheben.

Zu bedenken ist außerdem, ob bei einem Techniktraining unter hohen konditionellen Belastungsbedingungen verletzungsprophylaktische Maßnahmen zu ergreifen sind.

Im Gegensatz zu unserem ersten Problembereich ist die Befundlage für den zweiten Problembereich sehr dürrtig. Die wenigen vorliegenden experimentellen Untersuchungen weisen jedoch entgegen allen Plausibilitätsüberlegungen der Trainingslehre und entgegen der „*specificity-hypothesis*“ der Motorikforschung darauf hin, dass Techniktraining unter konditionellen Belastungsbedingungen gegenüber unbelastet durchgeführtem Techniktraining keine Vorteile bei Erhebung der Lernleistung unter konditionellen Belastungsbedingungen aufweist. Für praktische Empfehlungen zum zweiten Problembereich ist die Befundlage allerdings als noch nicht ausreichend einzuschätzen. Hierzu wären die Forschungsbemühungen zu verstärken und in ihrer Hauptstoßrichtung dahingehend zu modifizieren, dass schwerpunktmäßig der Frage nachgegangen wird, wie hohe neuromuskuläre Beanspruchungen die motorische Kontrolle beeinflussen. Erst wenn unser Verständnis der motorischen Kontrolle die Effekte hoher neuromuskulärer Beanspruchungen stärker berücksichtigt, kann ein besseres Verstehen des Einflusses hoher konditioneller Belastungen auf den Erfolg von Techniktraining gewährleistet werden. Das Gewicht trainingspraktischer Empfehlungen wird stark von der Qualität dieses Verstehens abhängig sein.

6 Eine neue Forschungsfrage: Wie beeinflussen neuromuskuläre Beanspruchungen die motorische Kontrolle?

Als Ausgangssituation in Bezug auf unsere neue Forschungsfrage ist festzustellen, dass prüfbare Theorien der motorischen Kontrolle, die den neuromuskulären Funktionsstatus explizit als Variable und nicht als Konstante ansehen, bislang kaum vorliegen. Die für den Sport typische Situationsbedingung hoher neuromuskulärer Beanspruchungen wird in ihren Auswirkungen auf die motorische Kontrolle von den psychologisch oder physiologisch ausgerichteten und an der menschlichen Motorik interessierten Wissenschaften kaum thematisiert. Hier scheint die sportwissenschaftliche Forschung selbst gefragt, die notwendigen Grundlagen bereit zu stellen. Es stellt darüber hinaus geradezu eine Herausforderung für eine „Bewegungswissenschaft (und Trainingswissenschaft) des Sports“ dar, sich den grundlegenden Fragen zu stellen, die die für den Sport typischen Situationsbedingungen betreffen.

Die neue Forschungsfrage ist aufgrund ihres sehr allgemeinen Charakters direkt kaum bearbeitbar und muss deshalb konkretisiert werden. Die Konkretisierung soll vorerst in zwei Richtungen erfolgen:

- Wie werden Veränderungen des neuromuskulären Funktionszustandes kompensiert, um die motorische Aufgabe trotz dieser Veränderung zu erfüllen?
- Bis zu welcher Relation von neuromuskulärem Funktionszustand und entsprechenden Anforderungen der motorischen Aufgabe können Veränderungen des neuromuskulären Funktionszustandes kompensiert werden?

Grundsätzlich erscheinen für das Funktionieren dieser Kompensationsprozesse Rückmeldungen über den aktuellen neuromuskulären Funktionszustand und über den aktuellen Stand des Bewegungsprozesses (der Lösung der motorischen Aufgabe) notwendig.

Physiologische Evidenz für Rückmeldungen über den aktuellen neuromuskulären Funktionszustand erscheint durchaus gegeben. So berichten z.B. WINDHORST et al. (1995) und GANDEVIA (1998) von verschiedensten Veränderungen auf unterschiedlichen Ebenen von der Muskelzelle bis zum motorischen Kortex, wie z.B. Veränderungen im Feedback der Muskelafferenzen, in der motoneuronalen Entladung und im motokortikalen Output. GANDEVIA (1998) findet als Reaktion auf starke „Muskelermüdung“ das Rekrutieren zusätzlicher funktionsverwandter Muskeln.

Kenntnisse zum Einfluss neuromuskulärer Beanspruchung auf Rückmeldungen über den aktuellen Stand des Bewegungsprozesses liegen ebenfalls vor. Untersuchungen zum Einfluss von „fatigue“ auf die Propriozeption und die Positionswahrnehmung („position sense“, z.B. LATTANZIO et al. 1997; MARKS et al. 1993; MATHIASSEN 1993; NELSON et al. 1985; SELIGA et al. 1991; SHARPE et al. 1993; SKINNER et al. 1986; TIKHONOV et al. 1986; VOIGHT et al. 1996; WINDHORST et al. 1991) zeigen bis auf eine Studie (MARKS et al. 1993) Verschlechterungen bzgl. der jeweiligen motorischen Aufgabe (Reproduzieren von Gelenkwinkeln bzw. Einschätzen der von außen vorgegebenen Winkelstellungen). Allerdings lassen die produzierten Fehler (Überschießen bzw. Unterschießen) kein einheitliches Muster erkennen.

Die Rolle der motorischen Aufgabe wurde von van DIEEN et al. (1996; 1998) bearbeitet. Sie untersuchten vom Ansatz der dynamischen Mustergenerierung ausgehend die Frage, ob bzw. wie konditionelle Belastungen die kinematischen Muster eines Bewegungsablaufes verändern. Sie fanden für wiederholtes ermüdendes Anheben von Gewichten divergierende Ergebnisse und führen dies auf Unterschiede der jeweiligen motorischen Aufgabe zurück. Bei nicht-kontinuierlichem Bewegen der Hantel (maschinelles Absenken der Hantel) mit diskontinuierlichem Informationsfluss verändert sich das kinematische Muster im Gegensatz zu kontinuierlichem Bewegen.

Die Theorie- und Hypothesenbildung in Bezug auf die vorgestellte neue Forschungsfrage erscheint nicht einfach. Die abschließende Abbildung soll einen Einblick in den Prozess der Hypothesengenerierung der Augsburger Arbeitsgruppe gewähren. Gleichzeitig wird die motorische Aufgabe des in diesem Zusammenhang von Claudia Augste durchgeführten Erkundungsexperiments verdeutlicht (s. Abb. 7).

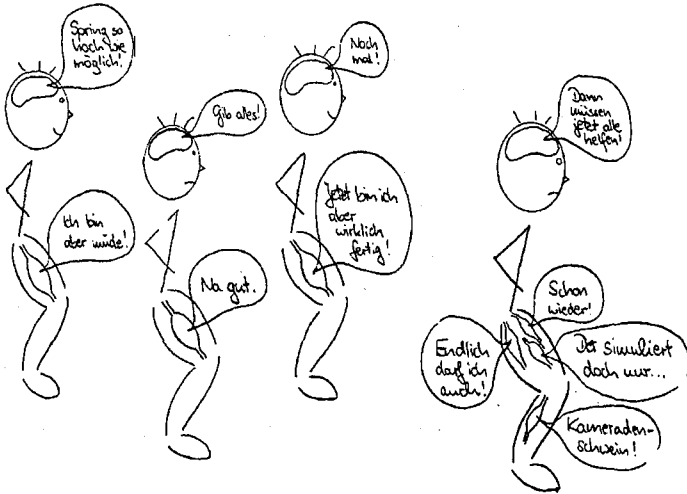


Abb. 7: Hypothetische Kommunikation zwischen zentralen und peripheren Strukturen bei maximalen bipedalen Vertikalsprüngen und hoher neuromuskulärer Beanspruchung des m. quadriceps femoris

7 Literatur

- ALDERMAN, R.B.: Influence of local fatigue on speed and accuracy in motor learning. *Research Quarterly* 36 (1965), 131-140
- BARNETT, M.L.; ROSS, D.; SCHMIDT, R.A.; TODD, B.: Motor skills learning and the specificity of training principle. *Research Quarterly* 44 (1974) 4, 440-447
- BARTLETT, F.: Psychological criteria of fatigue. In: FLOYD, W.; WELFORD, A.T. (Hrsg.): Symposium on Fatigue. 1953, 1-5.
- BARTZ, D.W.; SMITH, L.E.: Effect of moderate exercise on the performance and learning of a gross motor skill. *Perceptual and Motor Skills* 31 (1970), 187-190
- BENSON, D.W.: Influence of imposed fatigue on learning a jumping task and a juggling task. *Research Quarterly* 39 (1968) 2, 251-257
- BIGLAND-RITCHIE, B.: EMG/Force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and Sports Science Review* 9 (1981), 75-117
- BIGLAND-RITCHIE, B.; BELLEMARE, F.; WOODS, J.J.: Central and peripheral fatigue of intermittent submaximal contractions. *Neuroscience Abstracts* 9 (1983), 631
- BIGLAND-RITCHIE, B.; WOODS, J.J.: Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & Nerve* 7 (1984), 691-699

- CAPLAN, C.S.: The influence of physical fatigue on massed vs. distributed motor learning. Dissertation, University of California, Berkeley 1969
- CARRON, A.V.: Physical fatigue and motor learning. *Research Quarterly* 40 (1969), 682-686
- CARRON, A.V.: Motor performance and learning under physical fatigue. *Medicine and Science in Sports* 4 (1972) 2, 101-106
- CARRON, A.V.; FERCHUK, A.D.: The effect of fatigue on learning and performance of a gross motor task. *Journal of Motor Behavior* 3 (1971) 1, 62-68
- COCHRAN, B.J.: Effect of physical fatigue on learning to perform a novel motor task. *Research Quarterly* 46 (1975) 2, 243-249
- COSTILL, D.L.; BARNETT, A.; SHARP, R.; FINK, W.J.; KATZ, A.: Leg muscle pH following sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (1983) 4, 325-329
- DE MARÉES, H.: Sportphysiologie. Mühlheim 1981
- DIEM, C.: Wesen und Lehre des Sports. Berlin 1960
- DILLINGER, M.-O.: Effekte einer belastungsbedingten Reduktion des muskelgruppenspezifischen Schnelkraftniveaus auf Aneignungs- und Lernleistungen beim Training der Tiefstarttechnik. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1997
- DWYER, J.: Influence of physical fatigue on motor performance and learning. *Physical Educator* 41 (1984) 3, 130-136
- EDWARDS, R.H.T.: Human muscle function and fatigue. In: PORTER, R.; WHELAN, J. (Hrsg.): Human muscle fatigue: physiological mechanisms. 1981, 1-18
- FINDEISEN, D.G.R.; LINKE, P.-G.; PICKENHAIN, L. (Hrsg): Grundlagen der Sportmedizin. Leipzig 1980
- GANDEVIA, S.C.: Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, moto neurones and moto cortical drive. *Acta Physiol Scand* 162 (1998) 3, 275-283
- GERISCH, G.; RODE, G.: Technik im Fußball unter dem Einfluß kurzzeitiger Maximalbelastung. In: GERISCH, G.; RUTEMÖLLER, E. (Hrsg.): Leistungsfußball im Blickpunkt: Beiträge zu Training und Wettkampf. 1989, 125-149
- GODWIN, M.A.; SCHMIDT, R.A.: Muscular fatigue and learning a discrete motor skill. *Research Quarterly* 42 (1971) 4, 374-382
- GROSSER, M.; NEUMAIER, A.: Techniktraining. München 1982
- GÜLLICH, A.; SCHMIDTBLEICHER, D.: Kurzfristige Veränderungen von Schnelkraftleistungen durch maximale willkürliche Kontraktionen. *Leistungssport* 25 (1995) 5, 30-35
- HAHN, A.: Wechselbeziehungen zwischen Ermüdungsprozessen und der Koordination von Teilbewegungen im Training und Wettkampf des Sportschwimmers. *Leistungssport* 22 (1992) 3, 38-40
- HAIDER, M.: Ermüdung, Beanspruchung und Leistung. Wien 1962

- HARRE, D.: Die Herausbildung der sportlichen Leistungsfähigkeit. In: HARRE, D. (Hrsg.): Trainingslehre. Berlin 1986, 62-91
- HARRIS, R.C.; EDWARDS, R.H.T.; HULTMAN, E.; NORDESJÖ, L.-O.; NYLIND, B.; SAHLIN, K.: The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *European Journal of Physiology* 367 (1976), 137-142
- HEBESTREIT, C.: Die Trainingseinheit. In: HARRE, D. (Hrsg.): Trainingslehre. Berlin 1986, 250-259
- HENRY, F.M.: Specificity vs. generality in learning skills. *Proc. Coll. Phys. E. Assoc.* 61 (1958), 126-128
- HIRVONEN, J.; NUMMELA, A.; RUSKO, H.; REHUNEN, S.; HÄRKÖNEN, M.: Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Canadian Journal of Sport Science* 17 (1992) 2, 141-144
- HOLDING, D.H. (Hrsg.): Fatigue. Chichester 1983
- HOLLMANN, W.; HETTINGER, T.: Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen. Stuttgart 1980
- HOLLMANN, W.; STRÜDER, H.K.: Gehirn und muskuläre Arbeit. In: BARTMUS, U.; HECK, H.; MESTER, J.; SCHUMANN, H.; TIDOW, G. (Hrsg.): Aspekte der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport. 1996, 47-72
- KOMI, P.V.; TESCH, P.: EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. *European Journal of Applied Physiology* 42 (1979), 41-50
- LATTANZIO, P.J.; PETERELLA, R.J.; SPROULE, J.R.; FOWLER, P.J.: Effects of fatigue on knee proprioception. *Clin. Journal of Sports Medicine* 7 (1997) 1, 22-27
- LAURIG, W.: Grundzüge der Ergonomie. Berlin 1980
- LEHNERTZ, K.: Techniktraining. In: RIEDER, H.; LEHNERTZ, K. (Hrsg.): Bewegungslernen und Techniktraining. Schorndorf 1991, 105-192
- LETZELTER, M.: Trainingsgrundlagen. Reinbek 1987
- MAGILL, R.A.: Knowledge is more than we can talk about: Implicit learning in motor skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 69 (1998), 104-110
- MARKS, R.; QUINNEY, H.A.: Effect of fatiguing maximal isokinetic quadriceps contractions on ability to estimate knee position. *Percept. Mot. Skills* 77 (1993), 1195-1202
- MARTIN, D.: Grundlagen der Trainingslehre; Teil II: Die Planung, Gestaltung, Steuerung des Trainings und das Kinder- und Jugendtraining. Schorndorf 1982
- MATHIASSEN, S.E.: The influence of exercise/rest schedule on the physiological and psychological response to isometric shoulder-neck exercise. *European Journal of Applied Physiology* 67 (1993), 528-539
- MUSCIO, B.: Is a fatigue test possible? *British Journal of Psychology* 12 (1921), 31-46
- NELSON, D.; HUTTON, R.S.: Dynamic and static stretch responses in muscle spindle receptors in fatigue muscle. *Med. Sci. Sports Exercise* 17 (1985), 445-450

- NEUMAIER, A.: Trainingswissenschaftlicher Ansatz zum Techniktraining. In: NITSCH, J.R.; NEUMAIER, A.; DE MARÉES, H.; MESTER, J. (Hrsg.): Techniktraining. Schorndorf 1997, 173-225
- NITSCH, J.R.: Theorie und Skalierung der Ermüdung. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln. Köln 1970
- NITSCH, J.R.; UDRIS, I.: Beanspruchung im Sport. Bad Homburg 1976
- NÖCKER, J.: Physiologie der Leibesübungen. Stuttgart 1980
- NUNNEY, D.N.: Fatigue, impairment, and psycho-motor learning. *Perceptual and Motor Skills* 16 (1963), 369-375
- OLIVIER, N.: Techniktraining und konditionelle Belastungen – Teil II. *Sportpsychologie* 5 (1991) 4, 26-30
- OLIVIER, N.: Reduktion und Erholung des Schnellkraftniveaus nach konditionellen Belastungen. *Sportwissenschaft* 25 (1995) 4, 394-404
- OLIVIER, N.: Konditionelle Belastungen beeinflussen das Schnellkraftniveau lokal! In: STARISCHKA, S.; CARL, K.; KRUG, J. (Hrsg.): Nachwuchstraining. 1996a, 153-158
- OLIVIER, N.: Techniktraining unter konditioneller Belastung. Schorndorf 1996b
- OLIVIER, N.; BÜSCH, D.: Konditionelle Belastungen beeinflussen das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau. In: BEYER, L.; WEISS, T. (Hrsg.): Psychophysiologie motorischer Prozesse. 1992, 113-122.
- OLIVIER, N.; BLISCHKE, K.; DAUGS, R.; MÜLLER, H.: Visuelle Selektion beim sportmotorischen Videotraining. *Psychologie und Sport* 1 (1994) 4, 140-148
- OLIVIER, N.; DILLINGER, M.-O.: Schadet Techniktraining unter Ermüdung? (I). *Lehre der Leichtathletik* 36 (1997a) 15, 27-28
- OLIVIER, N.; DILLINGER, M.-O.: Schadet Techniktraining unter Ermüdung? (II). *Lehre der Leichtathletik* 36 (1997b) 16, 29-30
- OLIVIER, N.: Sportliche Bewegung unter konditioneller Belastung. In: HIRTZ, P.; NÜSKE, F. (Hrsg.): Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet. Hamburg 1997c, 255-264
- PACK, D.M.; COTTEN, D.J.; BIASIOTTO, J.: Effect of four fatigue levels on performance and learning of a novel dynamic balance skill. *Journal of Motor Behavior* 6 (1974) 3, 191-197
- PHILLIPS, W.A.: The effect of physical fatigue on two motor learning tasks. Dissertation, U.o.C., Berkeley 1962
- ROHMERT, W.: Formen menschlicher Arbeit. In: ROHMERT, W.; RUTENFRANZ, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie. 1983, 5-29
- ROHMERT, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Arbeitswissenschaft* 4 (1984), 193-200
- SCHMIDT, R.A.: Performance and learning a gross motor skill under conditions of artificially-induced fatigue. *Research Quarterly* 40 (1969), 185-190

- SCHMIDT, R.A.: A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review* 82 (1975) 4, 225-260
- SCHMIDT, R.A.: Motor control and learning. Champaign (Ill.) 1982
- SCHMIDT, R.A.: Motor control and learning. Champaign (Ill.) 1988
- SCHMIDTKE, H.: Die Ermüdung. Bern 1965
- SCHNABEL, G.: Grundlagen und Methodik der sporttechnischen Ausbildung. In: HARRE, D. (Hrsg.): Trainingslehre. Berlin 1986, 194-218
- SCHNABEL, G.: Motorisches Lernen im Sport. In: MEINEL, K.; SCHNABEL, G. (Hrsg.): Bewegungslehre – Sportmotorik. Berlin 1987, 172-241
- SCHNABEL, G.: Motorisches Lernen. In: MEINEL, K.; SCHNABEL, G. (Hrsg.): Bewegungslehre – Sportmotorik. Berlin 1998a, 146-205
- SCHNABEL, G.: Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Entwicklung – Stand – Perspektiven. *Spectrum der Sportwissenschaften* 10 (1998b) 1, 7-23
- SCHÖNPFLUG, W.: Effort regulation and individual differences in effort expenditure. In: HOCKEY, G.R.J.; GAILLARD, A.W.K.; COLES, M.G.H. (Hrsg.): Energetics and Human Information Processing. Series D: Behavioural and Social Sciences 1986, 271-283
- SCHÖNPFLUG, W.: Von der Aktivierungstheorie zur Ressourcentheorie: Die Regulation von Aktivierungszuständen. In: JANSSEN, J.; HAHN, E.; STRANG, H. (Hrsg.): Konzentration und Leistung. 1991, 27-36
- SELIGA, R.; BHATTACHARYA, A.; SUCCOP, P.; WICKSTROM, R.; SMITH, D.; WILLEKE, K.: Effect of work load and respirator wear on postural stability, heart rate, and perceived action. *American Ind. Hyg. Assoc.* 52 (1991), 417-422
- SHARPE, M.H.; MILES, T.S.: Position sense at the elbow after fatiguing contractions. *Experimental Brain Research* 94 (1993), 179-182
- SIMONSON, E.; WEISER, C.P. (Hrsg): Psychological aspects and physiological correlates of work and fatigue. Springfield 1976
- SKINNER, H.B.; WYATT, M.P.; HODGDON, J.A.; CONARD, D.W.; BARRACK, R.L.: Effect of fatigue on position sense of the knee. *Journal of Orthopaedic Research* 4 (1986), 112-118
- STELMACH, G.E.: Efficiency of motor learning as a function of intertrial rest. *Research Quarterly* 40 (1969), 189-202
- THIESS, G.; SCHNABEL, G.; BAUMANN, R.: Training von A-Z. Kleines Wörterbuch für die Theorie und Praxis des sportlichen Trainings. Berlin 1978
- THOMAS, J.R.; COTTEN, D.J.; SPIETH, W.R.; ABRAHAM, N.L.: Effects of fatigue on stabilometer performance and learning of males and females. *Medicine and Science in Sports* 7 (1975) 3, 203-206
- TIKHONOV, M.A.; ASIAMOLOVA, N.M.: Physiological mechanisms limiting external respiratory resistance. *Kosm. Biol. Aviakosm. Med* 3 (1986) 20, 45-50
- UDRIS, I. (Hrsg): Ansätze sportpsychologischer Beanspruchungsmessung. Bad Homburg 1976

- ULMER, H.-V.: Arbeitsphysiologie – Umweltphysiologie. In: SCHMIDT, R.F.; THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 1983, 602-627
- VAN DIEEN, J.H.; TOUSSAINT, H.M.; MAURICE, C.; MIENTJES, M.: Fatigue related changes in the coordination of lifting and their effect on low back load. *Journal of Motor Behavior* 28 (1996), 304-314
- VAN DIEEN, J.H.; VAN DER BURG, P.; RAAIJMAKERS, T.A.J.; TOUSSAINT, H.M.: Effects of repetitive lifting on kinematics: Inadequate anticipatory control or adaptive changes? *Journal of Motor Behavior* 30 (1998) 1, 20-32
- VOIGHT, M.L.; HARDIN, J.A.; BLACKBURN, T.A.; TIPPETT, S.; CANNER, G.C.: The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *Journal of Orthopedical Sports Physics* 23 (1996) 6, 348-352
- WEBER, K.; SEIFFERT, K.-R.; HOLLMANN, W.: Diagnostik und Trainingssteuerung der tennisspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit mit einem neuartigen stufen- und intervallförmigen Feldtest. In: ANDRESEN, R. (Hrsg.): 6. Internationales Sportspiel-Symposium. 1986, 145-157
- WEINECK, J.: Optimales Training. Erlangen 1987
- WELCH, M.: Specificity of heavy work fatigue: absence of transfer from heavy leg work to coordination tasks using the arms. *Research Quarterly* 40 (1969) 2, 402-406
- WIEMEYER, J.: Flimmerverschmelzungsfrequenz und allgemeines zentralnervöses Aktivierungsniveau. In: BARTMUS, U.; MESTER, J.; SCHUMANN, H.; TIDOW, G. (Hrsg.): Aspekte der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport. Köln 1996, 163-171
- WIEMEYER, J.; FROMME, A.; BITTNER, B.; ROTHE, M.; ZIPF, K.E.: Muskuläre Ammoniakproduktion und Gehirntätigkeit. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 42 (1991) 1, 5-11
- WILLIAMS, J.; SINGER, R.N.: Muscular fatigue and the learning and performance of a motor control task. *Journal of Motor Behavior* 7 (1975) 4, 265-269
- WILLIAMS, L.R.T.; DANIELL-SMITH, J.H.; GUNSON, L.K.: Specificity of training for motor skill under physical fatigue. *Medicine and Science in Sports* 8 (1976) 3, 162-167
- WILLIAMS, L.R.T.; MCEWEN, E.A.S.; WATKINS, C.D.; GILLESPIE, L.; BOYD, H.: Motor learning and performance under physical fatigue and the specificity principle. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences* (1979) 4, 302-308
- WINDHORST, U.; BOORMAN, G.: Overview: Potential role of segmental motor circuitry in muscle fatigue. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 384 (1995), 241-258
- WINDHORST, U.; KOKKOROYIANNIS, T.: Interaction of recurrent inhibitory and muscle spindle afferent feedback during muscle fatigue. *Neuroscience* 43 (1991) 1, 249-259