



Ingo Sandau

**Untersuchungen zur Bewegungs-
struktur der Wettkampfübung Reißen
und der Trainingsübung Zug breit
im Gewichtheben**

**Untersuchungen zur Bewegungsstruktur der Wettkampfübung Reißen
und der Trainingsübung Zug breit im Gewichtheben**

Die Reihe

In der *Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft* möchte das Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) zeitnah und themenorientiert wichtige Veranstaltungen des IAT dokumentieren, aktuelle Forschungsergebnisse aus der angewandten Trainingswissenschaft präsentieren sowie wissenschaftliche Qualifizierungsarbeiten veröffentlichen, die unter dem Dach des IAT entstanden sind. Die Schriftenreihe folgt der bisherigen Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft, die von 1996-2014 vom Institut für Angewandte Trainingswissenschaft ebenfalls gemeinsam mit dem Meyer & Meyer Verlag Aachen herausgegeben wurde.

Band 1: Ulf Tippelt & Jürgen Wick (Hrsg.) – Angewandte Trainingswissenschaft im Forschungs- und Serviceverbund Leistungssport

Band 2: Ronny Lüdemann – Belastungsinduzierte Veränderung der Kraft

Band 3: Thomas Moeller – Leistung und Training im Triathlon

Band 4: Ina Fichtner (Hrsg.) – Technologien im Leistungssport

Band 5: Dirk Büsch, Hans-Dieter Heinisch & Ronny Lüdemann (Hrsg.) – Leistungsfaktoren in den Spiel- und Zweikampfsportarten

Band 6: Ina Fichtner (Hrsg.) – Technologien im Leistungssport 2

Band 7: Jürgen Wick, Ilka Seidel & Dirk Büsch (Hrsg.) – Olympianalyse Rio 2016 - Olympiazyklusanalysen und Auswertungen der Olympischen Spiele 2016

Band 8: Jürgen Wick (Hrsg.) – Wettkampf, Training und Leistungsdiagnostik in den Ausdauersportarten

Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft
Band 9

Ingo Sandau

Untersuchungen zur Bewegungs- struktur der Wettkampfübung Reißen und der Trainingsübung Zug breit im Gewichtheben

An der Sportwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Leipzig
eingereichte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor philosophiae
(Dr. phil.)

vorgelegt von
Diplom-Sportlehrer Ingo Sandau,
geboren am 13.10.1982 in Salzwedel

Gutachter: Prof. Dr. Maren Witt
apl. Prof. Dr. Ilka Seidel
Prof. Dr. Urs Granacher

Tag der Verteidigung: 20.12.2016

Meyer & Meyer Verlag

Herausgeber der Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft:
Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig

Redaktionskollegium: Dr. U. Tippelt, Dr. H. Sandner, B. Franz, K. Henschel
Assistenz des Redaktionskollegiums: B. Kühn

Anschrift:
Marschnerstraße 29
D-04109 Leipzig
Tel.: 0341-4945-100
Fax: 0341-4945-400
iat@iat.uni-leipzig.de
www.sport-iat.de

Untersuchungen zur Bewegungsstruktur der Wettkampfübung Reißen und der Trainingsübung Zug breit im Gewichtheben

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Details sind im Internet über
<<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie das Recht der
Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form – durch Fotokopie,
Mikrofilm oder ein anderes Verfahren – ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reprodu-
ziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, gespeichert, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

© 2017 by Meyer & Meyer Verlag, Aachen
Auckland, Beirut, Dubai, Hãgendorf, Hongkong, Indianapolis, Kairo, Kapstadt,
Manila, Maidenhead, Neu-Delhi, Singapur, Sydney, Teheran, Wien



Member of the World Sport Publishers' Association (WSPA)

Titelbild: ©Steve Galvan
E-Mail: verlag@m-m-sports.com
www.dersportverlag.de

Zusammenfassung

Im Gewichtheben muss der Sportler in der Wettkampfübung (WKÜ) *Reißen* die Hantel für eine gültige maximale Hebung auf ca. 2,0 m/s beschleunigen. Die Höhe der vertikalen Beschleunigung ist das Ergebnis der Krafftigkeiten der Gelenkantriebe in den unteren Extremitäten (Knöchel, Knie, Hüfte). Zur Steigerung der Beschleunigung in der WKÜ *Reißen* wird im Schnellkrafttraining des Gewichthebens die Trainingsübung (TÜ) *Zug breit* genutzt. Es wird angenommen, dass diese TÜ eine spezifische Belastung zur Kräftigung der Gelenkantriebe erzielt, wodurch sich die Beschleunigungswirkung an der Hantel erhöht. Bisher ist unbekannt, welche Gelenkbelastungen der unteren Extremitäten beim Training mit der TÜ *Zug breit* erzeugt werden und wie spezifisch diese Gelenkbelastungen im Vergleich zu den Anforderungen der WKÜ *Reißen* unter Wettkampfbedingungen sind. Veränderte Gelenkbelastungen haben eine veränderte neuromuskuläre Beanspruchung der Gelenkantriebe und damit eine veränderte Trainingswirkung zur Folge. Zur Abschätzung der Beanspruchung der Gelenkantriebe im Gewichtheben anhand der Gelenkbelastung wurde in einem 10-wöchigen Trainingszyklus mit sechs Perspektivkader-Athleten in der sechsten und zehnten Woche ein Test durchgeführt. Bei diesen beiden Tests führten die Athleten die TÜ *Zug breit* und WKÜ *Reißen* aus. Es wurde nachgewiesen, dass sich in der TÜ *Zug breit* mit steigender Hantellast die Gelenkbelastung für Knöchel und Hüfte erhöht, während die Belastung des Kniegelenks konstant bleibt. Weiterhin wurde deutlich, dass vom ersten zum zweiten Test in der TÜ *Zug breit* eine Umverteilung der Gelenkbelastung vom Knie auf Hüfte und Knöchel stattgefunden hat. Im direkten Vergleich der TÜ *Zug breit* mit der WKÜ *Reißen* zeigten sich Unterschiede in den Teilbewegungsphasen der Beschleunigungsphase hinsichtlich der Belastung/Antriebsleistung einzelner Gelenke. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse für die Belastungsgestaltung auf Gelenkebene der TÜ *Zug breit* kann geschlossen werden, dass die TÜ *Zug breit* vorrangig die 2. Zugphase der WKÜ *Reißen* trainiert. Die Ergebnisse haben aufgezeigt, dass die Analyse der Gelenkbelastung eine Möglichkeit darstellt, die potenzielle Wirkung einer Trainingsübung für die Wettkampfübung im Gewichtheben abzuschätzen.

Abstract

When lifting heavy weights in snatch the athlete has to accelerate the barbell up to a velocity of 2,0 m/s. The degree of this vertical acceleration is the result of the strength abilities of the joint actuators in the lower limbs (ankle, knee, hip). The weightlifters use the snatch pull in their speed strength training as an assistance exercise to increase the acceleration in snatch. It is believed that this assistance exercise is able to specifically strengthen the joint actuators and therefore to increase the acceleration on the barbell. Until now, it has not been known which joint loading is generated when using the snatch pull and how specific the loads are in comparison to requirements of the snatch in the competition. Changes in joint loading lead to changes in the neuromuscular strain of joint actuators and as a result, this leads to a modified training effect. To estimate the strain on joint actuators in weightlifting based on joint loading, in a 10-week training cycle with six junior weightlifters a test was implemented in the sixth and tenth week. In these tests, the athletes had to execute the snatch pull and the snatch. It was proven that in snatch pull only the joint load in ankle and hip increased when the loads on the barbell increased. In contrast, the load on the knee joint was steady. Furthermore, it was shown that the joint loading altered from the first to the second test in the snatch pull with higher loads on the ankle and hip and lower loads on the knee. In a direct comparison from snatch pull to snatch there were differences in some parts of the acceleration phase of these exercises with respect to joint loading. Taking into account the results of the joint loading in snatch pull it can be concluded that the snatch pull is an assistance exercise to train the second pull of the acceleration phase in snatch. The results have shown that the analysis of joint loading is a good way to rate the potential training effects from an assistance exercise to the competition exercise in weightlifting.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Problem- und Zielstellung	11
3	Forschungsstand zur sportlichen Technik in der WKÜ <i>Reißen</i> und der TÜ <i>Zug breit</i>	14
3.1	Gelenkmomente und Bodenreaktionskraft	14
3.2	Anforderungsprofil der Beschleunigungsphase in der WKÜ <i>Reißen</i> und TÜ <i>Zug breit</i>	19
3.2.1	Startphase	20
3.2.2	Zugphase	24
3.2.3	Kniepassage	28
3.2.4	2. Zugphase	30
4	Belastung, Beanspruchung und Trainingswirkung	32
4.1	Belastungs- und Beanspruchungsgestaltung im Schnellkrafttraining des Gewichthebens	33
4.2	Einfluss der Last auf die Gelenkbelastung der Gliederkette	40
4.3	Einfluss des Trainings und der Krafftigkeiten auf die Gelenkbelastung der Gliederkette	44
4.4	Neuromuskuläre Beanspruchungsanalyse über Gelenkmomente	47
5	Fragen und Hypothesen	53
6	Methodik	55
6.1	Probanden	55
6.2	Untersuchung	55
6.2.1	Untersuchungsdurchführung	55
6.2.2	Untersuchungsaufbau	59
6.3	Messdatengewinnung und -verarbeitung	60
6.3.1	Kinematische Daten	60
6.3.2	Dynamische Daten	60
6.3.3	Koordinatensystem (Kinematik, Dynamik)	61
6.3.4	Synchronisierung	62
6.4	Modellierung	62
6.4.1	Modellierung der Körper- und Hantelkinematik	62
6.4.2	Modellierung der Gelenkdynamik	63

6.5	Trainingsdaten	64
6.6	Fehlerbetrachtung der Messdatengewinnung	65
6.7	Untersuchungsvariablen	66
6.7.1	Abgrenzung der Teilbewegungsphasen.....	66
6.7.2	Unabhängige Variablen.....	67
6.7.3	Abhängige Variablen	67
6.8	Statistische Auswertung	71
7	Ergebnisdarstellung und Interpretation.....	73
7.1	Übersicht der Trainingsdaten.....	73
7.2	Einfluss von Hantellast und Training auf die Bewegungsstruktur der TÜ <i>Zug breit</i>	74
7.2.1	Kinematik der Hantelbewegung	74
7.2.2	Kraftwirkung am Boden.....	78
7.2.3	Kinematik der Körperbewegung.....	83
7.2.4	Dynamik der Körperbewegung.....	92
7.3	Vergleich der Bewegungsstruktur zwischen <i>Zug breit</i> und <i>Reißen</i>	107
7.3.1	Kinematik der Hantelbewegung	107
7.3.2	Kraftwirkung am Boden.....	110
7.3.3	Kinematik der Körperbewegung.....	113
7.3.4	Dynamik der Körperbewegung.....	118
8	Diskussion.....	130
8.1	Veränderungen der Bewegungsstruktur im <i>Zug breit</i> durch Hantellast und Training und Vergleich zum <i>Reißen</i>	130
8.2	Mögliche Ursachen für Veränderungen der Bewegungsstruktur.....	146
9	Trainingspraktische Ableitungen und Ausblick	155
	Literatur.....	159
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	168
	Abbildungsverzeichnis.....	171
	Tabellenverzeichnis	174
	Anhang I	179
	Anhang II	183

1 Einleitung

Das Gewichtheben ist eine der traditionellsten Sportarten und gehört seit 1894 zum olympischen Programm. Im Laufe der Jahrzehnte unterlag das Gewichtheben hinsichtlich der Wettkampfgestaltung einigen Veränderungen. Während in den Anfängen des Gewichthebens im Wettkampf noch einarmige Varianten des *Reißens* und *Stoßens* sowie das *Drücken* ausgeführt wurden, beschränken sich seit 1973 die Wettkampfübungen (WKÜ) nur noch auf das beidarmige *Reißen* und *Stoßen* (Urso, 2011).

Das Ziel im Gewichtheben besteht darin, mit den beiden Wettkampfübungen eine maximale Last entsprechend der Wettkampfgeregeln zu heben. Eine Last ist im Gewichtheben dann gültig gehoben, wenn der Athlet¹ die Hantel im aufrechten Stand mit gestreckten Armen über dem Kopf fixiert. Damit die Hantel über dem Kopf gehalten werden kann, muss der Sportler unter die zunächst am Boden liegende Hantel gelangen. Hierfür muss er die Hantel auf eine bestimmte vertikale Geschwindigkeit beschleunigen. Vergleichbar zum senkrechten Wurf erreicht die Hantel aufgrund ihrer vertikalen Geschwindigkeit eine bestimmte Treib(Flug-)höhe. Die Treibzeit für den Flug ermöglicht dem Sportler unter die Hantel zu gelangen. Nach dem oberen Umkehrpunkt fällt die Hantel wieder in Richtung Boden. Im Gegensatz zu anderen Schnellkraftsportarten muss im Gewichtheben der Sportler das herabfallende Sportgerät nach der Beschleunigungsphase in der sogenannten Bremsphase in der tiefen Hocke bzw. im Ausfallschritt wieder abbremsen und zur Ruhe bringen. Nach dem Abbremsen der Hantel erfolgt das Aufstehen in den parallelen Stand. Erst im parallelen Stand, mit der Hantel über dem Kopf und gestreckten Armen, ist die Hebung gültig.

Zur Steigerung der Wettkampfleistung ist es im Gewichtheben nicht notwendig, die Abfluggeschwindigkeit des Sportgerätes zu erhöhen. Stattdessen muss für eine gültige Hebung dem Sportgerät nur die maximale Geschwindigkeit erteilt werden, die gerade noch ausreicht, damit der Sportler unter die Hantel gelangen kann, um sie abzubremesen und mit ihr aufzustehen. Diese minimal ausreichende vertikale Hantelgeschwindigkeit wird als individuelle Grenzgeschwindigkeit verstanden und hat in Abhängigkeit der WKÜ sowie individueller Voraussetzungen des Sportlers (Anthropometrie, Niveau der sporttechnischen Fertigkeiten) eine maximale Höhe von 1,4-2,0 m/s. Eine gültige Hebung im Gewichtheben ist deshalb vorrangig davon abhängig, dass der Hantel genau diese notwendige und individuelle Grenzgeschwindigkeit auch bei steigenden Lasten erteilt werden kann (Böttcher & Deutscher, 1999; Franke, 1973; Richter, 1973). Hantellasten mit einer vertikalen Geschwindigkeit unter der individuellen Grenzgeschwindigkeit können nicht mehr über den Kopf gehoben werden. Da im Gewichtheben für die Steigerung der Wettkampfleistung keine Erhöhung der Abfluggeschwindigkeit des Sportgerätes notwendig ist, ist auch keine Erhöhung der Beschleunigungswirkung auf dem Beschleunigungsweg notwendig, der absolute

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

Beschleunigungsbetrag bleibt gleich. Jedoch muss mit steigender Last für eine gleiche Beschleunigungswirkung an der Hantel eine höhere Beschleunigungskraft vom Sportler entwickelt werden. Kann vom Sportler keine entsprechende Kraftwirkung und damit Beschleunigung erbracht werden, kommt es unweigerlich zu einer Reduzierung der maximalen Hantelgeschwindigkeit. Unterschreitet dabei die maximale vertikale Hantelgeschwindigkeit die individuelle Grenzgeschwindigkeit, die der Athlet für die gültige Hebung benötigt, kann er nicht mehr rechtzeitig unter die Hantel gelangen, um sie abzubremesen und in der Hocke zu fixieren.

In der Beschleunigungsphase der Wettkampfübungen werden im Bereich der maximalen Wettkampflasten (95-100 %) sportartspezifische Beschleunigungskräfte hauptsächlich von den Gelenkantrieben² der unteren Extremitäten realisiert. Damit langfristig höhere Wettkampflasten in den Wettkampfübungen gehoben werden können, müssen diese Gelenkantriebe durch ein geeignetes Training so entwickelt werden, dass sie in der Lage sind, höhere Lasten wieder mindestens auf die notwendige Grenzgeschwindigkeit zu beschleunigen. Je gezielter das Training die leistungslimitierenden Kraftfähigkeiten einzelner Gelenkantriebe verbessern kann, desto größer ist der Leistungszuwachs in den Wettkampfübungen.

Das Training zur Erhöhung der Leistungsvoraussetzungen der Gelenkantriebe für die Beschleunigungsphase nimmt im Gewichtheben aus sportpraktischer und wissenschaftlicher Sicht eine zentrale Stellung ein. Dabei lag der Fokus vorangegangener Analysen zur Beschleunigungsphase (konditionell und sporttechnisch) vorrangig auf der Betrachtung der Hantelbewegung (Deutscher, 1975; Jentsch, 1988; Lippmann & Jentsch, 2006; Lippmann & Sandau, 2013; Richter, 1973). Die Bewegung des Sportlers bei der Ausführung von speziellen Trainingsübungen – im Sinne der Bewegungsspezifität sowie die Abschätzung einer Trainingswirkung der Übungen auf die Gelenkantriebe – wurde bislang nicht betrachtet. Die vorliegende Arbeit befasst sich deshalb mit der kinematischen und dynamisch-energetischen Analyse von Sportler und Hantel in der Beschleunigungsphase der WKÜ *Reißen* und der Trainingsübung (TÜ) *Zug breit*. Die spezielle Fragestellung zur Überprüfung der TÜ *Zug breit* im Hinblick auf die Wirksamkeit für die WKÜ *Reißen* stellt einen Teil des Forschungsprojekts (2013-2017) der Fachgruppe Gewichtheben des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) dar und wurde in Kooperation mit dem Bundesverband Deutscher Gewichtheber (BVDG) ausgewählt. Die Bearbeitung dieses Themas ist ein losgelöster Teil des genannten Projekts und stellt als Dissertation eine eigenständige wissenschaftliche Arbeitsleistung³ dar, deren Ergebnisse in das Gesamtprojekt der Fachgruppe Gewichtheben einfließen.

² Mit Gelenkantrieben sind Muskelgruppen gemeint, die eine Bewegung (Flexion oder Extension) in einem Gelenk erzeugen können.

³ Die selbstständige Arbeitsleistung umfasst alle in dieser Dissertation beschriebenen Arbeitsschritte von der Konzeption der Untersuchung bis zur Diskussion der Ergebnisse.

2 Problem- und Zielstellung

Für eine gültige Hebung maximaler Lasten in der WKÜ *Reißen* benötigt der Sportler eine vertikale Geschwindigkeit der Hantel, die seiner individuellen Grenzgeschwindigkeit entspricht. Die Höhe der Hantelgeschwindigkeit ist das Resultat von der vom Sportler an der Hantel aufgebrachten Beschleunigungswirkung. Die für die Hantelbeschleunigung notwendige Kraft wird bei einer Hebung vorrangig von den Gelenkantrieben (Muskeln) in Hüfte, Knie sowie Knöchel als Drehmoment im jeweiligen Gelenk erzeugt und distal an benachbarte Glieder und schließlich über den Fuß als Kraft an den Boden abgegeben (Bobbert & van Soest, 2001; Zatsiorsky, 2002). Die erforderlichen Momente in den Gelenken müssen dabei in einer bestimmten Höhe und bei einer bestimmten Bewegungsgeschwindigkeit von den Muskeln erzeugt und koordiniert werden. Die dadurch an den Boden abgegebene Gesamtkraft („endpoint force“) der Gliederkette wirkt als Reaktionskraft und bewegt das System aus Sportler und Hantel nach oben.

Damit die Wettkampfleistung im *Reißen* erhöht werden kann, muss auf Grundlage einer erhöhten Maximalkraftfähigkeit⁴ die Schnellkraftfähigkeit⁵ über ein Schnellkrafttraining ausgeprägt werden. Dieser Vorgang wird als Transmutation⁶ bezeichnet und ist notwendig, da das *Reißen* für eine adäquate Beschleunigung des Systems aus Sportler und Hantel eine spezielle Form der Schnellkraftfähigkeit der Gelenkantriebe erfordert (Zatsiorsky, 1995). Das Training der spezifischen Schnellkraftfähigkeit für die Wettkampfübungen im Gewichtheben wird vorrangig über die sogenannten Zugübungen durchgeführt (Carl, 1974; Deutscher, 1975; Frolov, Efimov & Vanagas, 1983; Garhammer & Takano, 2003; Haff, Whitley, McCoy, O’Bryant, Kilgore, Haff, Pierce & Stone, 2003). Für die WKÜ *Reißen* wird im Schnellkrafttraining des Gewichthebens die TÜ *Zug breit* genutzt. Diese Trainingsübung dient dazu, die Beschleunigungsphase des *Reißens* zu trainieren und ist ein wesentlicher Bestandteil des Trainingsprozesses im Gewichtheben mit einem Umfang von ca. 15-20 % der Gesamtwiederholungen. Sie soll im Schnellkrafttraining darauf abzielen, genau die Gelenkantriebe zu trainieren (zu beanspruchen) und zielgerichtet zu entwickeln, damit eine Erhöhung der spezifischen Schnellkraftfähigkeit für die Beschleunigungsphase des *Reißens* erreicht wird. Das ausgebildete Niveau der Schnellkraftfähigkeit ist das maßgebliche Kriterium für eine Erhöhung der Wettkampfleistung im *Reißen*. Längsschnittbetrachtungen zur Entwicklung der Maximalkraftfähigkeit deutscher Ath-

4 Die Wettkampfleistung im Gewichtheben ist wesentlich von der Maximalkraftfähigkeit des Sportlers abhängig (Stone, Sands, Pierce, Carlock, Cardinale & Newton, 2005). Auf Basis der Maximalkraftfähigkeit muss jedoch zur Maximierung der Beschleunigungswirkung an der Hantel eine spezifische Schnellkraft ausgebildet werden. Erst die Transmutation der Maximalkraft in die spezifische Schnellkraft über das Schnellkrafttraining ermöglicht die Erhöhung der Wettkampfleistung. Das Schnellkrafttraining ist deshalb ein zentraler Bestandteil im Bestreben, immer höhere Hantellasten zu bewältigen.

5 Die Einordnung des Maximal- und Schnellkraftbegriffs wird in Kapitel 3 vorgenommen.

6 Als Transmutation wird die Überführung eines unspezifischen motorischen Potenzials in die spezielle sportliche Leistung verstanden.

leten haben gezeigt, dass die stetige Erhöhung der Maximalkrafftähigkeit im Seniorenbereich limitiert ist (Lippmann & Sandau, 2013; Sandau & Lippmann, 2013). Deshalb ist es umso bedeutender für die Trainingspraxis, den Transmutationsprozess der bestehenden Maximalkrafftähigkeit in eine spezifische Schnellkrafftähigkeit zu optimieren und somit die vorhandene Maximalkrafftähigkeit besser auszuschöpfen. Wie gut der Transmutationsprozess durch das Schnellkrafttraining umgesetzt werden kann, ist von der Wirkungsweise der genutzten TÜ und damit von der zielgerichteten Anpassung der Gelenkantriebe abhängig. Je besser die Trainingsübung die Gelenkantriebe entsprechend der Zielstellung trainiert/beansprucht, desto wirksamer bzw. spezifischer kann sie eingeschätzt werden und desto höher ist der „Umsetzungsgrad“ auf die WKÜ (Bartonietz, 1992; Knauf, Hochmuth & Prause, 1982; Prause, 1991).

Für das Schnellkrafttraining des *Reißens* wird bislang angenommen, dass die TÜ *Zug breit* eine uneingeschränkte Übereinstimmung zur Beschleunigungsphase des *Reißens* besitzt und damit sehr spezifisch für die gezielte Entwicklung der Gelenkantriebe ist (de Weese, Serrano & Scruggs, 2012). Diese Spezifik wird auch von Seiten der Sportpraxis des deutschen Gewichthebens durch die Auflistung der TÜ *Zug breit* im Übungskomplex für das Schnellkrafttraining des Trainingsmittelkatalogs deutlich (Lippmann & Jentsch, 1996; Lippmann & Keine, 1991). Die Spezifik der TÜ *Zug breit* für das Training der Gelenkantriebe ist dann gegeben, wenn die dynamisch-energetische sowie kinematische Struktur der TÜ *Zug breit* mit der Gestaltung der Beschleunigungsphase im *Reißen* übereinstimmt (Deutscher, 1975; Jentsch, 1988; Worobjow, 1984). Diese Annahme scheint plausibel und gerechtfertigt, allerdings zeigten bereits Untersuchungen von Deutscher (1975), Frolov et al. (1983), Medvedjev, Frolov, Lukashev und Krasov (1983) sowie Häkkinen und Kauhanen (1986), dass der geforderte Übereinstimmungsgrad zwischen der Beschleunigungsphase in der Zugübung und der Beschleunigungsphase der Wettkampfübung oftmals nicht erreicht wird. Es wurden Abweichungen in der Kinematik der Hantel- und Körperbewegung sowie der Bodenreaktionskraft festgestellt. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass den extern gemessenen Abweichungen (Bodenreaktionskräfte, Winkelgeschwindigkeiten etc.) zwischen der TÜ *Zug breit* und der Beschleunigungsphase des *Reißens* interne Ursachen in der Koordination der Muskeln und deren Beiträge zur Bewegungsrealisation zugrunde liegen. Ergebnisse elektromyografischer Untersuchungen von Häkkinen und Kauhanen (1986) sowie Hoth (1981) belegen, dass im direkten Vergleich zwischen Zug- und Wettkampfübungen selbst bei gleichen Lasten unterschiedlich starke Aktivierungen der beteiligten Muskulatur in beiden Übungen vorhanden sind. Diese Aktivitätsunterschiede weisen auf veränderte Kräfteinsätze hin, die sich in der Bewegungsstruktur wiederfinden. Abweichende Muster in der Bewegungsstruktur in der Zugübung gegenüber der Beschleunigungsphase in der Wettkampfübung sind mit abweichenden muskulären Beanspruchungen der Gelenkantriebe verbunden, wodurch eine andere neuromuskuläre Anpassung entsteht. Eine weitere Problematik besteht darin, dass selbst bei ein und

derselben T \ddot{U} bereits unterschiedlich hohe Hantellasten die Bewegungsstruktur beeinflussen und damit veränderte neuromuskuläre Anpassungen wahrscheinlich machen (Häkkinen, Kauhanen & Komi, 1984). Aus den bisher zitierten Quellen zur Übereinstimmung der Zugübung und der Beschleunigungsphase der Wettkampfübung besteht deshalb die begründete Annahme, dass die Bewegungsstruktur in der T \ddot{U} *Zug breit* nicht in jedem Fall der Bewegungsstruktur in der Beschleunigungsphase des *Reißens* entspricht. Es ist weiterhin davon auszugehen, dass sich die Bewegungsstruktur bei ein und derselben T \ddot{U} selbst bei identischen Lasten verändert. Zusätzlich sind Veränderungen der Bewegungsstruktur innerhalb eines Makrozyklus (MAZ) im Gewichtheben denkbar, wenn bestimmte Trainingsinhalte absolviert wurden und Gelenkantriebe ihre Krafftigkeiten verändern.

Werden durch die genannten Einflussgrößen (Hantellast, Trainingszeitpunkt) die Gelenkantriebe in der T \ddot{U} *Zug breit* anders trainiert und damit anders beansprucht als für das *Reißen* im Bereich maximaler Lasten notwendig, dann ist die Wirksamkeit der T \ddot{U} *Zug breit* auf die Beschleunigungsphase der Wettkampfübung differenziert zu betrachten (Stone, Pierce, Sands & Stone, 2006). Eine direkte und spezifische Trainings- bzw. Transferwirkung auf die WK \ddot{U} *Reißen* kann der T \ddot{U} *Zug breit* deshalb nicht ohne biomechanische Analyse in Abhängigkeit bestimmter Einflussgrößen bedenkenlos zugesprochen werden. Häkkinen und Kauhanen betonen in diesem Zusammenhang:

„A great deal of these assistant exercises are made to improve the different phases of the pull of the olympic snatch and clean, although the effects of these exercises are rarely known due to a limited amount of data available about the biomechanical structure of these assistant exercises“ (Häkkinen & Kauhanen, 1986, S. 272).

Wenn bekannt ist, wie die Gelenkantriebe in der T \ddot{U} *Zug breit* trainiert werden und welchen Einfluss Last und Trainingszeitpunkt auf die neuromuskuläre Beanspruchung haben, dann kann die Transferwirkung dieser Übung für die Beschleunigungsphase des *Reißens* abgeschätzt werden. Für die T \ddot{U} *Zug breit* existieren bislang keine umfassenden dynamisch-energetischen sowie kinematischen Untersuchungen zur Bewegungsstruktur auf Gelenkebene (Knöchel, Knie, Hüfte), die auf eine Transferwirkung für die WK \ddot{U} *Reißen* abzielen und für die Sportpraxis verwertbare Informationen liefern.

Die Zielstellung der Arbeit besteht darin, einen Beitrag zur Optimierung der Belastungs- und Beanspruchungsgestaltung des Schnellkrafttrainings der unteren Extremitäten für die Beschleunigungsphase im Gewichtheben zu leisten. Zur Umsetzung der Zielstellung soll für die T \ddot{U} *Zug breit* analysiert werden, welchen Einfluss 1) die Höhe der Hantellast und 2) der Trainingszeitpunkt im MAZ auf die Gelenkbelastung in Knöchel, Knie und Hüfte und die damit verbundene neuromuskuläre Beanspruchung des jeweiligen Gelenkantriebes hat. Weiterhin soll 3) die Belastung der gleichen Gelenke im *Reißen* im Bereich der Wettkampflasten (95-100 %) dargestellt und mit den Gelenkbelastungen in der T \ddot{U} *Zug breit* verglichen werden. Die bestehenden Unterschiede/Gemeinsamkeiten zwischen der T \ddot{U} und der WK \ddot{U} sollen abschließend

im Sinne trainingsmethodischer Konsequenzen für die potenzielle Trainingswirkung der TÜ *Zug breit* auf die Beschleunigungsphase des *Reißens* bewertet werden.

3 Forschungsstand zur sportlichen Technik in der WKÜ *Reißen* und der TÜ *Zug breit*

In diesem Kapitel wird der internationale Forschungsstand zur Beschleunigungsphase der WKÜ *Reißen* und der TÜ *Zug breit* aufgearbeitet. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung der kinematischen und dynamisch-energetischen Bewegungsstruktur von Körper und Hantel sowie der Vergleich der Bewegungsstrukturen zwischen *Reißen* und *Zug breit* hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschieden. Der inhaltliche Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Analyse von Belastungen auf Gelenkebene der unteren Extremitäten. Zur Beschreibung der sportlichen Technik werden deshalb zu den üblichen kinematischen Parametern auch dynamisch-energetische Parameter genutzt. Für eine bessere Einordnung der Zusammenhänge zwischen dynamischen Parametern auf Gelenkebene, den dynamischen Parametern der Bodenreaktionskraft und der Bewegungsausführung werden in einem einleitenden Teilkapitel zunächst die Zusammenhänge dieser Parameter erläutert.

3.1 Gelenkmomente und Bodenreaktionskraft

Die Bewegung des Körpers – genauer gesagt, die Bewegung der Segmente/Glieder des Körpers – entsteht durch (lineare) Muskelkräfte, die über einen inneren Hebelarm in einem Gelenk wirken und ein Moment (Rotation) erzeugen, wodurch eine Rotationsbewegung bzw. Bewegung der Glieder entsteht (Zatsiorsky, 2002). Dieses Moment wird internes Moment oder Muskelkraftmoment genannt. Die Rotation des Segmentes erzeugt aufgrund der Masse des Segmentes, der Lage des Segmentenschwerpunktes, der Beschleunigung des Segmentes sowie der Lage im Raum (Hebelwirkung) ein Belastungsmoment im jeweiligen Gelenk. Dieses Moment wird externes Moment genannt und wirkt entgegengesetzt zum internen Moment. Im einfachsten Fall (nur ein Muskel wirkt an einem Gelenk) ist das externe Moment (Belastungsmoment) bei einer Bewegung bzw. Gliederstellung das Ergebnis des internen Moments (Muskelkraftmoment) und demzufolge das Ergebnis der Muskelkraft. Aufgrund dieser Proportionalität kann in diesem einfachen Fall das externe Moment als Gradmesser für die entwickelte Muskelkraft angesehen werden. Muskeln, die in einem Gelenk ein Moment erzeugen, werden als Gelenkantriebe bezeichnet. Die Formulierung „Gelenkantrieb“ ist die abstrakte und funktionelle Bezeichnung für alle Muskeln, die in einem Gelenk ein Moment in eine bestimmte Richtung (Flexion, Extension) erzeugen können. Der Gelenkantrieb für ein Extensionsmoment im Knie bezeichnet demnach alle Muskeln, die im Knie eine Extensionsfunktion wahrnehmen. Da weder interne noch externe Momente in den Gelenken bei mehrgelenkigen sportlichen Bewegungen in vivo direkt gemessen werden können, werden bspw. mithilfe

der mathematischen Modellierung externe Gelenkmomente über die inverse Dynamik berechnet. Nachfolgend wird in dieser Arbeit unter „Gelenkmoment“ nur das externe Moment bzw. das auftretende Belastungsmoment verstanden. Bei externen Momenten handelt es sich um „Netto“-Momente, die als Summe mehrerer Muskelkraftmomente⁷ nach außen an einem Gelenk an die Umwelt abgegeben werden. Damit im Gewichtheben der Körper und eine Hantellast gehoben werden kann, muss der Athlet interne Momente in den Gelenken bereitstellen, die als koordiniertes Zusammenspiel in Form externer Momente an die Umwelt abgegeben werden. Wie bereits in der Problemstellung formuliert, steht die Beschleunigung der Hantel auf die notwendige Geschwindigkeit mit der an den Boden abgegebenen Kraftwirkung in Zusammenhang. Diese Kraftwirkung ist das Resultat der externen Momente in den Gelenken sowie der Segmentbewegung der unteren Extremitäten. Die an die Umgebung abgegebene Kraft wird dabei als *endpoint force* (resultierende Gesamtkraft als Vektor) bezeichnet (Zatsiorsky, 2002). Die Kombination aus der Höhe der erzeugten Gelenkmomente in Knöchel, Knie und Hüfte sowie deren zeitlicher Einsatz ergibt die Höhe, die Richtung und den Angriffspunkt der *endpoint force*, die an den Boden über die Füße abgegeben wird. Die Steuerung und Regulation der resultierenden Kraftwirkung am Boden ist dabei von verschiedenen Zwangsbedingungen abhängig (Prilutsky, Isaka, Albrecht & Gregor, 1998; Toussaint, Commissaris, Van Dieën, Reijnen, Praet & Beek, 1995; van Ingen Schenau, 1989; van Ingen Schenau, Boots, de Groot, Snackers & van Woensel, 1992). Die Wahrung des Gleichgewichts kann bei einer aufrechten Bewegung als wesentliche Zwangsbedingung für die Steuerung der Gesamtkraft am Boden angesehen werden (Horak, 2006; Toussaint, Commissaris, Hoozemans, Ober & Beek, 1997b; Zatsiorsky, 1998).

Das grundlegende Bewegungsziel in der Beschleunigungsphase des Gewichthebens ist es, eine gewisse Höhe der resultierenden Gesamtkraft über die Gliederbewegung zu erzeugen, um den Körper und die Last anzuheben und sie entsprechend zu beschleunigen. Beim motorischen Umsetzen der Bewegungszielstellung muss neben der Lösung der eigentlichen Bewegungsaufgabe auch die Wahrung des Gleichgewichts gesteuert werden (Commissaris & Toussaint, 1997; Scholz & McMillan, 1995; Toussaint, Commissaris & Beek, 1997a; Toussaint, van Baar, van Langen, de Looze & van Dieën, 1992). Als Gleichgewicht wird verstanden, dass der Systemschwerpunkt (SSP) aus Körperschwerpunkt (KSP) des Sportlers und der Hantelschwerpunkt (HSP) in der vertikalen Projektion während der Hebung über der Unterstützungsfläche des Fußes bleibt (Zekov, 1976). Neben der Höhe der antriebswirksamen vertikalen Kraft muss zur Wahrung des Gleichgewichts die Richtung (zusätzliche horizontale Kraft) und der Kraftangriffspunkt (KAP) des resultierenden Kraftvektors durch die Verteilung der Momente in den Gelenken der unteren Extremitäten gesteuert werden (Toussaint et al., 1995). Diese Zusammenhänge sind wie folgt zu verstehen: Damit eine Bewegung des Systems aus Sportler und Hantel nach

⁷ Zusätzlich zu den aktiven Muskelkraftmomenten wirken auch Momente aufgrund passiver Kräfte in Form von Bänder-, Sehnen- und Reibungskräften. Diese passiven Momente sollen jedoch in dieser Arbeit vernachlässigt werden.

oben erfolgen kann, muss eine resultierende Gesamtkraft, ausgehend vom Boden, am SSP des Sportler-Hantel-Systems wirken. Für eine translatorische Bewegung des SSP nach oben muss die Kraftwirkung unter dem SSP eingeleitet werden (KAP direkt unter SSP). Kommt es aufgrund von extern oder intern bedingten Störungen zu einer horizontalen Auslenkung des SSP, erzeugt der SSP in Relation zum vorherigen KAP ein Kippmoment und somit eine Bewegung des Sportler-Hantel-Systems vor oder zurück. Gleichzeitig bewegt sich der SSP zu den Rändern der Unterstü-
tzungsfläche des Fußes. Die durch das Kippmoment entstandene Bewegung des SSP muss zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts durch ein entgegengesetztes, aktives Drehmoment am SSP ausgeglichen werden. Dieses entgegengesetzte „Ausgleichsmoment“ wird über den Vektor der Gesamtkraft reguliert. Die Regulation kann hierbei zum einen über die Veränderung der Richtung des Kraftvektors und zum anderen über die Lage des KAP der Kraft am Fuß erfolgen. Die Regulation des Kraftvektors (Richtung, Höhe, KAP) erfolgt wiederum über die Abgabe der Momente in den Gelenken der unteren Extremitäten. Die Verlagerung des KAP unter dem Fuß wird dabei vorrangig über das Moment im Fußgelenk beeinflusst (Winter, 1995; Yoshioka, Nagano, Himeno & Fukushima, 2007; Zatsiorsky, 2002). Für die Richtung des resultierenden Kraftvektors sind vorrangig die Momente im Knie- und Hüftgelenk verantwortlich (van Ingen Schenau et al., 1992). Neben der Gleichgewichtsregulation dient die Interaktion zwischen resultierendem Kraftvektor und dem SSP auch zur Steuerung der Bewegung an sich. Bei einer dynamischen Bewegung wie dem Gewichtheben arbeiten beide Mechanismen gleichzeitig. Beim Anheben einer Last, die vor dem Körper liegt, wird von der Last ein vorwärts gerichtetes Kippmoment auf den Körper erzeugt. Zur Steuerung der Bewegung und zum Ausgleich des Kippmoments muss der resultierende Kraftvektor seinen KAP unter bzw. vor dem SSP haben (Toussaint et al., 1995; Winter, 1995). Im Gewichtheben hat diese Gleichgewichtsregulation einen entscheidenden Einfluss auf die Bewegungskoordination der Hebung, da während der gesamten Hebung stets der SSP über der Unterstü-
tzungsfläche des Fußes bleiben muss (Stone, O’Byrant, Williams, Johnson & Pierce, 1998; Szabo, 2012; Weide, 1989; Zekov, 1976). Wird zudem die Hantel in der 1. Zugphase, aufgrund der mangelnden Fähigkeit das Gleichgewicht zu halten, nicht nach hinten, sondern nur senkrecht nach oben gehoben, so hat dies Auswirkungen auf den weiteren Verlauf der Hebung. In diesem speziellen Fall wird die gesamte Hebung der Hantel zu stark auf dem Vorderfuß ausgeführt. Im Ergebnis kommt es zu einem Vorschleudern der Hantel, begleitet von einem Vorspringen des Athleten. Die horizontale Bewegung der Hantel nach vorn erzeugt ungünstige horizontale Kräfte, die erneut abgebremst werden müssen. Gleichzeitig kann ein starkes Vorspringen des Athleten zu Verletzungen im Ellenbogenbereich führen, wenn er versucht die herabfallende Hantel abzubremsen. Auch bei einer unveränderten Hantelführung ist zu vermuten, dass bei steigender Hantellast die Zwangsbedingung das Gleichgewicht zu halten, die Abgabe der Beschleunigungskraft auf den Boden verringert bzw. limitiert. Demzufolge reduziert die Gleichgewichtsregulation die Beschleunigungswirkung an der Hantel. Da die Wahrung des Gleichgewichts und die Beschleunigungswirkung des

Sportler-Hantel-Systemen durch die Ausrichtung des resultierenden Kraftvektors zum SSP in direkter Abhängigkeit zu den Momenten der unteren Extremitäten steht, ist die Analyse der Leistungsvoraussetzungen auf Gelenkebene bei der Hebung eine Möglichkeit, die Ursache für reduzierte Beschleunigungskräfte am SSP zu ermitteln. Gleichzeitig könnte unterschieden werden, ob der Sportler ein „Kraftproblem“ oder ein „Gleichgewichtsproblem“⁸ hat, wenn er eine bestimmte Last nicht mehr entsprechend beschleunigen kann.

Zusammengefasst bedeutet es, dass die Momente in den Gelenken für eine Hebung entsprechend der Bewegungszielstellung koordiniert werden müssen, sodass zum einen die notwendige vertikale und horizontale Kraft für die Beschleunigung des Sportler-Hantel-Systems erzeugt und gleichzeitig das durch die Last erzeugte Kippmoment ausgeglichen wird. Im Gewichtheben kann als Beleg für den Ausgleich des Kippmoments der Last die Vorverlagerung des KAP zu den Zehenspitzen kurz vor dem Abheben der Hantel verstanden werden (Garhammer & Taylor, 1984). Damit die vor dem Körper liegende Hantellast nach dem Abheben zum Körper geführt werden kann, muss der Kraftvektor nicht nur unter, sondern auch in einem Abstand vor dem SSP wirken. Diese Ausrichtung der resultierenden Bodenreaktionskraft erzeugt ein rückwärtsgerichtetes Drehmoment am SSP wodurch der HSP zum KSP geführt wird und sich der gemeinsame SSP näher zur Mitte der Unterstützungsfläche befindet (Abb. 1) (Toussaint et al., 1995).

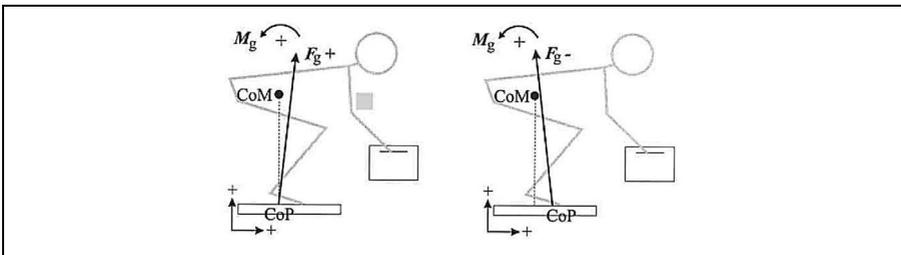


Abb. 1. Zwei schematische Möglichkeiten der Ausrichtung der resultierenden Bodenreaktionskraft und des KAP (CoP) für ein rückwärtsgerichtetes Drehmoment am SSP (CoM) zum Ausgleich eines Kippmoments beim Anheben einer Kiste (M_g = Drehmoment am SSP, F_g = resultierende Bodenreaktionskraft) (Commissaris, Toussaint & Hirschfeld, 2001)

Die Höhe der Gelenkmomente für die Erzeugung der notwendigen resultierenden Gesamtkraft in der Hebung ist dabei von der Gliederstellung (Einfluss auf Muskel­länge und Hebelarm [Kraftarm] der Muskeln), der Bewegungsgeschwindigkeit und damit von der Gelenkleistung (Einfluss auf Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels) sowie vom generellen Kraftvermögen der am Gelenk angreifenden Muskeln

⁸ Im weiteren Sinne entsteht auch ein „Gleichgewichtsproblem“ aus limitierten Leistungsvoraussetzungen der Gelenkantriebe. Bei einem „Kraftproblem“ ist anzunehmen, dass die Gelenkantriebe nur die vertikale Kraftwirkung am SSP limitieren, während beim „Gleichgewichtsproblem“ der Ausgleich des Kippmoments am SSP durch die Gelenkantriebe begrenzt ist.

abhängig. Hierbei sei noch einmal auf die Abhängigkeit der Kraftentwicklung der Gelenkantriebe hinsichtlich der Muskellänge (Gelenkwinkel) und der Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels (Gelenkwinkelgeschwindigkeit) hingewiesen. Während beim Start unter statischen Bedingungen lediglich die Muskellänge und die Körperposition einen Einfluss auf die erzeugte Muskelkraft (und somit auch auf das Gelenkmoment) hat (Kraft-Längen-Relation, bzw. Drehmoment-Längen-Relation), kommt es mit Beginn der Rotation in den Gelenken zusätzlich zu einer Abhängigkeit der maximalen Muskelkraft bzw. des maximalen Gelenkmoments von der Gelenkwinkelgeschwindigkeit (Anderson, Madigan & Nussbaum, 2007; Fuglevand, 1987; Marshall, Mazur & Taylor, 1990). Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Gelenkantriebe unter dynamischen Bedingungen wird deshalb in vielen Fällen die Gelenkleistung sowie die Gelenkarbeit herangezogen (Arampatzis, Brüggemann & Schade, 1998; Enoka, 1983; 1988; Knauf et al., 1982; Moir, Gollie, Davis, Guers & Witmer, 2012; Witt & Hildebrand, 1995). Ist bei einer Laststeigerung ein Gelenkantrieb nicht mehr in der Lage, ein notwendiges Gelenkmoment in der Bewegung und in einer spezifischen Position abzugeben, verringert sich die resultierende Gesamtkraft (Höhe, Richtung, KAP), die am Ende der Gliederkette abgegeben werden kann. Diese Problematik ist ein häufig anzutreffendes Phänomen bei sportlichen Bewegungen (Wank, Friedrichs & Blickhan, 1999; Zatsiorsky, 2002), wobei in diesem Zusammenhang von „limiting joints“ gesprochen wird. Damit die Bewegungsaufgabe unter den auftretenden Zwangsbedingungen (u. a. Gleichgewichtswahrung) trotzdem ausgeführt werden kann, kommt es zur Veränderung der Bewegungsstruktur (Scholz, 1993b). Ein sehr bedeutender Auslöser für eine Veränderung der Bewegungsstruktur (auf kinematischer und dynamisch-energetischer Ebene) beim Anheben von Lasten, ist die Höhe der zu hebenden Last (Graham, Smallman, Sadler & Stevenson, 2013; Hagen, Sørhagen & Harms-Ringdahl, 1995; Scholz, Millford & McMillan, 1995). Dies trifft gleichwohl auch auf den spezifischen Anwendungsfall für die Beschleunigungsphase im Gewichtheben zu (Kipp, Harris & Sabick, 2011; Kipp, Harris & Sabick, 2012a). Die veränderte Bewegungsstruktur hat zur Folge, dass sich die an den Boden abgegebene Gesamtkraft reduziert und die Beschleunigung der Hantel geringer wird. Die Veränderungen der Bewegungsstruktur können im Gewichtheben nur so lange toleriert werden, bis die Hantel nicht mehr auf die notwendige Geschwindigkeit beschleunigt werden kann, um eine Hebung gültig zu gestalten. Damit eine höhere Last auf die notwendige vertikale Geschwindigkeit beschleunigt werden kann, müssen die Gelenkantriebe durch ein geeignetes Training gekräftigt werden. Erst wenn die Gelenkantriebe in der Lage sind, höhere Momente und damit eine höhere resultierende Gesamtkraft aufzubringen, kann eine ausreichende Hantelbeschleunigung bei einer höheren Last realisiert werden.

3.2 Anforderungsprofil der Beschleunigungsphase in der WKÜ *Reißen* und TÜ *Zug breit*

Die generelle Technikstruktur des *Reißens* kann nach Lippmann, Weide und Klaiber (1986) in drei Bewegungsphasen untergliedert werden, die in dieser Form auch in den anderen beiden Bewegungskomplexen (Umsetzen und Ausstoßen) vorhanden sind:

1. Beschleunigung,
2. Umgruppieren,
3. Abbremsen, Fixieren und Aufstehen.

In dieser Phasenstruktur ist die Beschleunigungsphase die wichtigste Bewegungsphase des *Reißens*, da in ihr dem Sportgerät die notwendige Geschwindigkeit für eine Hebung erteilt wird. Im nachfolgenden Abschnitt soll deshalb näher auf die Beschleunigungsphase im *Reißen* eingegangen werden. Es werden die sporttechnischen Merkmale für die Körper- und Hantelbewegung unter Berücksichtigung der kinematischen und dynamischen Beschreibungsebenen dargestellt. Die TÜ *Zug breit* beinhaltet nur die Ausführung der Beschleunigungsphase des *Reißens*, ohne die nachfolgenden Bewegungsphasen. Dabei besteht die grundlegende Absicht, die TÜ *Zug breit* identisch der Beschleunigungsphase im *Reißen* auszuführen (Deutscher, 1975). Aus diesem Grund wird auf eine gesonderte Abhandlung verzichtet. Bestehende Abweichungen zwischen der Beschleunigungsphase aus dem *Reißen* und der TÜ *Zug breit* werden parallel dargestellt, wobei nur drei Untersuchungen zum Vergleich zwischen der Beschleunigungsphase des *Reißens* und der TÜ *Zug breit* von Häkkinen und Kauhanen (1986), Deutscher (1975) sowie Frolov et al. (1983) existieren, auf die Bezug genommen werden kann.

Zur Beurteilung der sportlichen Technik der Beschleunigungsphase werden im Gewichtheben zwei grundsätzliche Analysevarianten herangezogen. So wird entweder das Sportgerät zur Analyse der sportlichen Technik verwendet oder die Bewegung des Sportlers selbst (Worobjow, 1984). Die Analyse des Sportlers stellt dabei die bessere Form der Technikanalyse dar, weil die Bewegung der Hantel nur als Ausdruck der zugrunde liegenden Körperbewegung anzusehen ist (Weide, 1989). Analog zu den Bewegungsphasen der gesamten Hebung im *Reißen* und der TÜ *Zug breit* wird auch die Beschleunigungsphase in Teilbewegungsphasen gegliedert (Abb. 2):

1. 1. Zugphase (Bewegungsphase von Start bis Ende 1. Zugphase),
2. Kniepassage (Ende 1. Zugphase bis Ende Kniepassage),
3. 2. Zugphase (Ende Kniepassage bis Ende 2. Zugphase).

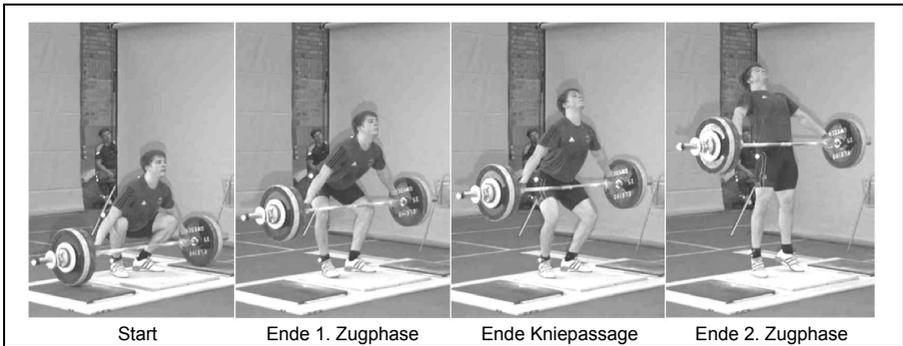


Abb. 2. Start-/Endposen der Startphase sowie der Teilbewegungsphasen der Beschleunigungsphase im *Reißen* und der *TÜ Zug breit* (von links: 1. Zugphase Bild 1/Bild 2, Kniepassage Bild 2/Bild 3, 2. Zugphase Bild 3/Bild 4)

Die Abgrenzung der einzelnen Bewegungsphasen voneinander wird in der internationalen Literatur über die Änderungen des Kniegelenkwinkels vorgenommen (Campos, Poletaev, Cuesta, Pablos & Carratalá, 2006; Gourgoulis, Aggelousis, Mavromatis & Garas, 2000; Häkkinen et al., 1984; Okada, Iijima, Fukunaga, Kikuchi & Kato, 2009). Diese Einteilung spiegelt sich in vielen Fällen in der Charakteristik des vertikalen Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsverlaufs der Hantel wider, weshalb oft lediglich die Hantelbewegung analysiert wird, um von ihr auf die komplexere körperliche Bewegung zu schließen (Lippmann et al., 1986).

Die Beschreibung der Beschleunigungsphase im Gewichtheben beginnt bei allen wissenschaftlichen Abhandlungen mit dem Moment des Abhebens der Hantel vom Boden und wird als Start bezeichnet. Allerdings weist Zekov (1976) darauf hin, dass auch vor dem unmittelbaren Start der Sportler und die Hantel in einer Interaktion stehen. Die Interaktion zwischen Sportler und Hantel vor dem Abheben ist von großer Bedeutung, da zum Abheben der Last zunächst ihre Gewichtskraft überwunden werden muss. Diesem Vorgang wurde bislang im Gewichtheben wenig Beachtung geschenkt. In dieser Arbeit soll deshalb für die Beschreibung der sportlichen Technik eine Startphase definiert und beschrieben werden. Da bislang keine Einteilung einer Startphase vorgenommen wurde, wird im Folgenden die Startphase als zeitlicher Bereich von $-0,2$ s vor dem unmittelbaren Abheben der Hantel definiert. Die Startphase wird beendet, wenn die Hantel den Boden verlässt und die 1. Zugphase beginnt.

3.2.1 Startphase

Die Körperhaltung zu Beginn der 1. Zugphase hat einen erheblichen Einfluss auf die Hebung, da hier die Voraussetzungen für die nachfolgenden Teilbewegungsphasen der Beschleunigungsphase geschaffen werden (Böttcher & Deutscher, 1999; Stone et al., 1998). Zu Beginn der Startphase steht der Sportler in seiner Startposition, jedoch haben Sportler sowie Hantel unterschiedliche Stützflächen und es existiert kein gemeinsamer Schwerpunkt. Mit dem aktiven Aufbringen der Kraft des Sportlers für