

**COMPUTERSIMULATION ZUR
BIOMECHANISCHEN DIAGNOSE DES
GEWICHTHEBENS**

**DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES DES DOKTORS
DER SOZIALWISSENSCHAFTEN AN DER UNIVERSITÄT
KONSTANZ, FACHBEREICH GESCHICHTE UND SOZIOLOGIE**

vorgelegt von

Khaled M. Zahran

Tag der mündlichen Prüfung: 30.05.2003

Referent: Professor Dr. H. Riehle

Referent: Professor PhD E. Hennig

Danksagung

Allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken, insbesondere meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. Hartmut Riehle für die Themenstellung und seine Betreuung, sowie Herrn Dr. Manfred Vieten für die hilfreiche Beratung bei der Erstellung der Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Professor PhD Ewald Hennig für die Begutachtung der Arbeit sowie Professor Dr. W. Kutsch für die Betreuung meiner Prüfung.

Ganz besonders bedanke ich mich bei den Mitarbeiterinnen der Fachgruppe Sportwissenschaft an der Universität Konstanz, Frau Bettina Hamann M.A. und Frau Gisela Kahles sowie Herrn Holger Braun für ihre Hilfe bei der Erstellung dieser Arbeit.

Außerdem möchte ich allen Probanden sowie meinen deutschen und ägyptischen Kollegen der Fachgruppe Sportwissenschaft an der Universität Konstanz für ihre Hilfe bei den Filmaufnahmen und der Digitalisierung danken, besonders den Trainern aus Leimen und dem Trainer Herrn Helmut Valentin aus Sindelfingen.

Weiterhin danke ich Dipl. päd. Mohamed Higazy, Dr.rer.nat. Ihab Kamal und Dipl. .Ing. Raafat Kadryia für die Übersetzung und Hilfe bei dieser Arbeit, allen Freunden und Mitarbeitern der Fachgruppe Sportwissenschaft der Universität El Minia sowie der ägyptischen Regierung für das Stipendium.

Ganz besonders bedanke mich bei meiner Familie (meiner Frau Heba, meinen Töchtern Zienab und Fatmaha, allen Brüdern und Schwestern) für ihr Verständnis während der Erstellung dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG	1
1.2	FRAGESTELLUNGEN UND ZIELSETZUNG	5
1.2.1	Fragestellungen	5
1.2.2	Zielsetzung der Arbeit	5
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	7
2.1	DAS REIßEN	10
2.1.1	Die erste und zweite Zugphase	12
2.1.1.1	Die erste Zugphase	12
2.1.1.2	Die zweite Zugphase	13
2.1.2	Umgruppieren, Hocke und Aufstehen	17
2.1.2.1	Die Hocke	18
2.1.3	Aufstehen aus der Hocke, Fixierung, Absetzen	20
2.2	MUSKELKOORDINATION BEIM ZUG	23
2.3	TECHNIKKONTROLLE BEIM GEWICHTHEBEN	24
2.4	TECHNIKKONTROLLE MIT HILFE DER HANTELGESCHWINDIGKEIT	26
2.5	TECHNIKKONTROLLE MIT HILFE DER HANTELFLUGBAHN	28
2.6	BILDVERARBEITUNG	33
2.7	BEWEGUNGSANALYSE	34
2.7.1	Das Koordinatensystem	34
2.7.2	Zeitinformation	35
2.8	DAS HANAVAN-MODELL	36
2.8.1	Aufbau des Modells aus Teilmodellen	36
2.8.2	Modellansatz	36
2.8.3	Teilmodell der Geometrie der Körperteile	36
2.8.4	Anwendung des Modells	37
2.9	STAND DER BIOMECHANISCH ORIENTIERTEN FORSCHUNG	38
2.9.1	Zusammenfassung	52

3	METHODIK	54
3.1	DIE PILOTPROJEKTE	55
3.2	DIE HAUPTUNTERSUCHUNG	55
3.2.1	Überblick	56
3.3	PROBANDEN	56
3.4	AUFNAHME	56
3.4.1	Vorbereitung des Aufnahmeorts	56
3.4.2	Vorbereitung der Probanden	56
3.4.3	Der Versuchsaufbau	57
3.4.4	Durchführung der Aufnahmen	58
3.4.5	Die anthropometrischen Messungen	59
3.4.6	Die Ausrüstung	59
3.5	MESSSYSTEM UND MESSVERFAHREN	59
3.6	VERARBEITUNG DER AUFNAHMEN IM COMPUTER	60
3.6.1	Digitalisierungsphase	60
3.6.2	Funktionsweise des Programms	60
3.6.3	Überspielen der Aufnahmen auf den Computer	61
3.6.4	Synchronisieren und Schneiden der Aufnahmen	62
3.6.5	Digitalisierungsphase	63
3.6.6	Transformieren der Daten als 3-D-Daten	68
3.6.7	Umwandeln der Daten in APA-Dateien	69
3.6.8	Fehlerkorrektur	70
3.7	MODELLERSTELLUNG	70
3.7.1	Human Builder	70
3.7.2	Anthropometrische Messung	71
3.7.3	Animation File	72
3.7.4	Filter	75
3.7.5	Graphiken	76
3.7.6	Project Center	77
3.7.7	Simulationsphase (SDS)	78
3.7.8	Vorbereitung der Daten für Statistica	80

4	ERGEBNISSE	81
4.1	BESCHREIBENDE STATISTIK DER BIOMECHANISCHEN VARIABLEN	81
5	DISKUSSION	92
5.1	BESTIMMTE PARAMETER DER COMPUTERSIMULATION	92
5.2	KORRELATION ZWISCHEN DER HANTEL UND DEM KÖRPERSCHWERPUNKTGESCHWINDIGKEIT NACH OBEN UND UNTEN SOWIE DER MUSKELENERGIE, HANTELFLUGBAHN UND HANTELGEWICHT	93
5.3	MUSKELENERGIE ALS ENTSCHEIDUNGSFAKTOR FÜR TECHNIK BEIM GEWICHTHEBEN	94
5.4	COMPUTERSIMULATION ALS INDIVIDUELLE TECHNIKUNTERSCHIEDUNG	95
6	ZUSAMMENFASSUNG	97
7	LITERATUR	99
8	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN	102
9	LISTE DER ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE	105
10	ANHANG	107

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Gewichtheben ist eine schwerathletische Sportart, bei der ein Gewicht ein- oder beidarmig in einem Versuch aus der Bodenlage zur Hochstrecke gebracht werden muss, die es bereits seit 2000 v.Chr. gibt. Schon in früher Zeit hoben die Menschen Steine und trugen viele Gegenstände, die als Kraftsymbole galten. In pharaonischer Zeit war Gewichtheben eine Sportart, die bereits mit festen Regeln betrieben wurde. In Pharaonischen Gräbern gibt es Bilder, auf denen Gewichthebebewegungen dargestellt sind, besonders in Beni Hasan im Gebiet von El Minia (Ägypten) (DECKER & HERB 1994). Danach war Gewichtheben eine schon bei den Olympischen Spielen bekannte Sportart. Sie wurde nicht wie heute ausgeführt, aber das Hauptziel war auch in dieser Zeit, große Steine über den Kopf zu heben. Im 18. Jahrhundert traten die ersten Gewichtheber (besonders in Großbritannien) als Berufssportler auf (SPORT-BROCKHAUS 1984, 194). Als sportliche Kraftübung kam das Gewichtheben um 1890 auf. 1891 wurde der erste Gewichtheber-Verband, der Deutsche Athleten-Bund, gegründet. 1892 wurde die erste Weltmeisterschaft in London ausgetragen. Daran beteiligten sich sechs Staaten mit insgesamt sieben Gewichthebern. Seit 1893 werden Deutsche Meisterschaften, seit 1896 Europameisterschaften und offiziell seit 1905 Weltmeisterschaften durchgeführt. Gewichtheben stand 1896 und 1904 ohne Gewichtsklassen bereits im olympischen Programm. Der 1920 in London gegründete Internationale Gewichtheberverband hat heute 167 Mitgliedsstaaten.

Vor 1972 gab es im Gewichtheben drei verschiedene Techniken (Reißen, Umsetzen und Stoßen sowie Drücken). Seit 1972 gibt es nur noch zwei Techniken. Diese Techniken sind Reißen, Umsetzen und Stoßen (Olympische Technik). Reißen bedeutet, dass der Gewichtheber die Hantel mit dem gesamten Gewicht mit einer Bewegung über den Kopf mit beiden Armen gleichzeitig hebt. Umsetzen und Stoßen heißt, die Hantel samt Gewicht mit einer Bewegung auf die Schulter mit beiden Armen zu bringen und anschließend im Stand die Hantel mit einer Bewegung über den Kopf zu heben (IWF 2001). Seit dem Jahre 1998 gibt es jeweils acht Gewichtsklassen für Männer und sieben für Frauen (Tab. 1).

Tab. 1: Die Gewichtsklassen für Männer und Frauen

N	Gewichtsklasse Männer	Gewichtsklasse Frauen
1	56	48
2	62	53
3	69	58
4	77	63
5	85	69
6	94	75
7	105	+75
8	+105	

N = Anzahl der Gewichtsklassen

Gewichtheben wurde bis 1985 nur von Männern ausgeübt. Seit 1986 wird Gewichtheben auch von Frauen betrieben. Frauen nehmen seit 1986 an Europameisterschaften, seit 1987 an Weltmeisterschaften und seit 2000 an den Olympischen Spielen teil. (www.iwf.net). Die Gewichtheber aus Deutschland und Österreich waren zwischen 1903 und 1936 sehr erfolgreich. Gewichtheben ist seitdem nicht nur als Individualsportart, sondern auch als Kraftübung für andere Sportarten ausgewiesen. Deswegen existiert seit dieser Zeit im Gewichtheben überall die deutsche Technik (Reißen, Umsetzen und Stoßen mit voller Kniebeuge). Obwohl die Deutschen und Österreicher im Gewichtheben sehr erfolgreich waren, hatten die Ägypter von 1936 bis 1951 bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen größere Erfolge (WEBSTER 1986, 9, 10). Seit 1952 kamen die Russen hinzu und führten die Deutsche Technik (Heben mit voller Kniebeuge) fort. Mit dieser Technik haben viele Athleten Weltmeisterschaften gewonnen. Diese Technik ist bis heute die Haupttechnik für alle Gewichtheber bei Männern und Frauen. Deutschland ist im Gewichtheben ein sehr erfolgreiches Land, obwohl diese Sportart in Deutschland zu den Randsportarten zählt. Es gibt ca. 20.000 Aktive, eine vergleichsweise geringe Zahl zu der ca. 1 Million in China und den 300.000 im Gebiet der früheren Sowjetunion. Trotzdem sind deutsche Gewichtheber weltweit sehr erfolgreich. In den letzten Jahren rangierten sie in der Nationenwertung zwischen Platz 3 und 5 in der Welt (KLÜMPER 1998, 22).

Werden die internationalen Rekorde für Gewichtheben näher betrachtet, so stellt sich heraus, dass große Unterschiede zwischen den Bestwerten vor 10 Jahren und denen in heutiger Zeit bestehen (Tab. 2).

Tab. 2: Rekorde der Weltmeisterschaften (1998-2002) in jeder Gewichtsklasse beim Reißen, Umsetzen und Stoßen sowie beide Übungen in Kilogramm und Prozent (Prozent ist Total/Körpermasse) (IWF 2002)

Gewichtsklassen	Reißen (kg)	Stoßen (kg)	Total (kg)	Prozent (%)
56	138	168	305	5.45
62	153	182	325	5.24
69	165	196	357	5.17
77	173	210	377	4.90
85	182	218	395	4.64
94	188	232	417	4.44
105	198	242	440	4.19
+105	212	263	472	4.50

Diese Unterschiede resultieren zum einen von den wissenschaftlichen Erkenntnissen und zum anderen von den Trainingsmethoden für Gewichtheben. In den letzten 20 Jahren wurden zahlreiche Aufsätze über Gewichtheben publiziert (ENOKA 1979; MEDVEDEV et al 1983; GARHAMMER 1982; BAUMANN et al. 1988; WEIDE 1989; FUNATO et al. 1996; BÖTTCHER & DEUTSCHER 1999). Obwohl zahlreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, gibt es besonders für Trainer noch viele unbeantwortete Fragen zur Technik. Ein Beispiel ist die Korrelation zwischen der Hantelgeschwindigkeit nach oben und der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten während der Umgruppierungsphase (Umgruppierungsphase heißt, dass der

Gewichtheber von foot off bis unter die Hantel gesunken ist und die Hantel oben blockieren kann). Auch andere Fragen, beispielsweise wie viel Muskelenergie ein Gewichtheber beim Heben bestimmter Gewichte verbraucht, konnten noch nicht gelöst werden. Um diese und andere Fragen zu beantworten, müssen bestimmte Methoden entwickelt werden. Heutzutage gibt es zahlreiche Softwareentwicklungen und Computersimulationen für verschiedene Sportarten, in die eine bestimmte Methode für Gewichtheben eingebaut werden kann. Über Computersimulation hat BAUMANN (1989) geschrieben, dass die Abweichung des Ergebnisses von der Computersimulation und anderen bestimmten Methode nicht signifikant ist. VIETEN et al. (1998) haben diese Methode der Simulation auf Tennisspieler angewendet und kommen zu dem Ergebnis, dass Muskelenergie berechnet werden kann und die Effizienz für jeden Sportler deutlich gezeigt wird. Es gibt einige Publikationen über Computersimulationen, die mit verschiedener Software durchgeführt wurden (BAUMANN 1985; VIETEN et al. 1998; WEIDE 1989). Das bedeutet, dass es wichtig ist, für Gewichtheben eine Methode mit dieser Technik zu entwickeln, mit der die Trainer und Sportler selbst Informationen erhalten. Für Trainer ist wichtig, Fragen zu beantworten, damit der Trainingsplan ihrer Athleten verbessert werden kann und die Technikfehler korrigiert werden können. Computersimulation (für jeden Sportler wird eine Filmaufnahme mit mindestens zwei Kameras durchgeführt. Die Aufnahme wird mit einem Digitalisierungsprogramm digitalisiert und die Digitalisierungsdatei in Bezug auf die Anthropometrie für jeden Sportler mit Hilfe der Programme Human Builder und SDS simuliert) hat den Vorteil, dass die Messung nur einmal durchgeführt und die Bewegung im Computer gespeichert wird, so dass sie Trainer und Sportler sehen können und sie auch mit denen anderer Sportler oder anderen Messungen von Sportlern vergleichen können. Auch der Trainer kann mit dieser Methode diverse Technikfehler (z.B. wenn die Hantel mehr als nötig nach oben gezogen wird oder in der Umgruppierungsphase der Körperschwerpunkt langsamer nach unten gebracht wird) herausfinden, die er nicht mit anderen Methoden feststellen kann (WEIDE 1989, 7).

Gewichtheben ist eine Individualsportart, bei der die Technik des Reißens, Umsetzen und Stoßens sowie körperlichen Fähigkeiten (Beweglichkeit der Gelenke, Maximalkraft, Schnellkraft, Koordination und Gleichgewicht) eine große Rolle spielen, wenn der Athlet in dieser Sportart große Erfolge erringen will (ZAHARAN 1992). Gewichtheber können nicht ohne gute Technik die Oberstufe bei Meisterschaften erreichen. Deswegen haben verschiedene Forscher (HANA 1970; CARL 1976; VOROBIEV 1984; AJAN/ BAROGA 1988 und LEAR 1991) die Gewichthebetechnik beschrieben und kommen zu dem Ergebnis, dass kein Gewichtheber große Erfolge erreichen kann, wenn er nicht über eine gute Technik und ausreichende körperliche Fähigkeiten verfügt, mit denen er diese Technik durchführen kann. Jeder Trainer und Sportler im Bereich Gewichtheben versucht, immer neue Rekorde bei Wettkämpfen aufzustellen und Verletzungen zu vermeiden. Deswegen trainieren Gewichtheber jeden Tag spezielle Techniken und Hilfsübungen, mit denen sie einen optimalen Bewegungsablauf erreichen und die körperlichen Fähigkeiten weiterentwickeln können.

Das klassische Reißen ist eine Schnelligkeits-Kraft-Übung, bei der die Hantel entsprechend den Wettkampfbestimmungen in einer ununterbrochenen Bewegung vom

Boden aus mit ausgestreckten Armen nach oben gebracht werden muss. Der Vorgang des Reißens dauert im Durchschnitt 2.5 bis 3 s, ohne die Dauer der statischen Stellungen beim Start und die Fixierung des gehobenen Gewichts. Die komplexe Technik des Reißens ist insbesondere verbunden mit der Notwendigkeit, das motorische Potential bei schneller Hantelbewegung zu realisieren. Die Hantel über dem Kopf zu halten und das Gleichgewicht des Körpers bei einer horizontalen Vor- und Rückwärtsbewegung des Gerätes zu bewahren, stellt hohe Ansprüche an die motorischen Fähigkeiten, an das Bewegungsgefühl und die Beweglichkeit in den Gelenken (VOROBIEV 1984, 42). Aufgrund dieser Tatsache ist die Technik des Reißens von besonderem Interesse.

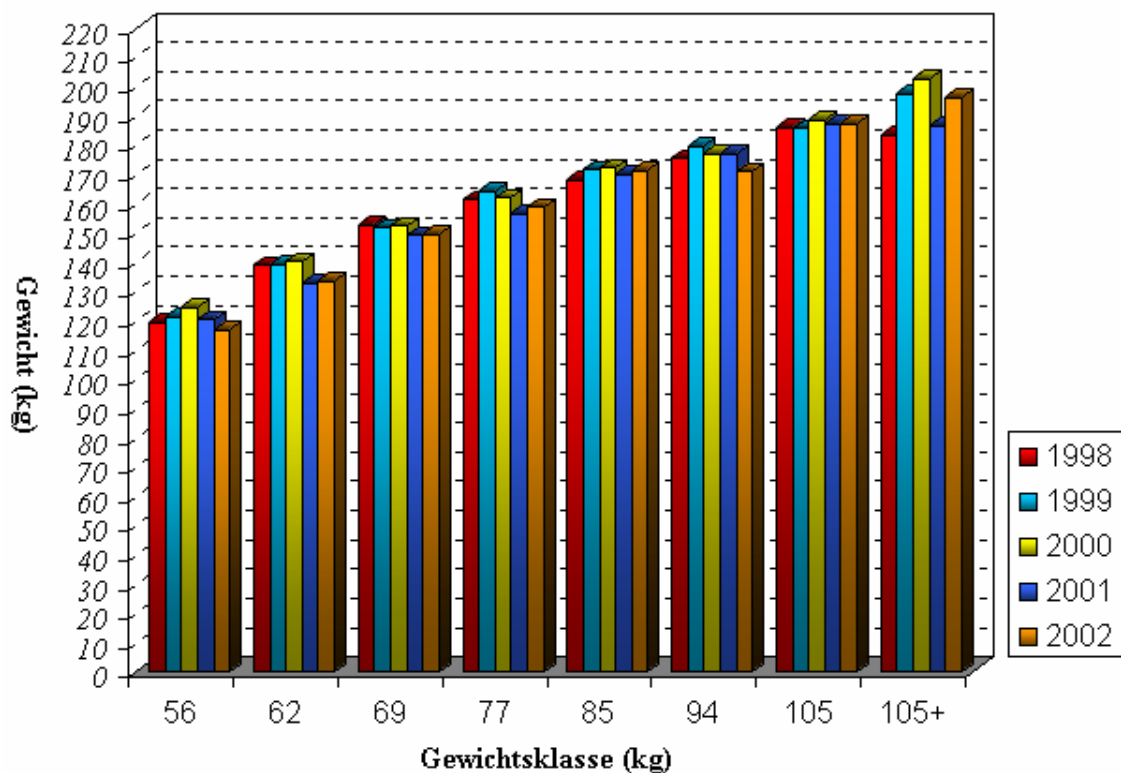


Abb.1: Weltrekorde von 1998 – 2002. Mittelwerte der zehn besten Gewichtheber jeder Gewichtsklasse (IWF)

Aufgrund eigener Erfahrungen als ehemaliger Gewichtheber und Trainer im Gewichtheben ist zu bemerken, dass es keine bestimmende Methode für Gewichtheben gibt, mit der Informationen über die Hantelflugbahn, Körperschwerpunktflugbahn, Muskelenergie, Hantelgeschwindigkeit und Körperschwerpunktgeschwindigkeit direkt gemessen werden können. Deswegen wird in dieser Arbeit versucht, eine diagnostische Methode für das Reißens beim Gewichtheben zu entwickeln.

1.2 Fragestellungen und Zielsetzung

1.2.1 Fragestellungen

Die Hantelflugbahn (HHFBP), Hantelgeschwindigkeit (VH), KSP-Geschwindigkeit (VKSP) und Muskelenergie (E_{mus}) während des Reißens sind biomechanische Variablen, denen gerade bei der Trainings- und Wettkampfanalyse eine große Bedeutung zugeschrieben wird (BAUMANN et al. 1988; ISAKA et al. 1996; ZAHRAN et al. 2002).

Bei ISAKA et al. (1996) ist die Hantelflugbahn (HHFBP) der wichtigste Teil des Reißens. Er konstatiert, dass die Trainer nur an der Erhöhung der Hantelgeschwindigkeit und der KSP-Geschwindigkeit (VKSP) interessiert sind und dass durch ein Training, das die Bedürfnisse des Gewichthebers berücksichtigt, nicht nur die Entwicklung seiner Kraft, sondern auch die Schnellkraft und Fähigkeit der Flexibilität verbessert werden kann. Darüber hinaus sind die VH und VKSP als biomechanische Parameter bestimmt und sollen mittels des Trainings gesteigert werden.

Vom biomechanischen Gesichtspunkt aus wird die Körperschwerpunkts-Geschwindigkeit eines Gewichthebers durch die verschiedenen Variablen beeinflusst. Sie kann nicht nur durch die Parameter Hantelgeschwindigkeit nach oben-unten ((VHO), (VHU)) und KSP-Geschwindigkeit nach oben-unten ((VSKPO), (VKSPU)), sondern auch durch die Hantelflugbahn bestimmt werden. Zu diesen Variablen sind bislang keine Untersuchungen bekannt bzw. liegen keine Publikationen vor.

Deshalb lässt sich die Untersuchung und Entwicklung eines Verfahrens begründen, das es ermöglicht, durch Leistungsanalyse im Gewichtheben Kenntnisse darüber zu erhalten, welche biomechanischen Parameter bei der Methode eine wichtige Rolle im Gewichtheben spielen. Es gibt noch andere Variablen, durch die die Effizienz der Gewichtheber beurteilt werden kann. Nach VIETEN et al. (1998, 386) berechnet sich die

Muskelenergie ($E_{mus} = \sum_{i=2}^{15} \int |\dot{\omega}_i^p - \dot{\omega}_{i-1}^p| \dot{T}_i^p dt$) (hier speziell für das Hanavan-Modell)

und die Effizienz nach der Gleichung von ZAHRAN et al. (2002, 437) wie folgt:

$$\eta = \frac{E_{mus}}{E_{pot}} \quad (\eta = \text{Effizienz}, E_{mus} = \text{Muskelenergie}, E_{pot} = \text{Potentialenergie der Hantel})$$

1.2.2 Zielsetzung der Arbeit

Die korrekte Bestimmung der Einflussgröße der Variablen (HFB, KSPFB, VHO, VHU, VKSPO, VKSPU, E_{mus} , E_{pot}), insbesondere beim Reißen, spielt im Bereich des Gewichthebens eine wichtige Rolle. Diese Information leitet den gesamten Trainingsprozess in Richtung der Leistungsoptimierung einer dieser Variablen, d.h. die Variablen sind voneinander abhängig.

Damit der Trainer im Laufe der Saison verschiedene Techniken und Fehler korrigieren kann, muss er wissen, wie die Variablen beim Reißen aussehen und welche Beziehung zwischen diesen Parametern besteht.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Erstellung einer Diagnosemethode. Es wird ein Athletenprofil ermittelt, das mittels kinematischer und dynamischer Parameter die individuellen Stärken und Schwächen quantifiziert. Hieraus können geeignete Trainingsprogramme abgeleitet werden.

Hypothesen

1. Wird die für den Athleten individuelle Computersimulation erfolgreich als eine biomechanische Diagnosemethode für das Gewichtheben angewandt?
2. Welche Beziehung besteht zwischen der Hantelgeschwindigkeit, Körperschwerpunktgeschwindigkeit, dem Hantelgewicht und der Hantelflugbahn sowie der Muskelenergie?
3. Ist die Effizienz (Beziehung zwischen Muskelenergie und potentieller Energie der Hantel) entscheidend bei der Beurteilung der Technik des Gewichthebers?
4. Kann Computersimulation zur Erkennung intra-individueller Technikunterschiede angewendet werden?

2 Theoretische Grundlagen

Unter dem Begriff Technik wird die Gesamtheit von Vorgang und Mitteln der Verrichtung der Bewegung verstanden, die auf eine wirksame Weise die körperliche Leistung des Gewichthebers und seine geistigen Möglichkeiten sicherstellt (AJÁN/BAROGA1988, 42).

Technik umfasst sowohl die Form als auch den Inhalt der Bewegung. Unter Form wird die Struktur der Ausübung (ihre äußere Organisation) verstanden. Der Bewegungsinhalt stellt die qualitative Seite der Handlung dar. Während das Training der Bewegungsinhalte durch Motiv-Aktivität verbessert wird, führt dies zur Möglichkeit eines verbesserten Beherrschens der Bewegungsform. Dann beeinflusst die Form die Inhalte und verhindert oder beschleunigt ihre Entwicklung. Aus dieser Beziehung ergibt sich die aus der Praxis resultierende Tatsache, dass, wenn das Niveau der physischen Qualitäten niedrig ist, das Lernen einer vernünftigen und wirksamen Technik schwieriger wird.

Die korrekte Reihenfolge all dieser Bestandteile einer Übung begründet die Basis der Technik oder des Rahmens. Die Individualisierung der Technik (persönlicher Stil) wird von der Anwendung der Bestandteile der technischen Basis im Vergleich zu den einzelnen Besonderheiten zusammengefügt. Besondere Aufmerksamkeit muss auf das korrekte Erlernen der Technikgrundlagen am Anfang der Assimilierungsperiode gelenkt werden, mit einem Augenmerk auf den Aufbau einiger adäquater Motiv-Gewohnheiten, die den Anforderungen des optimalen Gewichthebens entsprechen.

Die klassisch gewordenen Verfahren sind: das Reißen mit beiden Händen und das Umsetzen und Stoßen mit beiden Händen. Diese können durch zwei Vorgänge erreicht werden. Das Reißen, Umsetzen und Stoßen wird durch volles Kniebeugen ausgeführt. Die zwei klassischen Übungen sind Teil der Ausübungsart, die durch Geschwindigkeit und Stärke charakterisiert werden, der Bewegungsablauf zu guten Werten dieser Qualitäten wird durch Technik erreicht.

Mit der Absicht, die Technik so vernünftig und so wirksam wie möglich zu gestalten, werden in der Praxis des Gewichthebens folgende allgemeine Prinzipien berücksichtigt:

- Das verhältnismäßig Senkrechte der Bewegung der Hantel während des Hebens: Die Praxis hat gezeigt, dass die Flugbahn der Hantel während des Hebens nahe der verlängerten Form des Buchstabens „S“ verläuft. Dies ist ein Ergebnis der Tatsache, dass der Gewichtheber die vorteilhaftesten Hebel benutzt, durch die die Muskelgruppen maximale Leistungsfähigkeit erreichen können. Nachdem die Hantel die senkrechte Flugbahn verlassen hat und nahe den Schenkeln des Athleten ist, wenn sie über die Knie gehoben wird, hat sie sich etwas nach hinten verschoben. Dieser Vorteil ist minimal, verglichen mit den Möglichkeiten, die Anstrengungen durch die Tätigkeit der kräftigsten Muskelgruppen entwickeln, die in dieser Position maximale Kraft entfalten. Wenn die Hantel einer vollkommen senkrechten Flugbahn folgte, würden die Muskelgruppen nicht

unter den besten Bedingungen arbeiten, was die Leistungsfähigkeit des Hebens sehr verringern würde. Es ist notwendig, seine Bewegungen so zu koordinieren, dass sich die größten Muskelgruppen zur richtigen Zeit an der Handlung beteiligen; deshalb wird die zweite Phase des Ziehens (Pull) für das Reißen, Umsetzen und Stoßen durch die gleichzeitige Aktivität der Rücken- und Beinmuskeln erreicht. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen folgende Bewegungen ausgeführt werden: wenn die Hantel über die Knie gezogen ist und das untere Drittel des Oberschenkels erreicht hat, findet eine langsame Vorwärtsbewegung der Knie statt, gleichzeitig vergrößert sich der Winkel zwischen den Oberschenkeln und dem Rumpf. Als ein Forschungsergebnis (BAUMANN 1985; WEIDE 1989; ISAKA et al 1996) wurden mehrere ideale Flugbahnen begründet, die die erste und zweite Phase des Zuges einschließen, beide für das Reißen, Umsetzen und Stoßen.

Die ideale Flugbahn des Ziehens (Pull) für das Reißen hat die folgenden Parameter: 3-6 cm für die erste Phase und 0-3 cm für die zweite. Das Umsetzen - Ziehen wird durch größere Abweichungen charakterisiert, die mit der senkrechten Linie verglichen werden; 4-6 cm für die erste Phase und 8-10 cm für die zweite. In der Praxis wird bei steigendem Gewicht auf die Hantel eine Zunahme der Abweichungen von der Vertikalen konstatiert. Diese Abweichungen wurden berechnet, ohne die Fußsohlen von der anfänglichen Position des Ziehens zu entfernen. Bei Ortswechseln (Sprünge) vorwärts-rückwärts verglichen mit der anfänglichen Position, tauchen horizontale Kraftpaare auf, die eine negative Wirkung auf die Leistungsfähigkeit des Gewichthebens haben (VOROBIEV 1984, 55).

- Der kürzeste Weg, der von der Hantel zurückgelegt wird: Die kürzeste Entfernung zwischen zwei Punkten ist eine gerade Linie; aber es stellt sich heraus, dass ein Ziehen auf einer vollkommen geraden Linie für die Leistungsfähigkeit ungünstig wäre, deshalb ist eine leichte Abweichung von der Vertikalen angezeigt. Das gegenwärtige Prinzip bezieht sich auf die Höhe, auf die die Hantel gehoben werden sollte, wenn die klassische Technik gezeigt wird.

Als optimale Höhe des Ziehens gilt die Entfernung von der Plattform zur Hantel, die beim Reißen in den ausgestreckten Armen über den Kopf gehalten wird, oder während der Umsetzung auf der Schulter für das Umsetzen und Stoßen. Um das Ziehen sicherzustellen, werden diese mit 15 cm (für das Reißen) und 20 cm (Umsetzen und Stoßen) ausgeführt über die Distanz, die von der Plattform zur Hantel gemessen wird. Die Hantel muss nicht höher als notwendig gehoben werden, um eine Kraft mit der maximalen Produktivität zu nutzen. Für das Umsetzen heben einige Athleten die Hantel zu hoch, was zu einem Schock im letzten Moment des vollen Kniebeugens führt (wegen des Fallens der Hantel auf die Schulter), eine Tatsache, die ihr Gewicht um das Doppelte bis Dreifache vergrößert, und unter solchen Bedingungen wird die Bewegung falsch ausgeführt. Wenn die Position der Reiß-Technik vertikal wäre, würde die Hantel 10-20 cm höher gehoben werden als wenn der Rumpf vorwärts geneigt wird und

die Arme weit rückwärts gehalten werden. Die Wahl dieser geneigten Position sorgt für weniger mechanische Arbeit während des Hebens der Hantel (AJÁN/ BAROGA 1988, 44).

- Die optimale Geschwindigkeit der Ausführung: Beim Heben wird die Geschwindigkeit, die auf die Hantel übertragen wird sowie die Geschwindigkeit der Ausführung unserer eigenen Segmente berücksichtigt. Um die maximale Kraft zu entwickeln, müssen die Übungen mit der Hantel bei höchster Geschwindigkeit ausgeführt werden. Die Kraft, die während des Hebens entwickelt wird, ist proportional zum Gewicht der Hantel und zur Beschleunigung der Ausführung ($F = m \cdot a$) (CARL 1976, 10). In der Praxis zeigt sich, dass sich während der Strecke der Flugbahn die Geschwindigkeit ändert. Damit ist während der ersten Phase des Hebens die Geschwindigkeit langsamer als die, die im zweiten Teil des Ziehens entwickelt wird, weil in der letzten Phase die Muskelgruppen des Rückens und der Beine in der günstigsten Position arbeiten. Das bedeutet nicht, dass mit einer langsamen Geschwindigkeit begonnen werden muss, die in der zweiten Phase vergrößert wird. Gerade vom ersten Teil des Ziehens wird die Geschwindigkeit hoch sein, und sie steigt auch während der zweiten Phase weiter an und hilft, größere und größte Gewichte zu heben (AJÁN/ BAROGA 1988, 49). Als ein Ergebnis der Forschungen über die Geschwindigkeit der Hantelbewegung während verschiedener Übungen (FURNAJIEV/ ABADJIEV 1974 in AJÁN/ BAROGA 1988, 43) wurden die folgenden Daten ermittelt:

Tab. 3: Durchschnittsgeschwindigkeit von jedem Versuch in beiden Phasen

Die Bewegung	Geschwindigkeit der 1. Phase	Geschwindigkeit der 2. Phase	Durchschnitt
Reißen	1.00 -1.60 m/s	1.60 – 2.50 m/s	2.12 m/s
Umsetzen	0.90 – 1.40 m/s	1.55 – 1.85 m/s	1.73 m/s
Stoßen	-	1.38 – 1.80 m/s	1.60 m/s

Die erste Phase des Ziehens ist nützlich, um den Körper in eine günstige Position zu bringen, um die zweite Phase des Ziehens unter den besten Bedingungen auszuführen (BOJKO/ KONO 1974 in AJÁN/ BAROGA 1988, 44). Die Geschwindigkeit der Ausführung der Körpersegmente muss in enger Beziehung zur Geschwindigkeit stehen, mit der die Hantel bewegt wird. Wenn die Hantel den maximalen Punkt des Ziehens erreicht, wird sie sofort unter dem Einfluss der Gravitationskraft nach unten gehen.. Ein Aufschub, egal wie klein, besonders wenn die Ellbogen unter der Hantel platziert werden, führt in den meisten Fällen zum Misserfolg. Praktisch erfolgt der Schritt unter die Hantel in dem Moment, wenn sie sich aufgrund der Trägheit senkrecht zum Boden bewegt. Diese Bewegung ist relativ kurz: 17 – 23 cm (für das Reißen) und geschieht in 0.16 – 0.20 Sekunden. Die Geschwindigkeit, mit der die Ellbogen unter die Hantel geführt werden (für das Umsetzen), fördert eine steigende Geschwindigkeit der Ausführung aller Körpersegmente, und stellt folglich das Treten unter die Hantel in eine äußerst kurze Zeitperiode (VOROBIEV 1984, 59).

- Die Verwendung eines persönlichen Stiles nach individuellen Besonderheiten: Die vernünftigsten Bewegungen, die mit dem Ziel des Hebens eines maximalen Gewichtes mit einem Minimum an Anstrengung ausgeführt werden, sind mit der Zeit klassische Events (Reißen, Umsetzen und Stoßen) geworden, und sie werden in den Wettkampfstaturen beschrieben. Allgemein gesagt, werden diese Events von allen Gewichthebern auf die gleiche Weise ausgeführt. Trotzdem kommen in Übereinstimmung mit den einzelnen Besonderheiten (die Länge der Segmente, die Kraft verschiedener Muskelgruppen, die Kapazität neuromuskulärer Koordination) bestimmte Abweichungen von der klassischen Linie vor. So entsteht ein persönlicher Stil.

Von allgemeiner Technik sprechend, können Verbesserungen über die Dauer der ganzen Sportkarriere erreicht werden, aber persönlicher Stil ändert sich langsam, nur als ein Ergebnis einiger Modifikationen, die die Entwicklung bestimmter Muskelgruppen betreffen. Außerdem kann dieser persönliche Stil nicht deutlich vom Rahmen der Technik oder von den logischen Prinzipien der Biomechanik abweichen (HANA 1970, 25).

Wenn der persönliche Stil gegen die allgemeinen Prinzipien verstößt, die Körpersegmente senkrecht zu stellen, wenn die Hantel in die ausgestreckten Arme gesetzt wird, ist das Beibehalten der Gewichte in dieser Position praktisch unmöglich. Die Leistungsfähigkeit der Bewegungen wird kategorisch niedrig sein, wenn während des Hebens einige Momente nicht vermieden oder übertroffen werden, die sich ungünstig auf die Arbeit der Hauptmuskelgruppen auswirken (HANA 1970, 27).

Ohne Rücksicht auf den angewandten persönlichen Stil, ist das Übertreffen dieser ungünstigen Momente notwendig. Dies kann entweder durch irgendeine vorteilhafte Position erreicht werden (zum Beispiel: das volle Kniebeugen) oder durch Ausnutzen der Trägheit der Hantel.

2.1 Das Reißen

Das klassische Reißen ist eine Schnelligkeits–Kraft–Übung, bei der die Hantel entsprechend den Wettkampfbestimmungen in einer ununterbrochenen Bewegung vom Boden mit ausgestreckten Armen nach oben gebracht werden muss. Der Reißvorgang dauert im Durchschnitt 2,5 bis 3 s, ohne die Dauer der statischen Stellungen beim Start und die Fixierung des gehobenen Gewichtes. Die Geschwindigkeit der Hantel liegt in Abhängigkeit von der Gewichtsklasse bei 1,70 bis 2,20m/s. Die Übung besteht aus drei aufeinanderfolgenden Teilen: dem Start, der ersten und zweiten Zugphase, dem Umgruppieren zur Hocke und dem Aufstehen aus der Hocke (AJÁN/ BAROGA 1988, 47)

Die Ausgangsstellung beim Reißen hat eine ganze Reihe von Besonderheiten: Der Rücken des Gewichthebers ist leicht gekrümmt, er fasst mit größerer Griffbreite, und im Zusammenhang damit entstehen andere Winkel in der Ausgangsstellung. Die Beine stehen in Schulterbreite parallel zueinander. Eine solche Beinstellung gestattet eine volle Ausnutzung der Beinkraft. Im Moment des Lösens der Hantel vom Boden

betragen die Winkel in den Kniegelenken 100-110°. Vor dem Erfassen der Hantel atmet der Gewichtheber ein, und während er die Beine beugt, atmet er aus. Dann folgt direkt während des Startes noch ein flaches Einatmen; danach wird das Reißen ausgeführt. Ausgeatmet wird während der Fixierung. Während der Fixierung ist es ratsam, als Griffart nur den offenen Griff zu benutzen, bei dem die Hantel ohne den Daumen nur mit 4 Fingern fixiert wird (Klammergriff). Beim Reißen ist die Höhe wichtig, die die Hantel erreichen muss. Der Weg der zweiten Zugphase wird jedoch im Zusammenhang mit einer intensiven Rumpfstreckung länger. In Abhängigkeit von der Griffbreite kann sich der Bewegungsablauf um 5-15 cm vergrößern. Bei der Auswahl der besten Griffbreite wird von einigen charakteristischen Besonderheiten des beidarmigen Reißens ausgegangen. Eine schulterbreite Grifffassung ist für die Zugbewegung prinzipiell günstig, da in den Körpergelenken (Knie- und Hüftgelenke) große Winkel entstehen und sich damit im Zusammenhang die Lastmomente verkleinern. Beim Reißen muss aber das Gerät in einer ununterbrochenen Bewegung bis über den Kopf geführt werden. Das ist mit engem Griff nicht möglich, da der Weg zu lang wird. Der Sportler muss eine solche Stellung einnehmen, die es ihm gestattet, die Hantel kraftvoll vom Boden aufzunehmen und sie während der zweiten Zugphase auf die für das Lösen, Umgruppieren und Abfangen notwendige Maximalgeschwindigkeit zu beschleunigen. Große Winkel in den Gelenken und große Lastmomente sind dabei nicht zu vermeiden. Darum ist es notwendig, die Griffbreite so zu wählen, dass die Winkel in den Hüftgelenken beim Lösen der Hantel vom Boden groß genug sind. Außerdem muss beachtet werden, dass mit der Vergrößerung der Griffbreite die Arme stärker belastet werden. Diese Anspannung erschwert die dynamische Arbeit der Arme während des ganzen Reißens. Sie fordert einen zusätzlichen Kraftaufwand, um die Hantel zu reißen und während der Fixierung über dem Kopf zu halten. Bei optimaler Griffbreite darf die Anspannung der Arme und des Schultergürtels nicht viel größer sein als beim Stoßen. Das ist möglich, wenn der Winkel zwischen Hantel und gestrecktem Arm 55-60° beträgt.

Ist die Haltekraft der Hände schwach entwickelt, sollte in der ersten Zeit ein engerer Griff genommen werden. Der leicht gekrümmte Rücken in der Ausgangsstellung und während des Hochziehens ist nur für das Reißen charakteristisch (VOROBIEV 1984, 57).



Abb. 2: Ausgangsstellung für das Reißen (IWF 2003)

Beim Reißen gibt es vier Varianten des Starts bzw. der Auftaktbewegung:

- a) ohne deutlich erkennbare vorbereitende Bewegungen;
- b) mit vorbereitenden Bewegungen in der horizontalen Ebene;
- c) mit vorbereitenden Bewegungen in der vertikalen Ebene;
- d) den fliegenden Start.

Nach dem Erfassen der Hantel hebt der Sportler das Becken bis zu einer horizontalen Lage des Oberkörpers. Dann erfolgt die umgekehrte Bewegung nach unten in schnellerem Tempo. Gleichzeitig wächst allmählich die Spannung der Arme. Sind die Schultergelenke genau senkrecht über dem Griff, beginnt die energische Streckung der Beine, der Körper hebt sich, danach die Hantel. Einige Gewichtheber bringen den Oberkörper sofort beim Erfassen des Griffs in die horizontale Lage (CARL 1976, 44).

2.1.1 Die erste und zweite Zugphase

Die Zugbewegung stellt die Hauptphase des Reißens dar. Die motorische Hauptaufgabe dieses Teils ist das Ziehen der Hantel auf die entsprechende Höhe mit entsprechender Geschwindigkeit, die für eine erfolgreiche Ausführung des Hebevorganges notwendig ist. Die Zugphase wird in zwei aufeinander folgende Teile eingeteilt.

2.1.1.1 Die erste Zugphase

In der ersten Zugphase werden zwei Einzelaufgaben der Bewegung gelöst: das Einnehmen der günstigsten Körperposition für die zweite Zugphase und das Erreichen der notwendigen Hantelgeschwindigkeit zur optimalen Realisierung der Kraftmöglichkeiten des Sportlers in der zweiten Zugphase.

Das Anheben der Hantel vom Boden beginnt erst dann, wenn die vom Sportler entwickelten Kräfte das Hantelgewicht übersteigen. Je größer dieses Übersteigen ist, desto größer die Beschleunigung, und damit auch die Geschwindigkeit der Hantel. Die Kräfte werden im Ergebnis eines energischen Streckens der Knie- und Hüftgelenke entwickelt. Das Becken wird angehoben und der Schultergürtel bewegt sich bogenartig nach vorn – oben. Die senkrechte Geschwindigkeit des Beckens übersteigt merklich die entsprechende Geschwindigkeit des Schultergürtels, wonach der Oberkörper eine fast horizontale Haltung einnimmt. Die Hantel bewegt sich dabei nach oben und etwas nach hinten. Die horizontalen Gegenverlagerungen der Hantel und des Sportlers kompensieren einander. Deshalb bleibt das System Sportler – Hantel im Gleichgewicht. Der gemeinsame Schwerpunkt des Systems verlagert sich in dieser Phase fast vertikal. Am Ende der ersten Phase nähert sich die Hantel maximal dem Sportler, wobei ihre vertikale Geschwindigkeit im Durchschnitt 1,5 m/s erreicht. Diese Geschwindigkeit befindet sich in direkter Abhängigkeit von der Größe des Sportlers, also auch von seiner Gewichtsklasse (bei der unteren Gewichtsklasse 1,2 bis 1,3 m/s, aber bei der oberen Gewichtsklasse 1,6 bis 1,7 m/s).

Auch am Ende der ersten Phase gleicht der Winkel in den Kniegelenken 135 bis 150°, in denen des Beckens 90 bis 100°. Zum Zeitpunkt des Abhebens der Hantel vom Boden übersteigt die auf sie einwirkende Kraft deren Gewicht um das anderthalbfache (VOROBIEV1984, 51)

In der weiteren Bewegung verringert sich nach und nach diese Kraft, ist aber größer als das Hantelgewicht. Eine große Kraft zum Zeitpunkt des Abhebens der Hantel vom Boden kann durch eine geringe Geschwindigkeit der Hantel erhöht werden. Wenn die Hantel Kniehöhe erreicht, nimmt der Sportler das Knieunterschieben vor, indem er eine Haltung einnimmt, die für die entscheidende zweite Zugphase die günstigste ist. Während des Knieunterschiebens führt der Sportler die Knie unter die Hantel, dabei beugt er Kniegelenk, und das Becken senkt sich bogenartig nach vorn – unten ab. Der Körper ist bereits weniger nach vorn geneigt, die Schultergelenke überdecken aber immer noch die Hantel. Das Knieunterschieben dauert 0,05 bis 0,1 s und ist ein äußerst wichtiges technisches Element. Um gute Leistung zu erbringen, muss der Gewichtheber die Koordination zwischen Beinen und Rumpfstreckern bestimmen.

Am Anfang des Knieunterschiebens verringert sich der Krafteinsatz des Sportlers und unterschreitet nicht selten das Hantelgewicht. Die Geschwindigkeit der Hantel wird bis zu einer Größe verringert, die für eine hohe Effektivität der zweiten Zugphase notwendig ist (CARL 1976, 46).

2.1.1.2 Die zweite Zugphase

Die zweite Zugphase beginnt mit einem gleichzeitigen und explosiven Strecken in den Knie- und Hüftgelenken. Sie dauert bis zur völligen Streckung des Körpers mit Zehenstand. In der Endphase des Knieunterschiebens wächst der Krafteinsatz wesentlich an. Es ist sehr wichtig, dass sich das Becken in der zweiten Zugphase nach vorn verlagert, während sich der Schultergürtel minimal nach hinten neigt. Damit wird

eine maximale Kraftentwicklung in der zweiten Zugphase erreicht, die für die notwendige Geschwindigkeit der Hantel sorgt.

Die Arme sind während der zweiten Zugphase gestreckt. Das geringste Beugen der Arme während dieser Phase oder Anheben der Schultern verringert wesentlich die vom Sportler entwickelten Kräfte, da sich in der biomechanischen Arbeitskette ein Schwachpunkt bildet, weil die volle Leistung der Hantel auf beide Arme und Schultern kommt und sich die senkrechte Kraft gegen diese Beugung verändert. Dies führt zur Verringerung der Hantelgeschwindigkeit.

Der Kopf wird während der zweiten Zugphase etwas nach vorn – oben gerichtet. In der zweiten Zugphase erreichen die Kräfte eine maximale Größe und übersteigen das Gewicht der Hantel fast um das Zweifache. Die Hantelgeschwindigkeit verringert sich etwas während des Knieunterschubens, steigt dann wieder an und erreicht bei Sportlern der unteren Gewichtsklassen 1,7 bis 1,8 m/s und bei Sportlern der oberen Gewichtsklassen 2 bis 2,2 m/s. Eine solche Hantelgeschwindigkeit bringt sie auf die Höhe, die für ein erfolgreiches Umgruppieren notwendig ist. Die motorische Hauptaufgabe der zweiten Zugphase besteht darin, der Hantel die erforderliche Geschwindigkeit zu verleihen (VOROBIEV 1984, 52).

Sehr häufig wird eine vorzeitige Verringerung der Aktivität der Bein- und Oberkörpermuskulatur beobachtet. Die Ursache ist eine vorzeitige Einleitung zum Umgruppieren und geschieht aufgrund der großen Komplexität, die sich aus dem schnellen Wechsel der Bewegungsrichtungen ergibt: In der zweiten Zugphase bewegt sich der Körper nach oben, währenddessen er beim Umgruppieren die umgekehrte Bewegungsrichtung einschlägt. Die beschriebene Komplexität führt auch dazu, dass der Sportler in der zweiten Zugphase dann, wenn er auf die Hantel aktiv einwirken kann und sich auf das Umgruppieren vorbereitet, die Aktivität und damit den Kraftaufwand vermindert. Mit dieser Schwierigkeit werden jene Sportler am ehesten fertig, die über eine hohe Geschwindigkeit der Muskelanspannung und die Fähigkeit des schnellen Umstellens von einer Bewegung auf die andere verfügen.

Zur Kinematik der zweiten Zugphase: In deren Endphase, wenn der Sportler auf den Fersen steht, verlagert sich das Stützzentrum des Systems Sportler – Hantel nach vorn. Um das Gleichgewicht zu halten, verlagert sich der gemeinsame Schwerpunkt des System in gleicher Richtung. Zu diesem Zeitpunkt bewegt sich die Hantel nach vorn – oben, wobei der Schwerpunkt des Sportlers sich anfangs vorwiegend nach vorn verlagert, um dann am Ende der zweiten Zugphase nach hinten – oben zu gehen. Der Schultergürtel bewegt sich anfangs auch vorwiegend nach oben, dann aber nach hinten – oben. Wie bereits festgestellt, muss die Neigung des Schultergürtels nach hinten minimal sein und in der äußersten Endphase der zweiten Zugphase geschehen. Ein zu frühes Neigen des Oberkörpers nach hinten verringert nicht nur eine optimale Kraftentfaltung, sondern verleiht der Hantel eine größere, nach hinten ausgerichtete horizontale Geschwindigkeit, was die Fixierung nach dem Umgruppierten erschwert.

Unbedingt zu bemerken ist, dass manche Sportler in der zweiten Zugphase den Oberkörper vorzeitig und extrem nach hinten neigen, wobei sie die Hantel mit dem Becken berühren. In solchen Fällen weicht die Ortskurve der Hantel vom Optimum ab. Das Anstoßen der Hantel am Becken vergrößert merklich die Hantelgeschwindigkeit (CARL 1976, 47).

Nicht selten ist eine Übereinstimmung der körperlichen Vorbereitung des Sportlers auf die Technik des Reißens nicht vorhanden: die Beinmuskulatur ist wesentlich stärker als die des Oberkörpers. Ursache dafür ist die falsche Auswahl der Mittel des Krafttrainings, die darin besteht, dass die Sportler fast bei jedem Training unterschiedliche Beinarbeit betreiben und die Muskulatur des Oberkörpers vernachlässigen.

Sportler mit kräftiger Beinmuskulatur setzen in der zweiten Zugphase den Akzent unfreiwillig auf die Beinarbeit. Dabei neigt sich der Oberkörper vorzeitig nach hinten und der Schultergürtel erscheint hinter der Hantelflugbahn, wodurch der in dieser Zeit auf die Hantel wirkende Kraftvektor nach hinten – oben ausgerichtet ist. In diesem Fall verringert sich die vertikale resultierende Kraft in der zweiten Zugphase, und die Fixierung der Hantel nach dem Umgruppieren wird erschwert. Um diesen Fehler auszugleichen, machen die Sportler beim Umgruppieren einen Sprung nach hinten.

Einen großen Einfluss auf das Gelingen der Übung haben die horizontalen Verlagerungen der Hantel in beiden Phasen des Hebens. In Abb. 3 ist die Ortskurve der Hantel dargestellt, die für alle Gewichtheber, unabhängig von ihren individuellen Besonderheiten, objektiv günstig ist. Es ist zu ersehen, dass die Hantel sich in der ersten Phase merklich dem Sportler nähert. In der zweiten Zugphase verlagert sie sich in die entgegen gesetzte Richtung.

Dies geschieht, weil der Sportler jetzt den Zehenstand erreicht, das Stützzentrum des Systems Sportler – Hantel nach vorn verlagert wird und für das Gleichgewicht das gesamte System in gleicher Richtung verlagert werden muss. Die Ursachen für die Krümmung der Hantelkurve nach vorn sind leicht zu verstehen, wenn Abb. 4 betrachtet wird, in der die auf die Hantel am Anfang der zweiten Zugphase einwirkenden Kraftvektoren dargestellt sind.

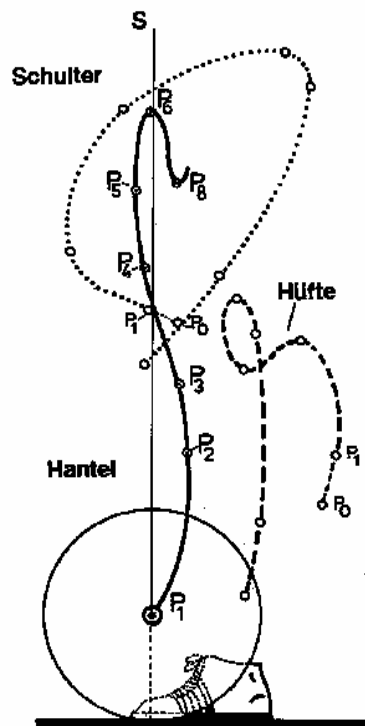


Abb. 3: Optimale Ortskurve der Hantel (BVDG 2002)



Abb. 4: Auswirkung der Verlagerung des Schultergürtels nach vorn über die Hantel auf die Krafrichtung (VOROBIEV 1984, 55)

Im Ergebnis der Vorverlagerung des Schultergürtels über die Hantel sind die Arme angewinkelt. Ebenso angewinkelt ist der Kraftvektor (F), der auf die Hantel einwirkt. Diese Kraft zerteilt sich in zwei Resultierende; die vertikale (F_v), die für das Heben der Hantel nach oben sorgt, und die horizontale (F_h), die die Hantelkurve nach vorn krümmt. Die Amplituden der horizontalen Verlagerungen der Hantel hängen in beiden Phasen hauptsächlich von dem Gewichtsverhältnis Sportler und Hantel ab. Mit der Vergrößerung des Hantelgewichts und der Verringerung des Eigengewichts des

Sportlers muss sich die horizontale Verlagerung der Hantel in der ersten Phase vergrößern und in der zweiten Phase verringern. Diese Verlagerungen hängen auch von der Stellung der Füße in Bezug auf die Hantel ab, die im wesentlichen von den individuellen morphologischen Besonderheiten des Sportlers abhängt. Daher werden nur die mittleren Werte der Hantelverlagerung angeführt. In der ersten Zugphase betragen diese Verlagerungen 8 bis 10 cm und in der zweiten Zugphase 3 bis 4 cm. Es ist besonders wichtig, dass in der zweiten Zugphase die Hantelkurve im benannten Abstand vor der Senkrechten verläuft, damit die Hantel mit voller Geschwindigkeit nach oben gebracht werden kann und der Gewichtheber Zeit hat, in die Hocke zu gehen. Dies ist dann das Kennzeichen für die richtige Ausführung der zweiten Zugphase.

Der Rhythmus der Zugsbewegung hat zwei Takte, mit einer Akzentuierung auf die zweite Zugsbewegung, die Dauer der zweiten Zugphase ist deutlich 30 bis 50% geringer als die Dauer der ersten Zugphase (VOROBIEV 1984, 55).

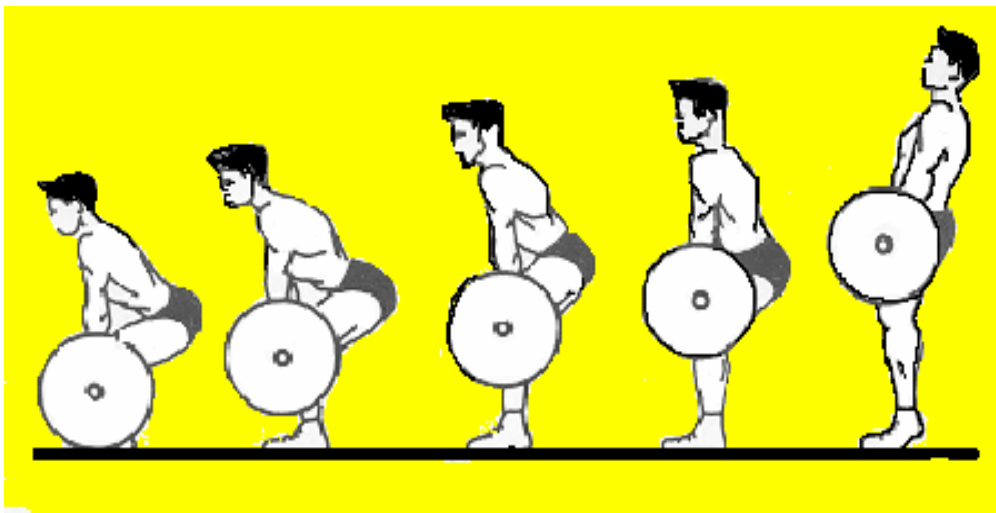


Abb. 5: Die erste und zweite Zugphase (AJÁN / BAROGA 1988, 53)

2.1.2 Umgruppieren, Hocke und Aufstehen

Diese Phase des Reißens besteht aus drei Teilen: dem Umgruppieren und der Hocke, dem Aufstehen und Fixierung der Hantel. Die motorische Aufgabenstellung des Umgruppierens besteht in einem schnellen und genauen Unter-die-Hantel-Gehen. Die Hauptaufgabe beim Aufstehen aus der Hocke ist die Beibehaltung des Gleichgewichts. Das Aufstehen wird durch die Fixierung der Hantel über dem Kopf abgeschlossen. Das Umgruppieren mit Hocke führen alle Gewichtheber aus, obwohl diese in der Ausführung kompliziert ist und eine hohe Bewegungskoordination erfordert (HANA 1970, 34).

Am Ende der zweiten Zugphase bewegt sich der Körper des Sportlers nach oben. Beim Umgruppieren ist es notwendig, die Bewegungsrichtung schnell zu ändern, je energischer die Kraft dieses Zusammenwirkens, desto schneller ist die Bewegung des Körpers nach unten. Sich scheinbar von der Hantel nach unten abstoßend, unterstützt

der Sportler die Bewegung der Hantel nach oben. Je energischer die Einwirkung auf die Hantel, desto schneller kann die Hocke ausgeführt werden, und desto höher schnell die Hantel.

Durch das Zusammenwirken des Sportlers mit der Hantel wird nicht nur die Geschwindigkeit in der Hocke beschleunigt, sondern auch deren Richtung, d.h. die Genauigkeit reguliert.

Mit der Vergrößerung des Gewichts der Hantel verringert sich ihre Geschwindigkeit, deshalb müssen die Geschwindigkeit und Tiefe der Hocke dementsprechend vergrößert werden (HANA 1970, 35).

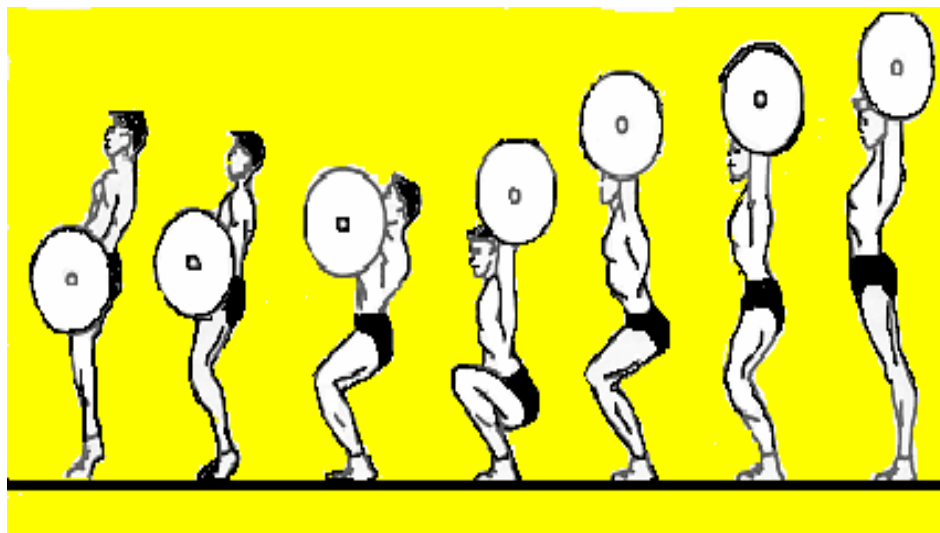


Abb. 6: Umgruppieren, Hocke und Aufstehen (AJÁN/ BAROGA 1988, 54)

2.1.2.1 Die Hocke

Beim Umgruppieren bewegt sich der Sportler schnell nach unten und etwas nach vorn. Zur schnellen Ausführung des Umgruppierens werden die Beine mit maximaler Beschleunigung gebeugt: Ihre dabei entstehende Trägheitskraft wird auf den Oberkörper übertragen, was dessen Abwärtsbewegung beschleunigt. Während des Umgruppierens nehmen die Füße schnell eine breitere Stellung mit natürlicher Spreizung der Fußspitzen an. Gleichzeitig werden die Oberschenkel gespreizt. Wenn die Füße wieder auf dem Boden stehen, sind die Arme noch nicht völlig gestreckt. Damit endet die stützlose Phase des Umgruppierens, die 0,15 bis 0,2 s dauert. Dann beginnt die Auffangbewegung des Körpers nach unten.



Abb. 8: Körperposition in der Umgruppierungsphase (IWF 2003)

Das sogenannte Schlüsselmaß entsteht im Ergebnis des Zusammenwirkens des Sportlers mit der Hantel bei der Bewegung in die Hocke. Beim Umgruppieren mit einer Geschwindigkeit, die die des freien Falls übertrifft, wird über die Arme die Trägheitskraft des Oberkörpers auf die Hantel übertragen. Die vertikale Resultierende dieser Kraft unterstützt die senkrechte Bewegung der Hantel, währenddessen deren horizontale Resultierende die Ortskurve der Hantel nach hinten krümmt. Bei richtiger Technik kompensieren die horizontalen Verlagerungen des Sportlers und der Hantel einander, und der gemeinsame Schwerpunkt des Systems Sportler – Hantel verlagert sich in der Horizontalen fast gar nicht, was für das Gleichgewicht von äußerster Bedeutung ist (VOROBIEV 1984, 59).

2.1.3 Aufstehen aus der Hocke, Fixierung, Absetzen

Nach der Vollendung der Hocke beginnt der Sportler sogleich das Aufstehen, indem er die Federkraft der unteren Extremitäten ausnutzt.

Um die Arbeit der Beinmuskulatur zu erleichtern, wird der Körper beim Aufstehen unwesentlich nach vorn geneigt und das Becken etwas angehoben. Die Hantel wird dabei genau senkrecht gehoben, sonst kann das Gleichgewicht verloren gehen. Wenn

das gleich am Anfang des Aufstehens geschieht, so ist die Wiederherstellung des Gleichgewichts praktisch unmöglich. Geschieht dies aber in der zweiten Hälfte des Aufstehens, so kann das Gleichgewicht mit der Beinarbeit wiedergewonnen werden. Der gemeinsame Schwerpunkt des Systems verlagert sich fast senkrecht, womit die Standfestigkeit gewährleistet wird. Nach Beendigung des Aufstehens fixiert der Sportler die Hantel mit ausgestreckten Armen über dem Kopf, wobei alle Körperteile und die Hantel in einer senkrechten Ebene verlaufen: Die Füße werden nach dem Aufstehen wieder in Beckenbreite und die Fußspitzen in eine Linie gebracht (CARL 1976, 50).



Abb. 9: Körperposition beim Aufstehen in der Umgruppierungsphase (IWF 2003)

Als System wird die Gesamtheit von Elementen bezeichnet, deren gegenseitig zusammenhängende Funktionen zur Ausführung einer bestimmten Bewegungsaufgabe koordiniert sind.

Zur erfolgreichen Ausführung einer Bewegungsaufgabe muss der Gewichtheber, der mit der Mechanik der Hantel zusammenwirkt, deren dynamische Eigenschaften berücksichtigen und seine Bewegungen entsprechend koordinieren. In Übereinstimmung mit der oben angeführten Definition sind die Bewegung des Gewichthebers und die der Hantel die Bewegung eines Systems.

In diesem System ist der Gewichtheber die Energiequelle, die die Hantel in Bewegung setzt, und damit zugleich Regler, der diese Energie dosiert. Das System „Gewichtheber

– Hantel“ ist ein System automatischer Regelung mit inneren und äußeren Rückkopplungen.

Die Regelung der Bewegung des Systems „Gewichteheber – Hantel“ erfolgt nach dem Prinzip der programmierten Regelung (s. Abb. 10).

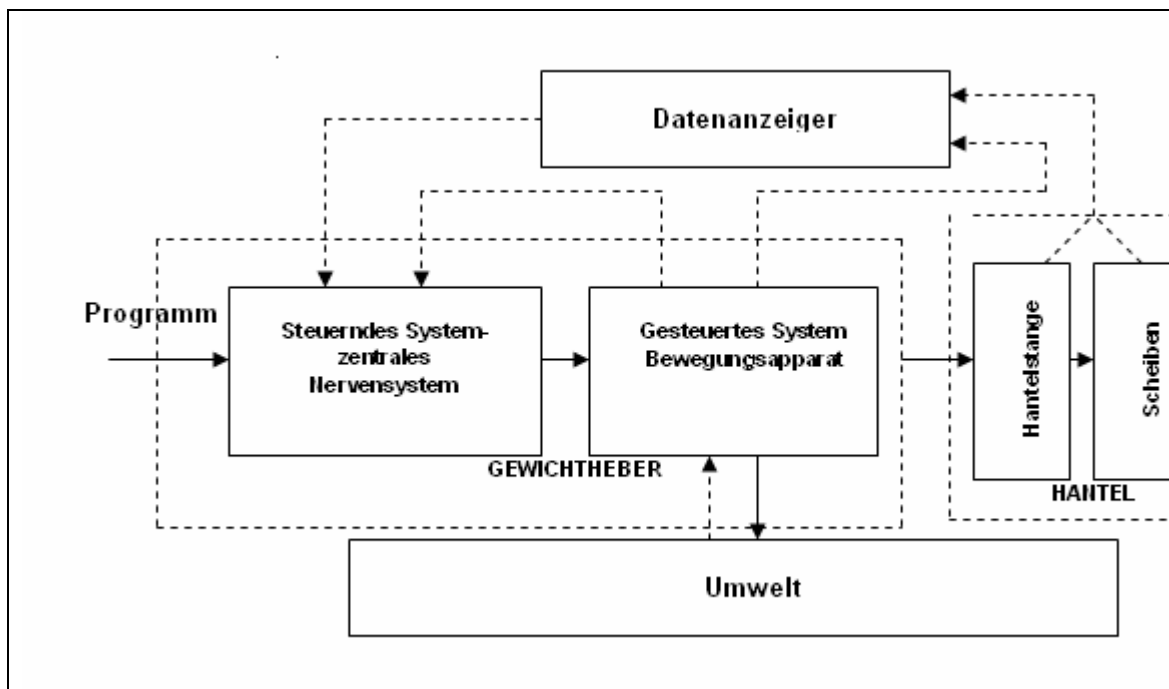


Abb. 10: Aufstehen aus der Hocke. System "Gewichteheber – Hantel" als automatisches Regelsystem (VOROBIEV 1984, 82)

Zur Bewegungsanalyse eines Gewichthebers ist es wichtig, zwei Komponenten dieser Bewegungen zu kennen: die vertikale und die horizontale. Die Aufgabe der Bewegungsregelung in vertikaler Richtung besteht darin, die Hantel mit der erforderlichen Geschwindigkeit auf die notwendige Höhe zu heben. Die Aufgabe der Bewegungsregelung in horizontaler Richtung besteht in der Schaffung günstiger Winkelverhältnisse in der arbeitenden kinematischen Kette des Gewichthebers, die die Ausführung der Übung mit geringstem Energieaufwand sichern, aber auch in der Aufrechterhaltung der vertikalen Projektion des Schwerpunktes des Systems in den Grenzen seiner effektivsten Stützfläche zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes.

Nach AMOSOV (1965) ist das Programm der Regelung bedingt durch die Gesetzmäßigkeit einer Veränderung des Systems in Raum und Zeit. Das Programm ist die Grundlage für die Struktur des Systems selbst und wird unter bestimmten äußeren Einwirkungen realisiert. Der Mensch beherrscht eine Vielzahl von Programmen, die im Prozess der Entwicklung seines Organismus unter dem Einfluss äußerer Einwirkungen angeeignet werden. Die Bewegungsprogramme ändern ihre Form unaufhörlich in Bezug auf die Qualität und vervollkommen sich während des Trainings.

Nach PETROV (1969) ist absolute Vorbedingung bei der Programmgestaltung ein bestimmter Umfang an Informationen. Das System „Gewichtheber – Hantel“ ist charakterisiert durch die Fähigkeit der Eigenregulierung. Solche Systeme werden in der Kybernetik als sich selbst organisierende Systeme bezeichnet. Im Verlaufe der Arbeit solcher Systeme sind verschiedene Einschaltungen, Umschaltungen, Ausschaltungen einzelner Elemente sowie die Veränderung ihrer Wechselwirkung und der eigenen Struktur möglich.

Die Selbstregulierung oder Eigenstruktur im System kann im wesentlichen durch die Vervollkommnung der Bewegungen des Gewichthebers im Ergebnis dessen vor sich gehen, dass er die beste Variante, anstrebt. Motiv einer solchen Selbstregulierung ist die Notwendigkeit, das Ziel bei größter Ökonomie in Bezug auf den Energieaufwand und in allerbesten Qualität der Bewegungsregulierung zu erzielen. Der Vorgang der Aneignung einer Sporttechnik ist ein Beispiel für die Arbeit eines solchen Systems. Es ist klar, dass die Dauer der Aneignung einer Sporttechnik weitgehend von den individuellen Eigenschaften des Gewichthebers und von den Kenntnissen und Erfahrungen des Trainers abhängt, der dem Sportler die Wege schnellster Entwicklung meisterhaften Könnens beibringen muss (ŽEKOV 1976, 12).

2.2 Muskelkoordination beim Zug

Unter Muskelkoordination versteht man das Zusammenspiel der Muskelaktivitäten, die auf die Glieder des Körpers entsprechend den Signalen des Nervensystems wirken.

Die Muskelkoordination bei Gewichtheberübungen ist noch ungenügend untersucht. Die ersten Erkenntnisse auf diesem Gebiete gehen offensichtlich auf das Jahr 1959 zurück, als STEPANOV (1959) die elektrische Aktivität einiger Muskeln mit gleichzeitiger Filmaufnahme von der ausgeführten Übung untersuchte. Später untersuchte PACHOMOV (1959) die Variabilität der Parameter der Muskelkoordination (mittels Elektromyographie) und die Variabilität der Bewegungsparameter (nach der Länge der Bewegungsphasen und den Daten der Tensographie). Es zeigte sich, dass bei allen Testpersonen eine Variabilität der erwähnten Parameter beobachtet wurde. Die kleinste Variabilität wurde bei der äußeren Struktur der Bewegung und die größte bei den elektromyographischen Parametern festgestellt.

Offenbar ist die Variabilität eine allgemeine Besonderheit der Bewegungsprogrammierung, die es ermöglicht, bei der Kombination verschiedener Programme die optimalen Bewegungsvarianten auszuwählen. Außerdem sichert, wie PACHOMOV (1959) meint, die Variabilität eine hohe Zuverlässigkeit bei der Übungsausführung, und dank der Umschaltung der arbeitenden Nervenzentren und Muskelgruppen tritt die Ermüdung langsamer ein.

Die Registrierung der elektrischen Aktivität der Muskeln gleichzeitig mit der Aufzeichnung der Winkelveränderung im Knie-, Hüft- und Ellbogengelenk ermöglichte es ŽEKOV (1976) nach LUKAŠEV (1975) ein gewisses allgemeines Schema der Muskeltätigkeit von Gewichthebern beim Reißen aufzuzeigen. Nach dem Charakter der Teilnahme an den Bewegungen wurden die Muskeln von ihm in zwei Gruppen

eingeteilt. Zur ersten Gruppe gehören der Schollenmuskel, der vierköpfige Oberschenkelmuskel, der Rückenstrecker, der breite Rückenmuskel, die Hand- und Fingerbeuger sowie der Trizeps. Zur zweiten Gruppe sind der zweiköpfige Oberschenkelmuskel, der Kapuzenmuskel, der mittlere Anteil des Deltamuskels, der Bizeps, die Hand- und Fingerstrecker zu rechnen.

Nach VOROBIEV (1984) werden die Muskeln der ersten Gruppe zu Beginn der ersten Zugphase 0.18 bis 0.33 s von dem Augenblick, in dem die Hantel von der Plattform angehoben wird, eingeschaltet – zunächst die Muskeln der untern Extremitäten, dann die des Rumpfes und anschließend die Muskeln der oberen Extremitäten. Eine solche Aufeinanderfolge wird bei größter Oszillationsamplitude besonders genau befolgt. Die Muskeln der zweiten Gruppe werden nach dem Anheben der Hantel von der Plattform einbezogen, natürlich unter Beischialtung der ersten Muskelgruppe.

2.3 Technikkontrolle beim Gewichtheben

Die Kontrolle der Technik von Gewichthebeübungen ist unerlässlich, um eine richtige Einschätzung des Entwicklungsstandes im Vergleich zu dem anzustrebenden sowie optimale Parameter der kinematischen und dynamischen Strukturen zu gewährleisten.

Die kinematische Struktur kennzeichnet die Bewegung des Gewichthebers im Raum und in der Zeit. Zu ihrer Erlernung registriert man räumlich-zeitliche (Weg, Zeit, Rhythmus usw.) Variablen.

Die dynamische Struktur kennzeichnet die Wechselwirkung der Kräfte (innere und äußere Kräfte) des Gewichthebers mit der Hantel. Zur Erlernung werden die Massen der aufeinander wirkenden Körper, Kräfte, Drehmomente, Geschwindigkeit, Beschleunigungen und Zeiten registriert (ŽEKOV 1976, 12).

Das Vorhandensein technischer Mittel der Sofortinformation an sich sichert noch nicht die Kontrolle des Techniktrainings eines Sportlers. Man muss mit ihnen umgehen, die festgestellten Daten richtig beurteilen und sie sachkundig erläutern können. Schließlich ist es unumgänglich, auf der Grundlage der gewonnenen Information begründete Empfehlungen für das Korrigieren begangener Fehler zu geben.

Es ist jedoch zu beachten, dass es ratsamer ist, einem Fehler vorzubeugen, als ihn anschließend korrigieren zu müssen, weil die Korrektur eines automatisierten Fehlers stets mit dem Umbau eines bestimmten motorischen Programms verbunden ist. Und das ist eine sehr schwere Aufgabe. Deshalb muss sich der Sportler beim Erlernen sofort die zweckmäßigste Technik aneignen, die dem neuesten Erkenntnisstand entspricht. Jedoch kann genauso, wie es keine völlig gleichen Menschen gibt, auch die Technik von jedem Gewichtheber nicht auf die gleiche Weise ausgeführt werden. Das erklärt sich aus dem Unterschied in der körperlichen Entwicklung der Heber, besonders einzelner Muskelgruppen, aus dem Unterschied in der körperlichen Konstitution (Körpergröße, Körperproportion, Masse und Länge der einzelnen Hebel der kinematischen Kette) sowie aus dem Unterschied in den Arten der höheren Nerventätigkeit.

Die genannten Gründe bedingen die Individualisierung der Technik jedes Gewichthebers. Natürlich muss jede Individualisierung die optimale Nutzung der Besonderheiten des betreffenden Hebers fördern. Deshalb ist es unbedingt erforderlich, deutlich zwischen Fehlern in der Technik und ihrem individuellen Optimum zu unterscheiden, um nicht das eine mit dem anderen zu verwechseln.

Die Korrektur der Technik von Spitzenathleten verlangt eine besondere Methode. Die Empfehlungen zur Korrektur dürfen nur nach gründlicher Untersuchung und müssen sehr vorsichtig gegeben werden, weil bei Spitzensportlern der Bereich individuell möglicher Variationen in der Übungsausführung größer ist.

Die Nutzung technischer Mittel der Sofortinformation im Gewichtheben hat ihre Besonderheiten. Sie bestehen darin, dass der Gewichtheber Auskünfte über die technische Qualität in der Regel erst erhält, nachdem er seine Übung ausgeführt hat. Die Korrektur einer Bewegung während der Übungsausführung mit Hilfe der Sofortinformationen durch Geräte ist wegen der Kurzzeitigkeit der Übung (etwa 1 s) praktisch unmöglich. Deshalb ist es sehr wichtig, dass der Heber sich selbst eine bestimmte Vorstellung von der Technik der von ihm ausgeführten Übung macht, bevor er die Bewegung durchführt. Von der Hantelbewegung bekommt der Sportler Informationen über die Hantelflugbahn. So kann er zwischen der Hantelflugbahn und seiner Bewegungsvorstellung einen Vergleich ziehen, ob er gut oder schlecht gehoben hat. Das ermöglicht den Vergleich der objektiven Information des Gerätes mit der subjektiven Vorstellung des Sportlers. (ŽEKOV 1976, 120).

Eine solche Methode trägt zur Entwicklung von Fertigkeiten der Selbstkontrolle durch den Gewichtheber bei. Gerade das muss bei der Verwendung technischer Mittel der Sofortinformation die Hauptaufgabe sein. Vom Können eines Gewichthebers, seine Fehler zu analysieren, hängt der Erfolg ihrer Verbesserung ab.

Bei der Registrierung irgendwelcher Parameter muss man bedenken, dass zahlreiche Faktoren auf die Messwerte der Geräte Einfluss haben: die Körpergröße des Hebers, seine Qualifikation, die Stangenhöhe über der Plattform und die Gewichtsklasse. Deshalb ist es für eine vergleichende Analyse des Ausbildungsgrades in der Technik des Gewichthebers unumgänglich, auf die Vergleichbarkeit der Grundbedingungen zu achten.

Die Bewegungen des Gewichthebers sind bei den klassischen Übungen, wie bereits erwähnt, sehr schwierig. Deshalb kann eine hinreichend genaue Einschätzung nur auf der Grundlage des Studiums vieler Bewegungsparameter gegeben werden. Jedoch darf der Trainer dem Sportler im Ablauf des Trainings keine allzu umfangreiche Information über die ausgeführte Übung geben, weil er in diesem Falle abgelenkt wird und nicht den notwendigen Effekt erreicht. Eine ausführliche Information muss im speziellen theoretischen Unterricht gegeben werden. In den Trainingseinheiten wird lediglich diejenige Information gegeben, die der Sportler zur Verbesserung eines bestimmten, konkreten Fehlers bekommen muss und die in der gegebenen Übung äußerst wichtig ist

(z.B. über die Hubgeschwindigkeit der Hantel, die Gestalt der Hantelflugbahn, die Stützreaktionskraft in irgendeiner Phase der Bewegung) (ŽEKOV 1976, 121).

2.4 Technikontrolle mit Hilfe der Hantelgeschwindigkeit

Die Kontrolle der Hantelgeschwindigkeit ist eine informativere Methode als die Registrierung der Hantelhöhe, weil sie es ermöglicht, eine Reihe wesentlicher Parameter festzulegen, welche die Struktur der Bewegung von Gewichthebern charakterisieren. Zu ihnen gehören vor allen Dingen die Informationen über den Rhythmus bei der Übungsausführung.

Abb. 11 zeigt eine typische Kurve der Hantelgeschwindigkeit mit einem Gewicht von 90 bis 100 % der Belastung bei der Zugbewegung durch qualifizierte Gewichtheber. Es ist zu sehen, dass die Geschwindigkeitskurve in zwei Phasen aufgeteilt ist:

1. und 2. Zugphase: Die höchste Geschwindigkeit in der 2. Zugphase wird Maximalgeschwindigkeit genannt. Diese Geschwindigkeit steht bei optimalem Übungsrhythmus in einem gewissen Verhältnis zur Geschwindigkeit der 1. Zugphase

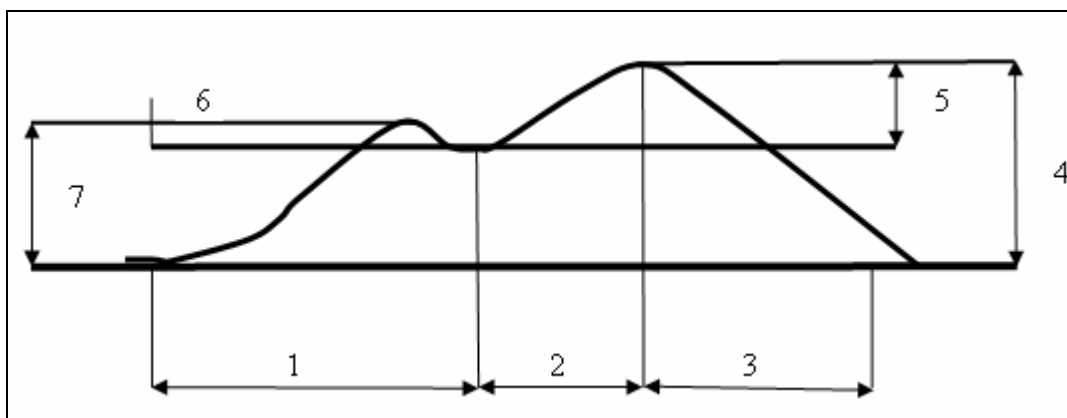


Abb. 11: Typische Kurve der Hantelgeschwindigkeit bei der Zugbewegung qualifizierter Heber: 1 = erste Zugphase, 2 = zweite Zugphase, 3 = Einnahme der Hocke, 4 = Maximalgeschwindigkeit der Hantel, 5 = Geschwindigkeitsanstieg der Hantel durch die 2. Zugphase, 6 = Geschwindigkeitsverlust beim Knieunterschieben, 7 = Höchstgeschwindigkeit in der ersten Zugphase (ŽEKOV 1976, 123)

Tabelle 4 zeigt, dass die Dauer des Geschwindigkeitszuwachses in der 1. Zugphase ist stets größer als in der 2. Zugphase, durchschnittlich $2 \frac{1}{2}$ mal. Mit der Verbesserung des sportlichen Könnens wird die Dauer der ersten Phase verlängert, und die zweite wird kürzer. Ein beträchtlicher Abfall an Geschwindigkeit vor der 2. Zugphase weist eine langsame Führung der Knie unter die Stange und ihre ungenügend schnelle Streckung nach. Eine übermäßige Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit über die Geschwindigkeit der ersten Phase hinaus zeigt, dass diese Phase nicht kräftig genug ausgeführt wurde. Die allgemeine Steigerung der Hantelgeschwindigkeit in beiden Zugphasen weist auf Reserven in der Geschwindigkeit hin und folglich auf die

Möglichkeit, die sportliche Leistung zu verbessern. Zur Vergrößerung der Körpersenkgeschwindigkeit ist es notwendig, die 2. Zugphase nicht in die Länge zu ziehen, sich rasch "vom Gewicht der Hantel zu befreien", die Füße schnell von der Bohle "wegzureißen" und die Beine in die tiefe Hockstellung zu bringen sowie sich energisch von der Hantel abzustoßen.

Tab. 4: Verhältnis der Bewegungsgeschwindigkeiten der Hantel in der 1. und 2. Zugphase (ŽEKOV 1976, 124)

Körpergröße (cm)	V H. in 1. Zugphase (m/s)	V vor der 2. Phase (m/s)	V am Ende 2. Zugphase (m/s)	Verringerung der V vor der 2. Zugphase (%)	Verringerung der V in der 2. Zugphase (%)
Klein 153	120	110	142	7.0	22.0
Mittel 170	1.49	1.39	1.68	6.5	32.5
Groß 186	1.65	151	1.85	8.0	18.4

Die Höhe der Hocke kann durch Übung trainiert werden, die zur Verbesserung der Muskel- und Bänderelastizität und der Beweglichkeit in den Gelenken beitragen.

Wenn die Geschwindigkeitskurve nicht deutlich in zwei Phasen (Abb. 12) gegliedert ist, weist das auf eine ungenügende Technik hin (in diesem Falle besteht nicht der notwendige Bewegungsrhythmus; s. Abb. 11). Solche Kurven werden am häufigsten bei Anfängern und unqualifizierten Gewichthebern sowie in einigen Fällen beim Heben der Hantel durch qualifizierte Heber, deren Gewicht weniger als 60 bis 70 % des Maximalgewichtes ausmacht, beobachtet.

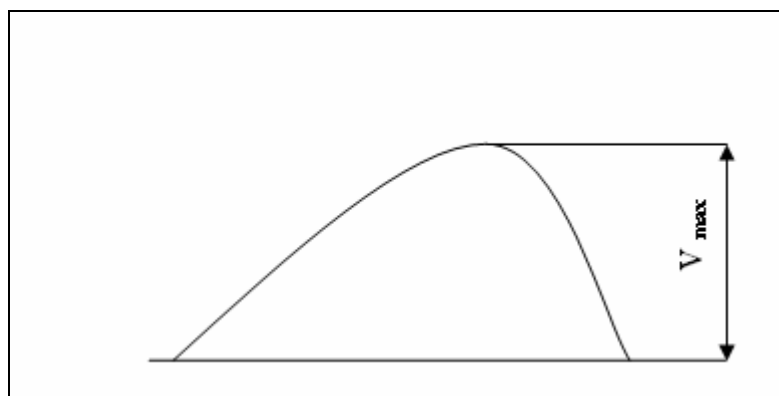


Abb. 12: Keine deutliche Zwei-Phasenstruktur der Zugbewegung des Gewichthebers (ŽEKOV 1976, 123).

V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit der Hantel

Aus der Geschwindigkeit kann eine Reihe anderer Parameter der Bewegung erfasst werden, z.B. die Beschleunigungsgröße und Kraft, auch bei graphischer Integration der Geschwindigkeit kann die Hantelflugbahn errechnet werden. Dann ist es möglich, indem auf der Abszissenachse die Größe des Weges zu einer bestimmten Zeit und der Ordinatenachse die Geschwindigkeit zur selben Zeit aufragt, die Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit der Hantel von der Hebehöhe zu erhalten.

2.5 Technikkontrolle mit Hilfe der Hantelflugbahn

Die Hantelflugbahn ist eines der wichtigsten Merkmale der technischen Qualität des Gewichthebers. Früher vertraten Wissenschaftler die Ansicht, dass die Hantelflugbahn bei der Zugbewegung streng senkrecht verlaufen müsste. Diese Forderung wurde damit erklärt, dass die gerade Linie die kürzeste Entfernung zwischen zwei Punkten und infolgedessen die in diesem Abschnitt bei der Verlagerung der Hantel ausgeführte Arbeit geringer sei, als bei ihrer Verlagerung auf irgendeiner anderen Flugbahn, die sich von der geraden Linie unterscheidet.

Dennoch heben Neulinge die Hantel, wie zahlreiche Untersuchungen zeigten, auf einer Hantelflugbahn, die etwa eine Gerade ist; aber nach Verbesserung der Qualifikation ändert diese Hantelflugbahn ihre Form und nähert sich der S-Form.

Auf den ersten Blick scheint es, als ob dies ein offensichtlicher Widerspruch sei. Es könnte sein, dass sich selbst das organisierte System „Gewichtheber – Hantel“ nach der schlechten Seite hin entwickelt. In Wirklichkeit bedeutet das aber keinerlei Widerspruch. Die Dinge liegen so, dass der Heber, wenn er die Hantel hebt, eine Arbeit gegen die Schwerkraft ausführt. In Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik hängt die gegen die Schwerkraft ausgeführte Arbeit nicht von der Form der Hantelflugbahn, sondern allein von der Plattform ab. Da dies nun einmal so ist, kann das sich selbst organisierende System die Bewegungsbahn auswählen, die für das über begrenzte energetische Ressourcen verfügende entsprechende System optimal ist.

Nach dem Prinzip der Optimierung folgt, dass sich das System „Gewichtheber – Hantel“ so bewegen muss, dass die in den Gelenken entwickelten Momente so klein wie möglich sind. Das kann man durch die Verminderung zweier verschiedener Parameter erreichen: der Beschleunigung und des Hebelarmes der Schwerkraft. Jedoch führt eine Verringerung der Beschleunigung zur Geschwindigkeitsminderung der Hantel, was falsch ist. D.h., man muss den Hebelarm der Schwerkraft in den Grenzen des Möglichen verkleinern. Das erfolgt in der ersten Zugphase durch Annäherung der Hantel an den Gewichtheber durch die heranziehende Wirkung der Kraft der Arme und die kompensierende Gegenbewegung des Hüftgelenkes bei „Bedeckung“ der Stange durch den Schultergürtel.

Folglich geht die Krümmung der Hantelflugbahn in der ersten Zugphase aus der Notwendigkeit hervor, das Belastungsmoment der Schwerkraft zu verringern.

Die Krümmung der Hantelflugbahn wurde in der Richtung bei Ausführung der zweiten Zugphase untersucht.

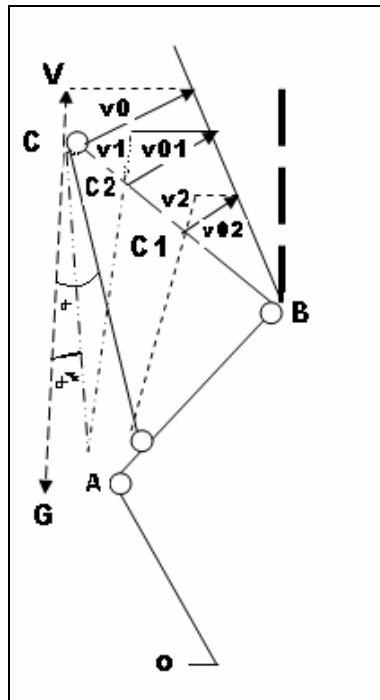


Abb. 13: Einfluss der Hantelposition auf die Maximalgeschwindigkeit. OA = Unterschenkel; AB = Oberschenkel; BC = Rumpf; G = Hantelgewicht; V, V1 und V2 = vertikale Komponente der Umfangsgeschwindigkeit; V0, V01 und V02 der Punkte C, C1 und C2 des Rumpfes bei einem Neigungswinkel der Arme von a und $a1$ zur Senkrechten (ŽEKOV 1976, 135)

Die senkrechte Komponente der Bewegungsgeschwindigkeit des Schultergürtels überträgt sich auf die Hantel über die Arme, die sich vor der zweiten Zugphase in einem gewissen Winkel zur Senkrechten befinden. Infolgedessen wird die Bewegungsgeschwindigkeit der Hantel nicht genau der Geschwindigkeit des Schultergürtels entsprechen (V, Punkt C). Sie hängt von der Projektion des Hebelarmes von G im gegebenen Moment auf die Richtung der Achsenlinie des Rumpfes ab (V_2 , Abschnitt BC_2), und je größer diese Projektion ist, umso größer ist auch die senkrechte Komponente der Geschwindigkeit. Die Länge der Projektion hängt aber vom Neigungswinkel der Arme zur Senkrechten ab. Je kleiner dieser Winkel, umso größer die Hantelgeschwindigkeit. Seine Minderung begünstigt die Krümmung der Hantelflugbahn in der vorderen Richtung. Eine gewisse Vergrößerung des Belastungsmomentes durch die Vergrößerung des Heberarmes ist unwesentlich, weil die maximale Größe des Hebelarmes in diesem Augenblick kleiner ist als ihr Wert in der Startposition

Bei der Ausführung der Hocke neigt sich die Hantelflugbahn der Bewegung der Hantel erneut nach unten und hinten. Die Rückwärtsneigung wird hervorgerufen durch die Einwirkung des Gewichthebers auf jene, der, wenn er in die Hocke geht, sich nach vorn unten verlagert. Die Reaktionskraft geht dabei in die entgegengesetzte Richtung. Die horizontale Komponente dieser Kraft krümmt die Hantelflugbahn. Die Abwärtsbewegung der Hantel entsteht durch die Elastizität der Muskeln und Bänder des Hebers sowie durch die teilweise Nutzung der Zeit der Rückbewegung für das

Hineingehen in die Hocke. So sieht die Krümmung der Hantelflugbahn bei der Übungsausführung bei geringstem Energieaufwand aus.

Art und Größe der Hantelflugbahnkrümmung hängen ab von Qualifikation und Körpergröße des Gewichthebers, von seiner Startstellung, vom Hantelgewicht ab. Wie Untersuchungen (ROMAN 1965, BAUMANN et. al. 1988 und ISAKA et al. 1996) ergaben, entfernt sie sich mit der Abnahme des Hantelgewichtes immer mehr vom Gewichtheber (Abb. 14). Das ergibt sich daraus, dass sich die Größe des Momentes selbst auswirkt, weil bei geringem Hantelgewicht das Belastungsmoment stets kleiner ist als sein Maximalwert beim Heben der Hantel mit Maximalgewicht.

Die Hantelflugbahn ist der informativste Parameter, der die räumliche Verlagerung der Hantel charakterisiert. Die Praxis zeigt, dass die Hantelflugbahn der Hantelbewegung für jeden Gewichtheber durchaus individuell ist, genauso individuell wie seine Handschrift. Dessen ungeachtet kann man die meisten Hantelflugbahnen in vier Gruppen einteilen, entsprechend ihrer Lage zur Senkrechten, die durch den Hantelschwerpunkt in der Startstellung führt (Abb. 14: A, B, C, D).

Zur Gruppe A gehören Hantelflugbahnen, welche die Senkrechte nicht schneiden; zur Gruppe B Hantelflugbahnen, die die Senkrechte einmal schneiden; zur Gruppe C Hantelflugbahnen, welche die Senkrechte zweimal schneiden; zur Gruppe D solche, die die Senkrechte dreimal schneiden.

Die Hantelflugbahnen der Gruppe A entstehen, wenn der Gewichtheber zu Beginn der zweiten Zugphase die Hüfte nicht energisch genug nach vorn bringt, wodurch die Hantel nicht überschreitet. Das ist der erste Grund.

Der zweite Grund ist das vorzeitige Strecken des Rumpfes in der Phase des Knieunterschiebens, die der zweiten Zugphase vorausgeht, wenn der Winkel zwischen Rumpf und Senkrechter klein ist (10 bis 15°). Die zweite Zugphase entsteht in diesem Falle im Wesentlichen auf Grund der Arbeit der Beinstrecker, und die Kraft des Hebers ist vornehmlich nicht nach vorn oben, sondern nur nach oben gerichtet.

Dritte Ursache kann die ungenügende Rücknahme der Hantel von der Senkrechten in der ersten Zugphase sein. Bei solchen Hantelflugbahnen springt der Gewichtheber in die Hocke, um unter den Schwerpunkt des Hantelsystems zu kommen.

Die Hantelflugbahn der Gruppe B wird beobachtet, wenn der Gewichtheber, der die Hüfte zu Beginn der zweiten Zugphase äußerst energisch nach vorn genommen und infolgedessen die Hantel nach vorn oben gebracht hat, die zweite Zugphase mit einem Ziehen der Hantel zu sich hin beendet. Das erfolgt dann, wenn der Rumpf vor der zweiten Zugphase sehr kräftig von der Senkrechten abgeneigt ist (fast horizontal). In solchen Fällen springt der Gewichtheber nicht selten, wenn er in die Hocke geht, nach vorn, um den Stütz unter den Systemschwerpunkt zu bringen. Die Gruppe C enthält die biomechanisch bewährtesten Hantelflugbahnen in höchstem Maße; sie widerspiegeln die beste Technik der Gewichtheberübungen.

Die Hantelflugbahnen der Gruppe D unterscheiden sich von allen vorhergehenden dadurch, dass sich die Hantel zu Beginn der Bewegung nicht nach oben hinten bewegt, sondern nach oben vorn, sich von der Senkrechten bis zu 4 cm entfernt und in der Höhe von 10 bis 15 cm die Senkrechte schneidet, wobei sie sich nach oben hinten bewegt. Vom Gesichtspunkt der Biomechanik her ist diese Bewegung als unzweckmäßig anzusehen, weil die Vorwärtsneigung der Hantelflugbahn den Hebelarm der Schwerkraft vergrößert, was für den Gewichtheber durchaus ungünstig ist. Die Krümmung der Hantelflugbahn nach vorn spiegelt offensichtlich das Bestreben des Gewichthebers wider, eine große Ausholbewegung für die Annäherung der Hantel zu sich vor der zweiten Zugphase zu haben.

Ungeachtet ihres großen Unterschiedes kann jede der Hantelflugbahnen weltbeste Leistungen hervorbringen.

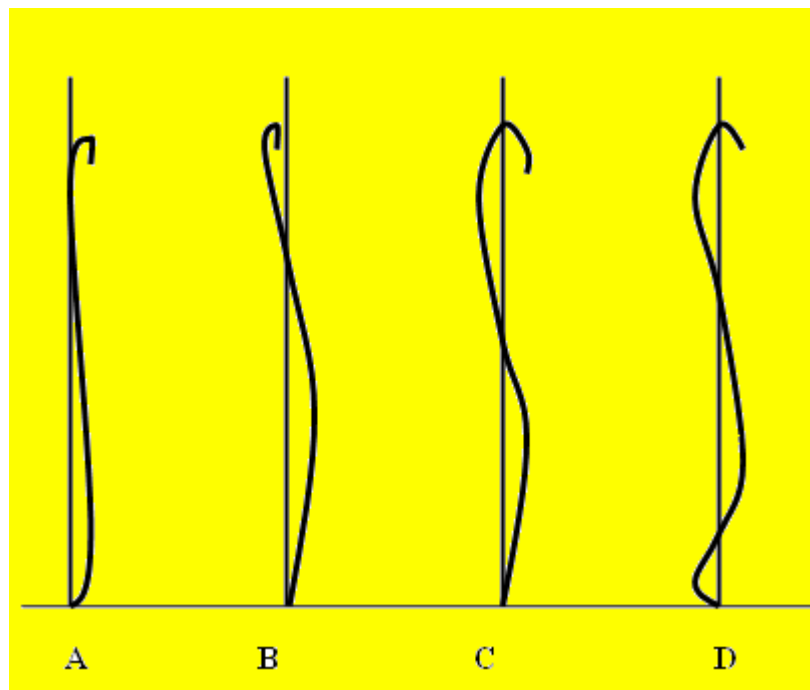


Abb. 14: Hantelflugbahntypen verschiedener Gewichtheber in unterschiedlichen Gewichtsklassen (ŽEKOV 1976, 138)

Die größte Verbreitung haben die Hantelflugbahnen der Gruppe C (etwa 50 %). Es folgen die Hantelflugbahnen der Gruppe A (etwa 35 %). Eine geringere Verbreitung haben die Hantelflugbahnen der Gruppe D (etwa 10 %) und die der Gruppe B (etwa 5 %). In dieser Reihenfolge kann wahrscheinlich auch ihre biomechanische Zweckmäßigkeit eingruppiert werden.

Wenn die Hantelflugbahn der Hantel in Form von Punkten mit gleichen Zeitintervallen zwischen ihnen registriert wird, kann nach einer solchen Hantelflugbahn der Grad der Zusammenarbeit von Gewichtheber und Hantel beim Hineingehen in die Hocke bestimmt werden.

Nimmt der Gewichtheber an, dass die Maximalgeschwindigkeit in der zweiten Zugphase 2 m/s beträgt und sie in einer Höhe von einem Meter erreicht wird, würde, wenn keine Einwirkung des Hebers auf die Hantel mehr besteht, Letztere nur durch die in der Zugbewegung erhaltene kinetische Energie um einen bestimmten Betrag (theoretische Treibhöhe S'_T) weiter nach oben fliegen. Die Treibhöhe ist dann:

$$S'_T = \frac{v^2}{2g} = \frac{2.2m^2/s^2}{2 \cdot 9.81m/s^2} = 20.2cm$$

Wenn die gemessene Treibhöhe dieser Größe entspricht, bedeutet das, dass keine Einwirkung mehr erfolgte. Ist sie größer als dieser Wert, so gibt es einen Zusammenhang, und dieser wirkt sich auf die Vergrößerung der Treibhöhe aus. Der Unterschied zwischen der tatsächlichen und der errechneten Höhe kann als Maß der Zusammenarbeit des Hebers mit der Hantel beim Hineingehen in die Hocke angesehen werden.

Wichtiger Parameter der Hantelflugbahn ist der Winkel, in dem die Hantel vom Heber zu Beginn der zweiten Zugphase nach vorn gebracht wird. Bekanntlich verläuft der Vektor der Hantelgeschwindigkeit V_0 längs der Hantelflugbahn. Die augenblickliche Richtung der Geschwindigkeit wird durch die Tangente bestimmt, die an den gegebenen Punkten der Hantelflugbahn angelegt wird (Abb.15). Diese Geschwindigkeit kann in zwei Komponenten zerlegt werden: in die vertikale V_y und in die horizontale V_x . Die Aufwärtsbewegung der Hantel sichert lediglich die vertikale Komponente. Ihre Größe kann nach der Formel

$$V_y = V_0 \cdot \cos\alpha$$

bestimmt werden.

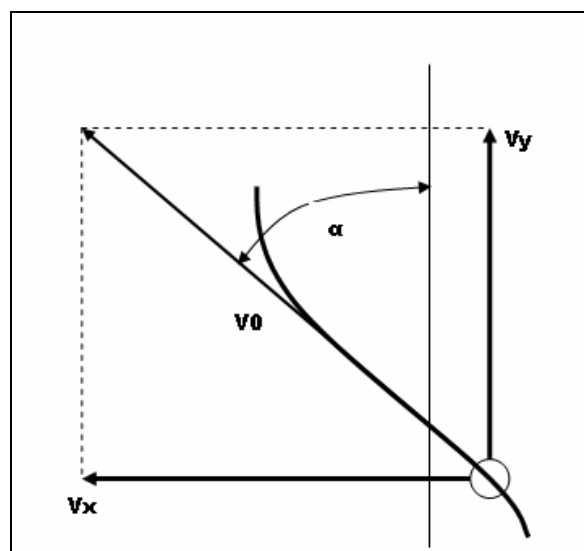


Abb. 15: Zerlegung der Bahngeschwindigkeit (V_0) der Hantel in ihre senkrechte (V_y) und waagrechte (V_x) Komponente (ŽEKOV 1976, 140)

Sichtlich vergrößert sich mit der Verringerung des Winkels α die vertikalen Komponente, und umgekehrt verkleinert sich die vertikale Komponente mit der Vergrößerung dieses Winkels. Da die 2. Zugphase nach der 1. Zugphase erfolgt, bestimmt der Winkel α den Grad des Verlustes an Geschwindigkeit vor der zweiten Zugphase. Wenn beispielsweise $\alpha = 90^\circ$ und $\cos 90^\circ = 0$ ist die Hantelgeschwindigkeit, die durch die 1. Zugphase erreicht wurde, im gegebene Augenblick gleich Null, und die Arbeit des Gewichthebers zur Schaffung dieser Geschwindigkeit wäre unnütz gewesen. In diesem Falle kommt die Hantel zu Beginn der 2. Zugphase lediglich vor den Gewichtheber, und erst nach Einschaltung der Rumpfstrecker richtet sie sich nach oben (ŽEKOV 1976, 141).

2.6 Bildverarbeitung

Es werden grundlegende Informationen und Verfahrensweisen für die Bildverarbeitung und Bewegungsanalyse angesprochen. Von den vielen Zielen, die eine „Bildverarbeitung“ haben kann, (Flächenanalyse, Bilderkennung, Größenbestimmungen usw.) soll hier nur das Ziel einer Bildverarbeitung zum Zwecke einer bewegungsanalytischen Aufgabenstellung dargestellt werden. Solche Fragestellungen sind von Interesse in der Industrieforschung (z.B. Sicherheitsanforderungen bei Kraftfahrzeugen), in der Ergonomie (Optimierung von Gebrauchsgegenständen), für die Erfassung der motorischen Entwicklung, zur Analyse von Bewegungstechniken und schließlich auch zum Erreichen von bewegungsspezifischen Parametern bei sportlichen Bewegungen. Nicht zuletzt können die resultierenden Daten (Raumkoordinaten) zu Weiterverarbeitung in Design- oder Animationsprogrammen verwendet werden.

Im folgenden wird gezeigt, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um die Bildanalyse sinnvoll und mit verwertbaren Ergebnissen anwenden zu können.

Gegenüber den meisten Messverfahren hat die Bildanalyse den Vorteil, dass sie rückwirkungsfrei arbeitet. Das heißt: Die Bestimmung quantitativer Größen durch dieses Messsystem hat keinen Einfluss auf das Verhalten des Messobjekts (physikalisch ausgedrückt: Durch die Messung wird dem Objekt mit der Ausnahme von Licht keine Energie ausgetauscht). Das liegt daran, dass die eigentliche Messung am Abbild des Objektes vorgenommen wird. Beim einfachsten Bildmessverfahren bringt diese Tatsache einen Nachteil mit sich: Das räumlich (in drei Dimensionen) ausgedehnte Objekt wird auf eine Ebene (zwei Dimensionen) abgebildet. Der Nachteil kann in Kauf genommen werden, wenn nur zwei Dimensionen von Interesse sind, z.B. bei der Bestimmung von Sprunghöhen, Anlaufgeschwindigkeiten zum Weitsprung oder Absprungwinkeln. Bei der Registrierung dieser Bewegungen muss darauf geachtet werden, dass die Bewegung möglichst komplett in einer Ebene liegt. Um Fehler zu vermeiden, die sich dadurch ergeben, dass bestimmte Körperteile sich aus der Bewegungsebene herausbewegen, sollte die Kamera weit entfernt von der Bewegungsebene stehen. Die physikalische Größe, die bei einer solchen Messung erhoben wird, ist zunächst die Ortskoordinate (als Funktion der Zeit). Hieraus werden die kinematischen Größen Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Winkel berechnet.

2.7 Bewegungsanalyse

Unter Bewegung wird physikalisch die Veränderung von Koordinaten im Laufe der Zeit in einem zunächst beliebig gewählten, dann aber festgehaltenen Koordinatensystem verstanden.

Das setzt zwei Dinge voraus:

- ein Koordinatensystem
- eine Zeitinformation

2.7.1 Das Koordinatensystem

Es dient dazu, bei einer späteren Bildauswertung eine Zuordnung zu den tatsächlichen (realistischen) Größenordnungen zu ermöglichen, für den Begriff des Koordinatensystems existiert noch der Begriff „Kalibrierungssystem“.

Das Koordinatensystem vermisst den Raum bei dreidimensionaler Analyse oder die Ebene bei zweidimensionaler Analyse, in dem bzw. in der sich die Bewegung vollzieht. Das Kalibrierungssystem ist das mathematische Hilfskonstrukt, mit dem im Ablauf der Berechnung in den Raum zurückgerechnet werden kann.

Der Messende braucht sich um den Zusammenhang zwischen Kalibrierungssystem und Koordinatensystem nicht zu kümmern, er wird durch die Software hergestellt, welche die Rohdaten verarbeitet. Als Kalibrierungssystem wird eine 18-Punkte-Parallelogrammform (2 x 1 x 2) benutzt (Abb. 16).

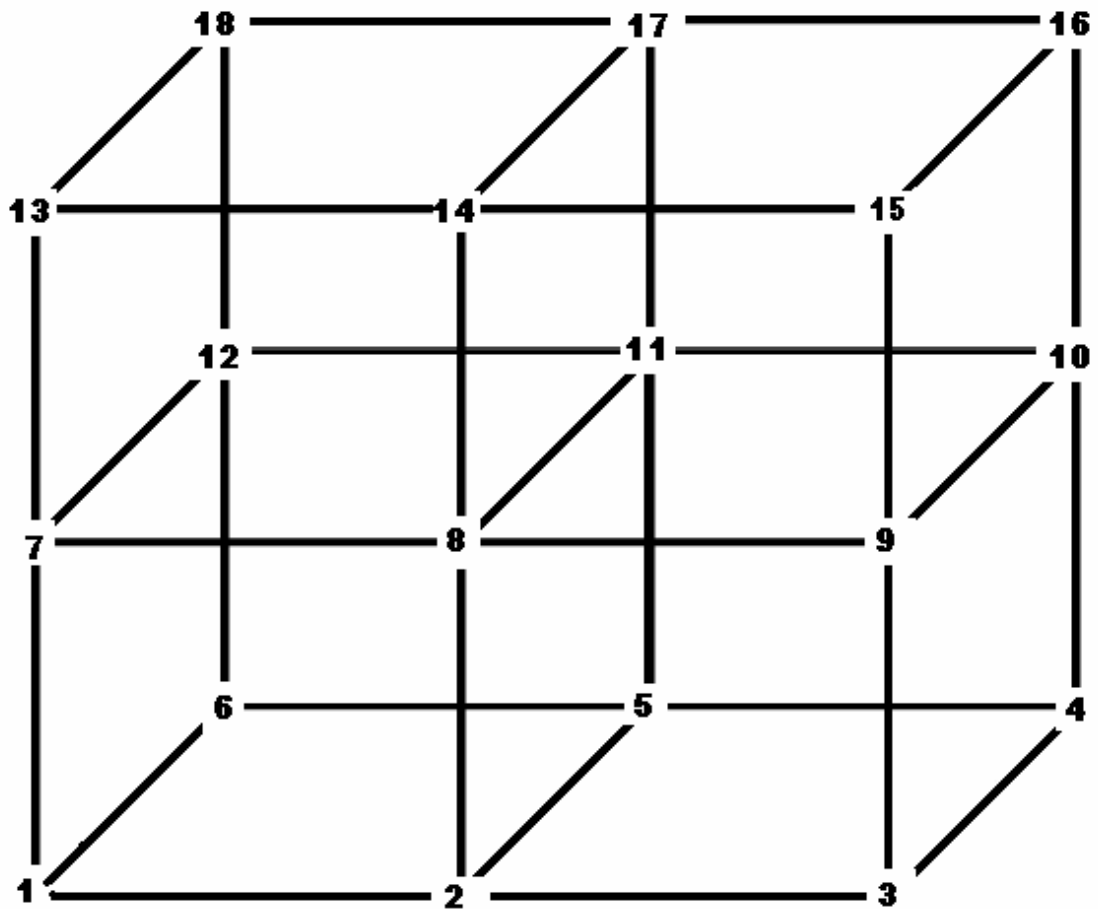


Abb. 16: Koordinatensystem (Kubus) mit 18 Punkten

Der Kubus soll natürlich an dem Ort stehen, an dem sich die Bewegung vollzieht und aufgenommen wird. Es reicht aus, wenn dieses Kalibrierungssystem nur auf einem Bild zu sehen ist, wenn gewährleistet ist, dass eine einmal gewählte Kamerakonfiguration (Brennweite, Standort, Fokus, Bildebene) nicht mehr verändert wird.

2.7.2 Zeitinformation

Das zeitliche Auflösungsvermögen wird – wie beim Film – durch die maximale Bildfrequenz und die Belichtungsdauer bestimmt. Die kommerziellen und ein Großteil der industriellen Fernsehkameras arbeiten mit Bildfrequenzen von 25 B/s. Wegen der flimmerfreien Darstellung der Bewegung werden im sogenannten Zeitsprungverfahren 50 Halbbilder pro Sekunde projiziert, doch ist diese Erhöhung der Bildfrequenz mit einer Erhöhung der Bildfolgefrequenz mit diesen Kameras nicht möglich; die angebotenen Zeitlupen entstehen durch Mehrfachprojektion des gleichen Bildes und sind ebenfalls unecht. Mit 25 bzw. 50 B/s kann man sportliche Bewegungen z. T. ausreichend genau erfassen (BALLREICH/ BAUMANN 1996, 89).

2.8 Das Hanavan-Modell

Zweck des biomathematischen Modells des menschlichen Körpers ist die ökonomische Bestimmung der Koordinaten des Körperschwerpunktes (KSP) und der Massenträgheitsmomente um die drei Achsen durch den KSP. Die zu erhebenden Modellmerkmale sollen an der lebenden Versuchsperson von außen leicht und ohne körperliche Beeinträchtigung messbar sein (BALLREICH/ BAUMANN 1996, 186).

2.8.1 Aufbau des Modells aus Teilmodellen

Bei der Modellierung werden die Körperteile auf Segmente abgebildet. Beispielsweise wird der Körperteil „Oberarm“ mit unregelmäßigen Begrenzungen und von Volumenelement zu Volumenelement stark variierender Dichte auf ein Segment „Oberarm“ mit regelmäßigen Begrenzungsflächen und konstanter Dichte abgebildet.

2.8.2 Modellansatz

Der Ansatz des Teilmodells der Massenverteilung ist datenorientiert, da sich die Beschreibung der Dichteverteilung des menschlichen Körpers einer biologisch-mathematischen Theorie entzieht. Im Unterschied hierzu steht das Teilmodell zur geometrischen Abbildung der Körperteile auf einer theoriebasierten Modellierung unter der Nebenbedingung, regulär geformte geometrische Körper zur Darstellung der Segmente zu benutzen. Das Massen-Teilmodell beruht auf statistischen Analysen, die in mehreren Durchdringungsstufen vorliegen. Die erste Stufe greift für die Bestimmung der Segmentmassen auf allgemeine Proportionen, die zweite auf einfache und die dritte auf multiple Regressionsgleichungen zurück (BALLREICH/ BAUMANN 1988, 158).

2.8.3 Teilmodell der Geometrie der Körperteile

Ausgehend von den oben genannten Folgerungen zum Aufbau des Modell, nicht nur die Massenverteilungsmerkmale, sondern auch die Oberfläche und die Beweglichkeit des menschlichen Körpers zu repräsentieren, wurden die Extremitäten entsprechend ihrem knöchernen Aufbau jeweils in drei Segmente (Fuß, Unter- und Oberschenkel bzw. Hand, Unter- und Oberarm) zerlegt. Der Kopf bietet sich auf Grund des starren Schädels als weiteres Segment an. Erhebliche Schwierigkeiten bereitet jedoch die Modellierung des Rumpfs. Seine Erfassung als ein Segment ist für viele Bewegungen nicht adäquat, da Rumpfbeugungen in vielen Sportarten wichtige Elemente sind. Das Zwerchfell und damit in etwa der untere Rippenbogen trennt den zum Teil luftgefüllten Brustkorb von dem weitgehend wässrig gefüllten Bauchraum. Diese beiden Bereiche besitzen damit eine unterschiedliche Dichte, die bei einer Trennung in verschiedene Segmente adäquat wiedergegeben werden kann. Damit besteht das Modell aus 15 Segmenten, wie in Abb.17 gezeigt wird.

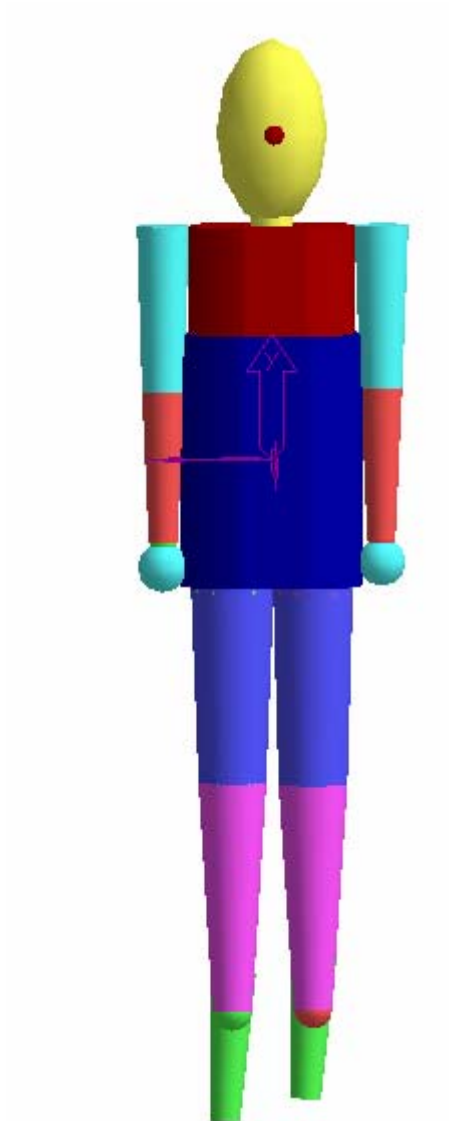


Abb. 17: Struktur des Hanavan-Modells mit 15 Segmenten (VIETEN, Human Builder 1991)

2.8.4 Anwendung des Modells

Bei der Entwicklung des Modells durch HANAVAN (1964) war der Zweck primär die Simulation von Bewegungen, die weitgehend geheim im Bereich der Luft- und Raumfahrt durchgeführt wurden. In der Biomechanik der Sport nehmen die Anwendungen des Modells einen breiten Raum ein:

- Bei Bewegungsanalysen werden mit Computerunterstützung die Durchstoßpunkte der Gelenkachsen und die Enden der Extremitäten auf Filmaufnahmen digitalisiert und mit Hilfe des Modells die Bewegungen der Körperteilschwerpunkte und des KSP sowie die Drehimpulse berechnet, um so eine umfassende Bewegungsbeschreibung zu erhalten.

- Bei Stützbewegungen lassen sich die äußeren Kräfte messen und Muskelkraftmomente mit Hilfe des Modells bestimmen.
- Das Modell wird auch in der Sportbiomechanik zur Simulation von Bewegungen benutzt, wobei man sich meist auf Flugbewegungen beschränkt, die im ebenen Fall einer allgemeinen Theorie gehorchen.

Vergleichende Untersuchungen ergaben in allen Anwendungsfällen Fehler im Bereich von weniger als 5–10 Prozent, also Werte, die auf Grund der Fehlerfortpflanzung aus den Messfehlern zu erwarten sind; die Genauigkeit des Modells des menschlichen Körpers reicht damit für ein breites Anwendungsspektrum der Biomechanik aus (BALLREICH/BAUMANN 1988, 168).

2.9 Stand der biomechanisch orientierten Forschung

BÖTTCHER, J./DEUTSCHER, E.: Biomechanische Ergebnisse zur Bewegungstechnik im Gewichtheben (Reißen). In: Leistungssport 4 (1999), 55-62

Ziel:

Optimierung der Technik zur Identifikation der besten biomechanischen Lösung.

Fragestellung:

Besteht ein Zusammenhang zwischen der Wettkampfleistung und der Bewegungstechnik?

Methode:

- dreidimensionale kinematische Analysen im Reißen
- 103 dreidimensionale Untersuchungen im Training und Wettkampf
- Probanden: 94 Männer, 9 Frauen (Spitzenathleten aller Gewichtsklassen)
- Ausgewertet wurde immer der beste Trainingstest oder Wettkampf
- *Testmethode:* 3D-Kinemetrie 16-Punkte-Körpermodell Dempster, Extrapunkte für die Hantel, Glättungsalgorithmus Cubic
- *Auswertemethode:* APAS, 100 Hz
- 2 starre Videokameras (Panasonic M 9000, 50Hz)
- Kameraentfernung: 10-30 m, ca. 100° Winkel zueinander
- Shutterfrequenz: 1/500 s
- Beginn: 29ms vor dem Abheben der Hantel
- Ende: vollendete Sitzposition
- *Statistik:* Maßkorrelation, n=103, Datenreduktion
- *Prüfverfahren:* Signifikanzniveau $P < 0.01$, $r > 0,25$, $r^2 > 0,06$, t-Test, Normalverteilung

Ergebnis:

Die Bewegungsphasen der Technik des Reißens konnten normiert werden. Unterschiedliche Startpositionen beeinflussen die Anfangsbeschleunigung und die gesamte Geschwindigkeits- und Bewegungsstruktur der Reißbewegung. Bei der Einhaltung vorgegebener Positionen zu den verschiedenen Phasen

- 1. Zugphase = Abheben und Beschleunigung der Hantel,
- 2. Zugphase = Kniepassage,
- 3. Zugphase = finale Streckung der Beine und des Rumpfes,
(Umgruppieren und Sitzposition)

können Geschwindigkeitsverluste an der Hantel während der Kniepassage vermieden werden. Ein zweckmäßiger Wechsel zwischen Bein- und Hüftstreckung reduziert den Kraftaufwand, weil dann eine gleichmäßige Beschleunigung der Hantel erfolgt. Die Wettkampflast kann erhöht werden, wenn es gelingt, durch mehr Restarbeit und geringere Sitzhöhe mit einer kleineren Hantelgeschwindigkeit gültig zu heben. In der finalen Zugphase beeinflusst die Phasensynchronität der Bein- und Hüftstreckung eine schnelle Beseitigung der Bodenreaktion. Ein einheitliches Technikmodell zur Trainingssteuerung ist unter Berücksichtigung eines Toleranzfeldes der Normwerte anwendbar.

MEDVEDEV, A.S./ FROLOV, V.I./ KRASOV, E.A./ DENISKIN, V.N./ MELKONJAN, A.A./ UPMALIS, J.R.: Experimentelle und theoretische vergleichende Analyse der Technik des Gewichthebens. In: Teor. Prakt. fiz. Kult. 10 (1984), 8-9

Ziel:

Bestimmung der optimalen Bewegungsstruktur zum Heben der Hantel von hochqualifizierten Schwerathleten auf die Brust mit 90%-iger Belastung sowie Ausarbeitung von Anforderungen für die rationelle Ausführung von einzelnen Bewegungsperioden, -phasen und -elementen.

Methode:

Die Aufzeichnung der Bewegung erfolgte mit einem analog-numerischen Registrator, der an einen Perforator angeschlossen und mit dem PC vernetzt war.

Probanden: hochqualifizierte Schwerathleten (38 Meister des Sports und Internationale Meister des Sports), Mitglieder der Nationalmannschaft der UdSSR und des CS Dynamo.

Ergebnis:

Die Analyse der Hebetechnik der Hantel auf die Brust mit 90%-iger Last bestätigte die Notwendigkeit einer Untergliederung der Übung in 3 Perioden und 6 Phasen. Die Hauptphasen sind dabei 2, 3 und 4, in denen das eigentliche Zusammenwirken von Athlet und Hantel stattfindet. Die für eine richtige Ausführung der Phasen 3 und 4, sowie der Gesamtübung bestimmende Phase ist die 2. Phase (des vorbereitenden Schwunges).

Durch die Kenntnis der qualitativen Merkmale der Hebung der Hantel auf die Brust werden während des Trainings die Bewegung insgesamt und nach ihren Phasen bewertet, Fehler bei ihrer Ausführung gesehen und methodische Verfahren zur Beseitigung der Mängel beim Aufbau und der Verbesserung der Athleten entwickelt.

BAUMANN, W./ GROSS, V./ QUADE, K./ GALBIERZ, P./ SCHWIRTZ, A.: The Snatch Technique of World Class Weightlifters at the 1985 World Champions. In: International Journal of Sport Biomechanics 4 (1988), 68-89

Ziel:

- Beschreibung der Technik des Reißens in Hinsicht auf kinematische und externe und innere kinetische Parameter.
- Vergleich der Ergebnisse für Athleten anderer Gruppen und Gewichtsklassen.

Methode:

Probanden:

Alle Hebungen im Reißen, Stoßen und Umsetzen in allen Gewichtsklassen wurden mit Video aufgenommen. Außerdem wurden 20 % von diesen auch gefilmt und Bodenreaktionskräfte wurden für ungefähr 80 % der Lifts gemessen.

Einteilung in 2 Gruppen, die 4 Gewichtsklassen benutzten (60, 75, 90 und 110+ kg), die 1. umfasste die 10 besten Lifts der vier Erstplatzierten, die 2. die 10 schlechtesten. Insgesamt wurden 82 Lifts untersucht.

Die dreidimensionale kinematische und kinetische Analyse, einschließlich einer Kalkulation der Gelenkmomente, wurden direkt vom Film und der Messung der Bodenreaktionskraft erhalten. Ausgewählt waren 17 Versuche in drei Gewichtsklassen.

Definition der Variablen:

Der Schwerpunkt liegt auf der Reiß-Technik vom Beginn der Bewegung bis zu dem Punkt, an dem der Gewichtheber die Hantel nach unten fallen lässt. Es wurden 28 Variablen ausgewählt.

Kinematik:

2 Videokameras (JVC), 50 Hz, 625 Linien, stehen im 90°-Winkel zueinander, Kamerageschwindigkeit 50 fps

Referenzsystem: Kubus 4 x 2 x 1 m

Digitalisiert wurden 17 Punkte am Gewichtheber und 4 an der Hantel

Kinetik-Bodenreaktionskräfte:

2 Kistler Kraftmessplatten (600x1000 mm), Spezialanfertigungen für dieses Projekt
100 Hz, Messzeitraum 10 s

Ergebnis:

Die meisten der Ergebnisse stimmen in Bezug auf die Kinematik der Hantel und der Bewegung des Körpers mit den Ergebnissen überein, die bereits in der Literatur zu finden sind. Die Ausnahme ist der Weg der Hantel, der sich eindeutig verändert hat und mehr zum Gewichtheber während des ersten Ruckes kommt. Als eine Folge wird hier während des Sinkens („drop“) unter der Hantel ein Sprung nach hinten ausgeführt, was VOROBIEV als Technikfehler ansah.

Die wichtigsten Ergebnisse scheinen jene zu sein, die die innere Kinetik betreffen, nämlich die muskulären Momente. Diese Parameter werden eng mit der muskulären Kontrolle der Bewegung in Verbindung gebracht. Angesichts der gegenwärtigen Ergebnisse scheint es, dass die Aufteilung der Technik des Reißens in seine üblichen Pull-Phasen nicht mehr völlig logisch ist. Solch eine Struktur wird von den

kinematischen Merkmalen der Hantelbewegung oder der Veränderung des Knie-Winkels hergeleitet (VOROBIEV 1984; PIETKA & SPITZ 1978). Eine Alternative dazu ist von KAUHARREN et al. (1984) vorgeschlagen worden, die die Unterteilung der Technik in drei Phasen auf dem einzigen Kriterium von Minimum und Maximum der Knie-Winkel begründeten. Das Problem bleibt trotz seiner Wichtigkeit ungelöst, weil die Wirkungen auf die Ergebnisse in Bezug auf das Knie und die Hüftgelenke unbekannt sind. Der zusätzliche Einsatz von EMG-Messungen wäre eine wichtige Überlegung in künftigen Studien.

FUNATO, K./MATSUO, A./FUKANAGA, T.: Specific Movement Power Related to Athletic Performance in Weight Lifting. In: Journal of Applied Biomechanics 12 (1996), 44-57

Ziel:

Untersuchung der "specific movement power" (SMP) mit einem neu entwickelten Dynamometer

Fragestellung:

In welchem Bezug steht mechanische Kraft zur sportlichen Leistung beim Gewichtheben?

Methode:

Untersuchung durch ein neu entwickeltes Power Processor Dynamometer, das Kraft, Geschwindigkeit, Arbeit und Schnellkraft misst.

4 simulierte Pull-Bewegungen wurden gemessen:

1. Weight Lifting Pull (WL),
2. 2. Pull,
3. Back Strength Pull,
4. Shoulder Shrug Pull.

Probanden: 12 japanische Elite- und 14 Distrikt-Level Gewichtheber

Definition der Leistung: das höchste Gesamtgewicht (Reißen, Umsetzen und Stoßen), das während des Wettkampfes gehoben wurde.

Ergebnis:

Die größte SMP wurde beim WL beobachtet. Force, Geschwindigkeit und Power wurden vom WL abgeleitet und zeigten bei den Elite-Sportlern höhere Werte bei Geschwindigkeit und Schnellkraft als bei den Distrikt-Sportlern. SMP bei WL korrelierte signifikant mit der sportlichen Leistung. SMP als eine simulierte Pull-Bewegung mit dem neuen Dynamometer gemessen erscheint nützlich beim Auswerten sportlicher Leistung.

MEDVEDEV, A.S./ MASALGIN, N.A./ FROLOV, V.I./ HERRARA, A.G.: The Interrelationships between Various Parameters in Jerking the Barbell from the Chest. In: Teorija i Praktika Fizicheskoj Kultury 6 (1981), 32-35

Ziel:

Bestimmung der zugrundeliegenden Muskelaktivität, Untersuchung der Interaktion der elektromyographischen und kinetischen Bewegungsparameter des Sportlers während des Stoßens von der Brust.

Fragestellung: -

Methode:

Mit der Kraftmessplatte wurde die Vertikalkraft der Unterstützungsreaktion gemessen.

EMG-Gerät für die Gruppe des m. quadriceps femoris

Probanden: 15 Gewichtheber der Klasse III und 8 Meister des Sports.

Gemessen wurden Umsetzen und Stoßen mit 85-90 % des Maximalgewichts beim besten Heben (von 3 Versuchen).

Ergebnis:

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass die maximale Unterstützungsreaktion beim Stoßen einer Hantel von der Brust negativ mit der Länge der Haltephase korreliert, d.h. um diese Bewegung effektiv ausführen zu können, sollte die Zeit des Haltens sich 0 annähern. Das ist in den Fällen möglich, bei denen die Bremsphase kurz ist und mit schneller Mobilisierung der motorischen Einheiten beginnt. Beim Stoßen von der Brust ist die Effektivität der beteiligten Muskeln in der Stoßphase höher, wenn die Bremsphase mit einer schnellen Mobilisierung der motorischen Einheiten beginnt und schnell ausgeführt wird, so dass die Haltephase fehlt, d.h. die Muskeln wechseln sofort vom Exzentrischen zum Konzentrischen.

Je kürzer die Länge der Haltephase ist, desto größer ist die maximale Unterstützungsreaktion für das Stoßen von der Brust. Je kürzer die Haltephase ist, desto schneller ist die Erholung der motorischen Einheiten beim Beginn der Bremsphase und desto kürzer ist diese Phase. Um die Technik des Stoßens zu verbessern, ist es notwendig die Zeit zu verkürzen, die gebraucht wird, um von der Flexion zur Extension der Gelenke der unteren Extremitäten zu wechseln.

HÄKKINEN, K./ KAUKANEN, H./ KOMI, P.V.: Biomechanical Changes in the Olympic Weightlifting Technique of the Snatch and Clean & Jerk from Submaximal to Maximal Loads. In: Scandinavian Journal of Sports 6 (1984) 2, 57-66

Ziel:

Untersuchung verschiedener dynamischer, kinematischer, kinetischer und elektromyographischer Merkmale der olympischen Technik des Reißens, Umsetzens und Stoßens von submaximaler bis maximaler Belastung.

Fragestellung: -

Methode:

Die Bodenreaktionskräfte wurden mit einer Kraftmessplatte gemessen.

Die Kniewinkel und Kniewinkel-Geschwindigkeiten wurden mit einem elektrischen Goniometer erfasst.

Die maximalen Hebehöhen und die Hantelgeschwindigkeit wurden elektronisch gemessen.

Die EMG-Aktivitäten des m. gastrocnemius, m. vastus lateralis, m. biceps femoris und m. erector spinae wurden telemetrisch mit Oberflächen-Elektroden erfasst.

Die Trajektorien der Hantel und die Positionen der Schultergelenke während der verschiedenen Hebephasen wurden mit Video analysiert.

Die Hebungen wurden mit 70, 80, 90 und 100 % durchgeführt. Zwei erfolgreiche Versuche wurden bei jeder submaximalen Belastung durchgeführt, aber nur die ersten Hebungen wurden für die Auswertung verwendet. Um die Stabilität der olympischen Hebungen bei submaximalen Belastungen zu untersuchen, führten vier Probanden der Elite-Gruppe und vier Probanden der Distrikt-Gruppe die Hebe-Serien mit 70, 80 und 90 % Belastung 2x durch.

Statistik: Berechnung des Durchschnitts, der Standard-Abweichungen und Standard-Fehler, t-Test

Probanden: 7 finnische Gewichtheber auf nationalem Level und 6 auf Distrikt-Level verschiedener Gewichtsklassen (52-100 kg), durchschnittliches Gewicht $76 \pm 17,3$ und $76,3 \pm 13,2$ kg)

Ergebnis:

Größere ($p < .05-.01$) maximale relative Bodenreaktionskräfte wurden in beiden Gruppen bei submaximaler Belastung (70, 80, 90 %) als bei maximaler (100 %) Belastung während der 1. und 3. Pulls beim Reißen und Umsetzen gemessen. Die relativen Kräfte während der konzentrischen Phase beim Stoßen nahmen ($p < .05-.001$) in beiden Gruppen ab, wenn die Belastung der Hantel zunahm. Während dem 1. Pull produzierte die Elite-Gruppe bei allen Belastungen größere Reaktionskräfte ($p < .05$) als die Distrikt-Gruppe. Während des 3. Pulls nahm die Hantelgeschwindigkeit in beiden Gruppen signifikant ab ($p < .05$), als die Belastung der Hantel zunahm. Die durchschnittliche Dauer der Umgruppierungs-Phasen waren in beiden Gruppen beim Reißen, Umsetzen und Stoßen bei 100 % Belastung signifikant länger ($p < .05-.01$) als bei 70 %. Beim Stoßen war außerdem bei der Elite-Gruppe die Dauer dieser Phase kürzer ($p < .05-.01$) als bei der Distrikt-Gruppe. Die maximalen relativen Hebehöhen (lift heights) der Hantel nahm bei beiden Hebungen in beiden Gruppen ab, wenn die Belastung zunahm. Es gab keine Gruppen-Unterschiede in den relativen IEMG-Werten der verschiedenen Hebe-Phasen beim Reißen, Umsetzen und Stoßen bei 70 oder 100 % Belastung. Die Daten zeigen, dass in beiden Gruppen (Elite und Distrikt-Level) die biomechanische Struktur bei der olympischen Technik von der Belastung der Hantel abhing.

SOKOLOV, L.N.: Improving the Technical Mastery of Weightlifters. In: Tyazhelaya Atletika 5 (1976), 32-35

Ziel:

Untersuchung der technischen Fehler beim Reißen und Stoßen von der Brust.

Fragestellung:

Warum führt die nicht exakte Ausführung des „Top Pull“ (Explosion) dazu, dass die Hantel nach hinten fällt?

Wie sieht die Beziehung zwischen den Muskeln aus, die an der technischen Ausführung des „Top Pull“ beteiligt sind?

Methode:

Die Basis der Methode ist die Einrichtung eines motorischen Programms zur Anwendung von Maximalkraft und -amplitude in den Hauptphasen der klassischen Übungen.

Die Methode soll zuerst mit kleinen Gewichten ausprobiert werden. Das Hantelgewicht soll allmählich bis zum Maximum erhöht werden, in Verbindung mit Verbesserungen der Technik. Wenn der Sportler sein Gefühl der „Leichtigkeit der Hantel“ verliert, soll das Gewicht reduziert werden. Danach versucht er wieder, die Belastung zu erhöhen. Um maximale Ergebnisse zu erzielen, ist es nötig, mittlere Gewichte und periodisch fast-Maximum-Gewichte zu verwenden.

Ergebnis:

Wenn die Grundtechnik korrekt ist, kann ihre Verbesserung mit den erwähnten Methoden in jeder Phase der Vorbereitung erfolgen. Wenn die Perfektionierung der Technik es erfordert, die einzelnen Phasen der Bewegung zu verändern, um sie effektiver zu machen, so kann dies nur lange vor dem Wettkampf geschehen.

GARHAMMER, J.: Biomechanical Profiles of Olympic Weightlifters. In: International Journal of Sports Biomechanics 1 (1985), 122-130

Ziel:

Beitragen zusätzlicher Daten von Weltklasse-Gewichthebern während der Olympischen Spiele 1984 in Los Angeles.

Fragestellung: -

Methode:

Probanden: 5 Goldmedaillisten im Reißen, Umsetzen und Stoßen bei den Olympischen Spielen 1984.

Kamera: 16 mm-High-Speed-Kameras (Redlake LoCam), 50 fps bei den Filmaufnahmen.

Athleten werden von vorne (anterior) und von der Seite (lateral) gefilmt (bezogen auf ihre Startposition).

1. Kamera: Entfernung 9,5 m von der rechten Seite der Plattform,

2. Kamera: Entfernung 19 m vor dem Plattform-Center

Digitalisieren: Vanguard Projektionskopf, Talos Digitalisierungs-System oder ein Lafayette Projektor und ein Numonics Digitalisierungs-System, Apple II-PC

Um ein Beispiel der talentiertesten Gewichtheber der ganzen Welt zu bekommen, wurden alle Hebungen der A-Sektion in 5 Gewichtsklassen (56, 75, 82.5, 100, 110+ kg) gefilmt.

Vorher wurden bei der 52-kg-Klasse Kameratests durchgeführt.

Für die Analyse ausgewählt wurden die erfolgreichsten Hebungen beim Reißen, Umsetzen und Stoßen der Goldmedaillisten in der 56, 75, 82.5, 100 und 110+ kg-Klasse. Zusätzliche Hebungen der 100 kg-Klasse wurden analysiert, um einen Vergleich von Hebungen mit verschiedenen Gewichten und um longitudinale Vergleiche mit bereits veröffentlichten Daten von 1978 zu haben.

Während jeder Reiß- und Umsetz-Analyse wurde der Weg der Hantel (von der Seite) von dem Zeitpunkt an aufgezeichnet, wo sie den Boden verließ bis sie ihren höchsten Punkt über der Plattform erreichte, während der Athlet in die Squat-Position ging.

Während jeder Analyse des Stoßens wurde von dem Zeitpunkt an gefilmt, an dem der Athlet begann, seine Knie zu beugen um die Hantel nach oben zu bringen bis seine Füße angingen, die Plattform zu verlassen, um die Hantel über den Kopf zu heben.

Ergebnis:

15 Parameter für Reißen und Umsetzen, 5 für Stoßen.

Die Hantel-Trajektorien waren in einer Beziehung ähnlich: Sie zeigten, dass sich die Hantel, als sie von der Plattform gehoben wurde, während des 1. Pulls zum Sportler hin bewegte, dann weg vom Athleten und schließlich wieder zu ihm hin, als sie während der Fixierungs-Phase anfang zu sinken. Hantel-Geschwindigkeitsprofile zeigten, dass die meisten Gewichtheber die Hantel-Geschwindigkeit am Ende des 1. Pulls verlangsamen, während sie ihre Körperposition für den 2. Pull wieder einnehmen. Die berechneten Kräfte waren hoch und zeigten beträchtliche Ähnlichkeiten bei ausgewählten Phasen der Hebungen bei einem bestimmten Athleten. Die Kraft-Werte für das komplette Reißen und Stoßen lagen typischerweise zwischen 28 und 35 W/kg der Körpermasse. Höhere Werte wurden bei Subphasen der Pulls und bei den Stößen festgestellt.

ENOKA, R.M.: The Pull in Olympic Weightlifting. In: Medicine and Science in Sports 11 (1979) 2, 131-137

Ziel:

Die vertikale Komponente der Bodenreaktionskraft soll gemessen werden, und zusammen mit kinematographisch gewonnenen Informationen soll der Einfluss der externen Kräfte auf die Hantelverschiebung untersucht werden. Außerdem soll das 2. Kniebeugen untersucht werden.

Fragestellung: -

Methode:

Nur Umsetzen und Stoßen werden untersucht.

Die Bewegung wurde von dem Moment an untersucht, in dem die Hantel den Boden verließ bis der Sportler sich in die Hocke bewegte.

Probanden: 5 erfahrene Gewichtheber führen 3 Versuche mit jeweils 70, 85 und 100 % der Maximalkraft durch.

Eine Beschränkung war, dass der Sportler die Kontrolle über die Hantel während der gesamten Bewegung behielt, um zu vermeiden, dass die Hantel auf die Plattform fiel.

Kamera: LoCam, 4X Reversal Film, Angenieux Zoom

59.2 fps

Kameraentfernung: 11.3 m von der Plattform

Linsenhöhe 0.96 m über dem Boden

Shutter Faktor 2.57

Ein Spiegel (0.50 x 1.35 m) wurde in einem Winkel von 45° vor die Probanden gestellt, so dass auch die Frontalansicht gefilmt werden konnte.

Kraftmessplatte: Kistler Kraftmessplatte Typ 9261A zur Messung der Bodenreaktionskräfte

Kristalltyp 9803 Multi Channel Amplifier Assembly

Tektronix 5102N Speicherung-Oszilloskop

Photokamera: 35 mm Nikkormat Kamera, Kodak 2475 Film

Gleichzeitig mit der kinematographischen Aufnahme wurde die Bodenreaktionskraft mit der Kraftmessplatte gemessen.

Eine synchronisierte „time base“ für den 16 mm Film und die Oszilloskop-Spur wurden von einem gewöhnlichen Oszillator mit dem gleichzeitigen externen Auslösen des waagerechten Schwungs des Oszilloskop-Strahls und dem Pulsieren eines LED innerhalb der Kamera eingerichtet. Der Oszillator stellte auch die Eingabe für einen der senkrechten Verstärker im Oszilloskop bereit. So wurden diese Pulse auf dem Film und dem Oszilloskop aufgenommen und später verwandt, um die zwei Sets von Aufzeichnungen anzugleichen.

Digitalisierung: Benson-Lehner System

Butterworth Filter (3, 17, 18) für ausgewählte anatomische und Hantel-Markierungen

HP 9820A Rechner, 9862A Plotter, 9864A Digitizer wurden benutzt, um die Bodenreaktionskräfte und die kinematographisch berechneten vertikalen Komponenten der Beschleunigungszeit der Daten zu analysieren.

Ergebnis:

Daten von fünf erfahrenen Gewichthebern stimmten bei den senkrechten Kräften, die bei der Hantel und dem System (Hantel und Gewichtheber) während des Pulls angewandt werden, überein mit früheren Verlagerungs-Zeit-Beschreibungen der doppelten Knie-Beugung, die aus zwei Phasen der Extension besteht, die durch eine Periode der Neuausrichtung unterbrochen wird (2. Knie-Beugung). Die senkrechte

Komponente der Bodenreaktionskraft (Rz) bestand aus drei Phasen: Weighting I, Unweighting (negative Beschleunigung) und Weighting II. Die relative Größe des Rz-Impulses schwankte zwischen 118-141% beim Weighting I, 74-89% beim Unweighting und 122-135% beim Weighting II. In Zustimmung mit veröffentlichten theoretischen Berechnungen produzierte der erfahrene und erfolgreiche Gewichtheber zuerst die größere Phase positiver Beschleunigung. Das erneute Beugen der Knie wurde mit der Unweighting-Phase assoziiert. Obwohl dieses letzte Intervall mit einer Phase des Langsamerwerdens der Hantel übereinstimmte, schien es, dass die Erweiterung der Aktivität des Rückens, der Hüfte und Knie-Extensoren irgendwelche ungünstigen Wirkungen überwogen.

Die Beschleunigungen des Systems (KMP) und der Hantel (kinematographisch gemessen) bestanden aus 3 Phasen: Weighting I, Unweighting (negative Beschleunigung) und Weighting II. In Bezug auf das System beziehungsweise die Hantel-Gewichte spiegelten die zwei Weighting-Phasen positive Impulse und die Unweighting-Phase einen negativen Impuls wider. Nur ein Gewichtheber entsprach den Anforderungen GRIEVES für eine erfolgreiche Technik, mit einer relativen Größe von Weighting I größer als Weighting II. Die Periode negativer Beschleunigung wurde dadurch produziert, aber dem ging die zweite Kniebeugung voraus. Die relative Größe der Unweighting-Phase des erfahrenen Probanden war merklich verschieden zu denjenigen anderer Gewichtheber, und resultierte wahrscheinlich von einem Unterschied in der muskulösen Kontrolle der zweiten Kniebeugung.

Obwohl die zweite Kniebeugung mit der Unweighting-Phase assoziiert wurde, erlaubte die Neuausrichtung die verbesserte Wiederbeschäftigung während Weighting II, von Muskeln, die in Weighting I verwandt wurden, z.B. Kniegelenksexensoren. Auch während die Hantel hauptsächlich von der Schwerkraft nach unten beschleunigt wurde, führte die Extension des Rumpfes zu einer Abnahme der erforderlichen resultierenden Muskelkraft des Rückens und der Rumpffextensoren, gerade vorausgehend zum bedeutenden Beitrag dieser Muskeln zur Hantel-Beschleunigung während Hebungsbewegung II.

ENOKA, R. M.: Load- and Skill-Related Changes in Segmental Contributions to a Weightlifting Movement. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (1988) 2, 178-187

Ziel:

Evaluation des Einflusses von Fähigkeit und Belastung auf den Gelenk-Kraft-Output von Probanden beim Olympischen Gewichtheben. Die Evaluation basierte auf Messungen von Spitzenwerten (Peak) und Durchschnittskraft (Power) über die Hüfte, Knie und Sprunggelenke während eines Teiles eines Gewichtebeben-Ereignisses (dem Pull), das ungefähr 1 Sek. dauerte.

Fragestellung:

Es wurde angenommen, dass der Gelenk-Kraft-Output bei Belastung zunehmen/steigen würde, aber dass Unterschiede in der Fähigkeit nicht vollständig durch Unterschiede in

der Größe des Gelenk-Kraft-Output erklärt werden könnten. Es wurde angenommen, dass, sollte Kraft (power) mit Belastung variieren, dies nahe legen würde, dass Kraftoutput potentiell ein begrenzender Parameter ist. Ähnlich, sollte Krafterzeugung (power generation) mit dem Fähigkeitsniveau korrelieren, dann könnte die Fähigkeit, Kraft zu erzeugen eine erfolgsabhängige Fähigkeit darstellen.

Methode:

Probanden: 6 wettkampferfahrene Gewichtheber (17-22 Jahre alt, 3->7 Jahre Erfahrung), von denen 3 fähiger waren als die anderen.

Alle 6 Probanden hatten denselben Trainer.

Ausübung des Pulls mit voller Kniebeuge beim Olympischen Gewichtheben.

1 Hebung bei 69, 77 und 3 Hebungen bei 86 % einer Maximalbelastung im Wettkampf.

Die Zeit zwischen den Hebungen betrug zwischen 3 und 7 Minuten.

Die Mittelwerte bei 86 % Belastung waren $1,226 \pm 102$ N (vollkommen) und $1,056 \pm 130$ N (weniger vollkommen) bei den zwei Probandengruppen.

Jede Hebung wurde gefilmt, und gleichzeitig wurden die Bodenreaktionskräfte gemessen.

Kamera:

98.6 ± 0.3 frames \cdot s⁻¹

Entfernung: 11.05 m von der Plattform, Linse 1.07 m über dem Boden

Shutter-Faktor 2.57, Zeit von 4 ms

Kraftmessplatte: Kistler Kraftmessplatte

500 Hz durch ein PDP 11 / 34

Um die Gewichtheber besser sehen zu können, wurden Hantelscheiben benutzt, die kleiner waren als beim Wettkampf.

Wenn die Hantel von ihrer Startposition angehoben wurde, zeigte ein beleuchtetes LED den Moment des Starts der Hantelbewegung an.

Ein weiteres LED zeigte diese Phase während der PDP 11 /34 die Signale der Bodenreaktionskräfte.

2 Spiegel (1.04 x 1.83 m) wurden vor den Probanden gestellt, so dass auch die Frontalansicht der Hebung gefilmt wurde.

Digitalisierungssystem mit einer Resolution von 0.025 mm

Butterworth-Filter, cut-off-frequenz = 6 Hz

3 Belastungsstufen: 2 Versuche pro Proband mit 69 und 77 %, 4-6 Versuche mit 86 %.

Statistik: Varianzanalyse, unabhängiger t-Test

Ergebnis:

Die Ergebnisse zeigten, dass die fähigeren Probanden schwerere Belastungen hoben, indem sie über Knie- und Sprunggelenke die durchschnittliche Kraft, aber nicht die

Spitzenkraft vergrößerten. Außerdem waren die Änderungen mit der Belastung feiner als ein bloßes quantitatives Skalieren und (die Änderungen) schienen auch mit einem Fertigkeitselement in der Form von Variation in der Phasendauer der Kraft-Produktion und Absorption assoziiert zu werden. Ähnlich zogen statistische Unterschiede (unabhängiger t-Test) in Bezug auf die Fähigkeit keine Änderungen des Ausmaßes der Kraft nach sich, sondern nur die zeitliche Organisation der Bewegung. So hängt die Fähigkeit, die Bewegung der doppelten Kniebeugung erfolgreich auszuführen, von der Fähigkeit eines Athleten ab, ein genügendes Ausmaß von Gelenkkraft zu erzeugen und die Phasen der Kraft-Produktion und Absorption in eine geeignete zeitliche Reihenfolge zu bringen.

ISAKA, T./ OKADA, J./ FUNATO, K.: Kinematic Analysis of the Barbell during the Snatch Movement of Elite Asian Weightlifters. In: Journal of Applied Biomechanics (1996) 12, 508-516

Ziel:

Beschreibung der kinematischen Charakteristiken der Technik des Reißens vom Blickpunkt der Hanteltrajektorie aus gesehen.

Fragestellung: -

Methode:

Probanden: 6 asiatische Elite-Gewichtheber, die 1993 am 1. Japanischen Internationalen Freundschafts Tournament teilnahmen.

Mitglieder der Nationalmannschaften von China, Korea und Japan.

Untersucht wurden die schwersten erfolgreichen Versuche im Reißen von jedem Probanden (jeweils 3 Versuche; nur 2 Probanden benötigten nur 1 Versuch).

Video-Tracker System (OKK Inc., Tokio) misst automatisch die Trajektorien der Leuchtmarker durch eine CCD-Kamera.

Die vom Video-Tracker System erhaltenen Informationen werden in den PC eingegeben, der dann Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung in X und Y-Richtung berechnet. Die Rohdaten werden transformiert.

Die Hanteltrajektorien wurden im rechten Winkel zur sagittalen Ebene des Gewichthebers gefilmt.

Abstand zwischen CCD-Kamera und Gewichtheber: 10 m

Kamerahöhe: mittleres Level der Bewegung

60 fields / s

Second-order Butterworth filter

Cut-off Frequenz 3.6 Hz

Die gefilterten Verschiebung-Zeit-Daten wurden nach der Differenzierungsmethode von Winter (1990) differenziert, um die Geschwindigkeit-Zeit-Kurve zu erhalten. Informationen über die Hantelbeschleunigung wurden gewonnen, indem eine Ableitung der Geschwindigkeit-Zeit-Daten herangezogen wurde. Der Winkel zwischen der

Richtung dem resultierenden Beschleunigungsvektor der Hantel und der horizontalen Linie wurde definiert als der Winkel der resultierenden Beschleunigung (ARA). ARA wurde aus der horizontalen und vertikalen Beschleunigung der Hantel berechnet. Die Korrelationsanalyse wurde bei den erhaltenen Daten angewendet, und $p < .05$ wurde herangezogen, um die statistische Signifikanz anzuzeigen.

Ergebnis:

Drei senkrechte Beschleunigungsspitzen der Hantel während der Pull-Bewegung wurden beobachtet und korrespondierten mit dem ersten Pull, Übergang und den zweiten Pull-Phasen. Der Winkel der resultierenden Beschleunigung (ARA) der Hantel betrug durchschnittlich 85° im ersten Pull sowie den Übergangs-Pull-Phasen. In der zweiten Pull-Phase betrug der ARA fast 140° und zeigte, dass die Hantel anterior weg vom Heber beschleunigt wurde. Die Ergebnisse schlagen vor, dass während des ersten Pulls und der Übergangs-Pull-Phasen Elite-Gewichtheber die Hantel zu sich ziehen, um die nötige senkrechte Beschleunigung zu erzeugen, und dass die resultierende posteriore Bewegung der Hantel von der Vorwärts-Beschleunigung kontrolliert wurde, die in der zweiten Pull-Phase produziert wurde.

VIETEN, M./ RIEHLE, H.: Calculation of Metabolic Power in Level Surface Running using the Joint Power Method. In: BARABAS, A. (Hrg.): Proceedings of the XII ISBS Symposium. Budapest 1994, 248-251

Ziel:

Die Bestimmung des physiologischen Energieverbrauchs von Bewegungen während des Laufens.

Methode:

Probanden: 11 Sportstudenten (10 Männer, 1 Frau)

Kameras: 3 High-8 Videokameras (PAL, 50 Hz)

Nachdem ihre anthropometrischen Daten aufgezeichnet waren, wurden die Probanden in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt: 7 männliche Versuchspersonen der ersten Gruppe liefen in der Außensportanlage auf der Tartanbahn mit Spikeschuhen. Jeder Proband hatte zwei Versuche: der erste Lauf erfolgte bei einer Geschwindigkeit zwischen 7.8 – 8.9 m/s. Vor dem Aufnahmebeginn mussten die Probanden ihre Höchstgeschwindigkeit bereits erreicht haben. Der zweite Lauf erfolgte bei einer Geschwindigkeit zwischen 4 – 5 m/s.

Die zweite Gruppe (3 Studenten, 1 Studentin) lief in der Sporthalle mit normalen Hallenschuhen. Sie liefen zweimal mit ihren persönlichen Bestzeiten (7.7 – 8.8 m/s). Der dritte Lauf wurde bei einer Geschwindigkeit von 6 m/s und der vierte bei 4 m/s absolviert.

Die Videokameras der Außenaufnahmen waren auf Stative montiert und rotierten um die Longitudinalachse. Die Filmaufnahmen in der Sporthalle wurde mit fixierten Kameraorientierungen durchgeführt. Die Digitalisierung der Aufnahmen erfolgte manuell durch ein Peak Performance System. Für die Außenaufnahmen wurden 18

Punkte digitalisiert (Ohren, Schultern, Ellenbogen, Handgelenke, Finger, Hüften, Knie, Knöchel, Zehen), für die Innenaufnahmen 16 (die Finger entfielen). Die digitalisierten Rohdaten wurden mit dem Butterworth Filter (cutoff-Frequenz 6 Hz) gefiltert. Die Berechnung der 3D-Koordinaten (Methode: DLT – Direct Linear Transformation) erfolgte durch die Verwendung eines Kalibrierungskubus im Programm TP16V. Der Algorithmus des SDS-Programms benutzt inverse Dynamik zur Berechnung aller resultierenden Parameter.

Ergebnis:

Die Ergebnisse wurden in die drei Kategorien Studenten outdoors, Studenten indoors und Studentinnen indoors aufgeteilt. In allen Kategorien (langames Laufen) wurden die Ergebnisse mit Messungen der Oxygen Intake Methode (HOWLEY et al. 1974) verglichen.

Während des Laufens tragen die Hüftmuskeln und Kniegelenke die meiste Energie bei – mindestens 75 % der gesamten benötigten Energie. Beim langsamen Laufen kommt während der Stützphase eine hohe Energie-Generation vor, wohingegen beim schnellen Laufen sowohl während der Flug- als auch der Stützphase eine hohe Energie-Generation auftritt. Die großen Unterschiede beim aeroben und anaeroben Laufen liegen möglicherweise daran, dass beim aeroben Laufen die Versuchspersonen, die bei einer Geschwindigkeit unter v_a laufen, sich wie Resonanz-Systeme verhalten, die große Anteile der mechanischen Energie speichern. Demgegenüber scheint sich anaerobes Laufen nicht solch einem Mechanismus anzupassen.

VIETEN, M./ RIEHLE, H.: Energy Expenditure during Running Calculated from cinematographic data. In: BAUER, T. (Hrg.): Proceedings of the XIII ISBS Symposium. Thunder Bay, Ontario 1995, 202-205

Ziel:

Energieaufwand ist für Sportler sehr wichtig, weil die Energielieferung einer der begrenzenden Faktoren für Wettkämpfe ist. Berechnet wurde der Energieaufwand zuerst durch die Sauerstoffaufnahme, dann durch mechanische Bewegung. Diese Methode kann unterteilt werden in:

- Berechnung basierend auf der Änderung der Energie der Segmente.
- Berechnung basierend auf Gelenkmomenten.

Für die vorliegende Untersuchung wurde die letztere Methode ausgewählt.

Methode:

Kameras: 3 Videokameras (50 Hz, PAL)

Probanden: 8 männliche Sportstudenten (Alter 23 – 29 Jahre, Gewicht 68 – 85 kg, Größe 1.77 – 1.90 m)

Die Probanden wurden beim Laufen mit einer Geschwindigkeit von 4 – 5.2 m/s gefilmt. Vier von ihnen liefen auch mit einer Geschwindigkeit von 8 – 9 m/s.

Zur Auswertung wurde ein Peak Performance System benutzt, das 18 Punkte des Körpers (Ohren, Schultern, Ellenbogen, Handgelenke, Finger, Hüften, Knie, Sprunggelenke, Zehen) manuell digitalisierte. Das Resultat waren dreidimensionale

Koordinaten dieser Punkte. Die Berechnung der Dynamik erfolgte durch SDS. Mit dem Programm TP16V wurden die Peak-Dateien in ein Format konvertiert, das SDS verarbeiten kann. Um eine Animation zu erzeugen wurden schließlich noch 38 anthropometrische Daten der Probanden auf das Hanavan-Modell projiziert.

Ergebnis:

Berechnung der Fußkraft, Energie, Kraft (berechnet aus der Energie der Segmente), Muskelkraft.

Die Ergebnisse der Muskelkraftberechnung wurden mit der Sauerstoffaufnahme verglichen. Für hohe Laufgeschwindigkeiten, sind Messungen, die durch die Sauerstoffaufnahme-Methode gemacht werden, invalide, weil die Bewegung anaerob sind und die gemessene Energie nicht die Energie der Bewegungen ist. Die von uns verwendete Methode misst hingegen auch hohe Laufgeschwindigkeiten, und es wurde ein exponentieller Anstieg der Muskelkraft festgestellt. Beim Laufen ist es offensichtlich, dass der drastische Energieanstieg bei zunehmender Geschwindigkeit der limitierende Faktor für die Geschwindigkeit ist.

2.9.1 Zusammenfassung

Die Literaturbesprechung erörtert im Bereich der biomechanischen Variablen der Technik beim Reißen verschiedene Aspekte.

Die biomechanischen Parameter der Hantel-Körperschwerpunktflugbahn sowie der Hantel-Körperschwerpunktgeschwindigkeit werden seit 1978 im Reißen beim Gewichtheben intensiv untersucht.

Von den oben genannten Forschungen wurden

1. die meisten Aufsätze im Bereich der Technik des Reißens, Umsetzens und Stoßens geschrieben wie beispielsweise die Arbeiten von HÄKKINEN et al (1984), GARHAMMER (1985), BAUMANN et al. (1988), GARHAMMER (1992) und BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999). Andere Forscher wie SOKOLOV (1976), MEDVEDEV et al. (1984), FUNATO et al. (1996) und ISAKA et al. (1996) untersuchten einen Teil des Umsetzens und Stoßens sowie die Technik des Reißens (Zugphasen).
2. In den oben genannten Publikationen wurden mehrere bestimmende Methoden sowie Geräte benutzt wie kinematische und kinetische Untersuchungen. Dafür wurden Kraftmessplatten, Elektrogoniometer, Elektromyographen und Videoaufnahmen mit Computerdigitalisierungssoftware eingesetzt. Beispielsweise haben BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999) Videoaufnahmen mit Computerdigitalisierungssoftware durchgeführt; HÄKKINEN et al. (1985) sowie BAUMANN et al. (1988) verwendeten eine Kraftmessplatte für ihre Untersuchungen.. Das bedeutet, dass verschiedene Messmethoden zur Verfügung stehen, es gibt jedoch keine Beschreibung dafür, mit welcher dieser Methoden die wichtigsten Variablen für das Gewichtheben gemessen werden können.
3. Die Ergebnisse der Arbeit über Muskelenergie von VIETEN/ RIEHLE (1995) und GARHAMMER (1982) zeigen, wie die Muskelenergie im Sport berechnet werden kann.

4. Alle genannten Forschungen im Bereich Gewichtheben haben bereits die optimale Technik für das Reißen, Umsetzen und Stoßen beschrieben. Es gibt jedoch meines Wissens keine Arbeiten, die die individuelle Technik untersuchen.
5. Die meisten Untersuchungen (wie beispielsweise die Arbeiten von BAUMANN et al. (1988) sowie ISAKA et al. (1996)) haben die Hantelflugbahn, Hantelgeschwindigkeit, Hantelbeschleunigung sowie die Kraft (Maximum- und Schnellkraft beim Hochleistungssportler) gemessen.

Die Ergebnisse der oben zitierten Untersuchungen sind kontrovers. Darüber hinaus wurden verschiedene Methoden entwickelt, um die HFB und VKSPB, VH und VKSP zu berechnen sowie die Beziehung zwischen diesen biomechanischen Parametern und den anthropometrischen Messungen zu erläutern. Auch in diesem Bereich sind die Ergebnisse umstritten. Es wurde außerdem in der Literatur keine Arbeit gefunden, die die Computersimulation als biomechanische Diagnosemethode für Reißen beim Gewichtheben beschreibt, es existiert auch keine bekannte Methode, mit deren Hilfe die oben genannten Variablen (HFB; KSPFB; VH; VKSP; E_{mus}) berechnet werden können.

Obwohl es diese verschiedenen Untersuchungen seit langem gibt, existieren keine Hinweise auf eine Methode, die Trainern und Gewichthebern Informationen über individuelle Technik gibt und mit der auch die kinematischen und kinetischen Variablen gemessen werden können. Aus diesem Grund wurde die vorliegende Untersuchung durchgeführt.

3 Methodik

Im Bereich der Biomechanik gibt es grundsätzlich zwei große Gruppen von Methoden, um Sportbewegungen zu analysieren. Diese zwei Arten der Untersuchungsmethoden sind kinematische und dynamometrische Methoden (HOCHMUTH 1981).

Jede dieser Gruppen hat verschiedene Unterteilungen, die mit den Anforderungen der wissenschaftlichen Forschung und technischen Entwicklungen verbunden sind.

Zur dynamometrischen Untersuchungsmethode gehören die Verfahren, die zur direkten Bestimmung von äußeren Kräften dienen, und die an der Peripherie des Körpers als Reaktionskräfte gemessen werden (BALLREICH/ BAUMANN 1996, 76).

Die kinematische Untersuchungsmethode besteht darin, die Ortsveränderung eines Körpers in Raum und Zeit objektiv zu erfassen und aus der gemessenen Weg-Zeit-Veränderung den Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Zeit-Verlauf durch Differenzierung abzuleiten.

Kinematische Untersuchungen werden heutzutage entweder mit Photoapparaten, Film- oder Videokameras durchgeführt. Mit Hilfe von Videokameras können in Verbindung mit einem Computer alle Daten erfasst, übertragen, gespeichert und analysiert werden. Die Entwicklung dieser Methode ermöglicht, dass komplette zwei- oder dreidimensionale kinematische Gelenkwinkel, die Geschwindigkeit und Beschleunigung des gesamten Körpers oder eines spezifischen Körperteils sowie die Zeit- und Wegkonstanten während der Bewegungsabläufe ausgewertet werden können.

Die vorliegende Untersuchung wird mit den kinematischen Parametern, die in der Sagittalebene der Bewegung bewertet werden können, arbeiten. Es wird in dieser Arbeit die dreidimensionale Kinematik (Sagittalebene) als wissenschaftliche Methode angewandt, weil die Bewegung hauptsächlich in der Sagittalebene durchgeführt wird. Mit dieser Methode ist es möglich, alle notwendigen Daten zu erfassen, um die Hypothesen dieser Untersuchung zu überprüfen.

Die anthropometrischen Daten können ein Faktor sein, der die Leistung im Gewichtheben beeinflussen kann. Verglichen mit den technischen Aspekten des Gewichthebens sind sie jedoch von geringer Relevanz. Darüber hinaus liegen über Gewichtheber nur wenige Untersuchungen und Publikationen vor, die bestimmte technische Probleme der Gewichtheber behandeln. Angesichts der Tatsache, dass der Unterschied zwischen der besten Leistung im internationalen Niveau und der besten Leistung der nationalen Gewichthebern groß ist; und dass viele talentierte Gewichtheber wegen des Dropout-Phänomens die Sportpraxis verlassen sowie wegen der geringen wissenschaftlichen disponiblen Literatur, die eine Lösung des technischen Problems bietet und die Trainingskontrolle unterstützen könnte, begründet sich die Auswahl der Gewichtheber als Probanden dieser Untersuchung in dem Maße in dem die Informationen, die in dieser Arbeit verfügbar sind, die Trainer im Bereich der Trainingskontrolle unterstützen werden.

In diesem Abschnitt werden Gesamtkonzeption, Messmethoden, Parameter, Versuchsdesign sowie die Art der Datenerfassung, Datenverarbeitung und statischen Verfahren meiner Untersuchungen beschrieben.

3.1 Die Pilotprojekte

Für die vorliegende Arbeit wurden zwei Pilotprojekte durchgeführt. Das erste Pilotprojekt wurde im September 1999 in der Historischen Gymnastikhalle der Universität Konstanz mit fünf Kameras durchgeführt. Ziel dieses Pilotprojektes war die versuchsweise Durchführung der Filmaufnahmen und die Ermittlung der günstigsten Position der Probanden. Darüber hinaus sollte der Gebrauch der Software (APAS, Human Builder, SDS) eingeübt werden. Für dieses Pilotprojekt wurde ein Gewichtheber mit sechs Versuchen aufgenommen. Das Ergebnis des Projektes war die Festlegung der Kameraeinstellungen. Außerdem lernte der Aufnahmeleiter, den Kubus aufzunehmen, das Aufnahmeprotokoll zu erstellen und die Aufnahmen selbständig durchzuführen. Zudem wurde die Software getestet.

Das zweite Pilotprojekt wurde im April 2000 in der Historischen Gymnastikhalle der Universität Konstanz durchgeführt. Ziel dieses Pilotprojektes war die Festlegung der Kamerapositionen, die Entwicklung eines Masterfiles für Human Builder, das Einbauen des Hanavan-Modells mit Hantel in SDS und die Festlegung der biomechanischen Variablen. Für dieses Projekt wurde ein Gewichtheber mit neun Versuchen aufgenommen. Bei diesem Pilotprojekt zeigte sich, dass die beste Kameraposition für die Aufnahme ein Halbkreis von hinten mit fünf Kameras war. Das Digitize-Modul des APAS-Systems wurde auf automatisch gestellt und benutzt. Für das spätere Digitalisieren wurde der Proband mit 19 Punkten beklebt. Die anthropometrische Messung der Versuchsperson wurde gemäß des Messprotokolls (siehe Anhang) durchgeführt. Nach dem Pilotprojekt konnte die Bewegungssimulation für das Gewichtheben erstellt werden. Der Masterfile wurde erstellt. Das erste Ergebnis für die vorliegende Arbeit wurde bestimmt. Nach diesen Pilotprojekten konnte die Hauptuntersuchung beginnen.

3.2 Die Hauptuntersuchung

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Hauptuntersuchung in Leimen und Sindelfingen durchgeführt. Die folgenden Schritte zeigen die Vorgehensweise:

1. Sechs Probanden wurden mit insgesamt 36 Versuchen aufgenommen (sechs Versuche pro Versuchsperson). Aus technischen Gründen wurden nur 30 Versuche digitalisiert.
2. Die Aufnahme wurde wie unten beschrieben durchgeführt.
3. Alle Probanden wurden anthropometrisch (anthropometrisches Messformular siehe Anhang) gemessen.
4. Die Digitalisierung wurde im FB Sportwissenschaft der Universität Konstanz durchgeführt.
5. Alle 30 Versuche wurden mit Human Builder und SDS simuliert.
6. Die Daten wurden mit Statistica 5 bearbeitet.

3.2.1 Überblick

Mit fünf Videokameras wurden Aufnahmen von den neun Gewichthebern beim Reißen erstellt. Die erhaltenen Aufnahmen wurden daraufhin synchronisiert und digitalisiert. Die Computersimulation wurde mit den jeweiligen anthropometrischen Daten der Probanden verknüpft (siehe Datenverarbeitung).

3.3 Probanden

Die Probanden dieser Arbeit kommen aus dem Bundesland Baden-Württemberg. Sie verfügen über drei Jahre Erfahrung in der deutschen Bundesliga Gewichtheben. Jeder der Probanden hat seine Bestleistung im Gewichtheben. Insgesamt nahmen an dieser Untersuchung neun Gewichtheber aller Gewichtsklassen teil. Tabelle 5 zeigt die Altersverteilung der Versuchspersonen.

Die Probanden wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Alle Versuchspersonen trainieren jeden Tag und haben einen Trainingsjahresplan.
- Die Probanden verfügen über eine individuelle Technik.
- Alle Probanden gehören der deutschen Bundesliga Gewichtheben an.

Tab. 5: Gewicht, Größe, Altersverteilung und Trainingsalter der Versuchspersonen sowie ihre

Bestleistung im Reißen. N = Anzahl der Probanden, \bar{X} = Mittelwert, Min = niedrigste Werte, Max = höchste Werte, σ = Standardabweichung

Variablen	N	\bar{X}	Min	Max	σ
Gewicht (kg)	6	84.833	64	105	17.452
Größe (m)	6	178.083	170	186.45	6.931
Alter (J)	6	22.833	20	26	2.041
Trainingsalter (J)	6	6.5	5	8	1.049
Rekord Reißen (kg)	6	122.5	110	135	9.354

3.4 Aufnahme

3.4.1 Vorbereitung des Aufnahmeorts

Die Aufnahmen wurden im Leistungszentrum Gewichtheben in Leimen und in der Schwimmbadhalle in Sindelfingen gemacht.

Es wurden fünf Kameras von Sony und Panasonic mit 50 Hz (Halbbildern) sowie Panasonic DV-Cassetten mit jeweils 60 min Aufnahmezeit verwendet, wobei alle Kameras auf 1000 Shutter Speed eingestellt waren.

Der Versuchsaufbau ist in Abb.18 dargestellt.

3.4.2 Vorbereitung der Probanden

Nachdem die anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aufgenommen waren, wurden die reflektierenden Markerpunkte in folgender Reihenfolge auf den Körper der Probanden geklebt:

Hinter dem rechten Ohr
 Rechtes Schultergelenk
 Rechtes Ellenbogengelenk
 Rechtes Handgelenk
 Rechtes Ende der Hantel
 Rechtes Hüftgelenk
 Rechtes Kniegelenk
 Rechtes Sprunggelenk
 Rechtes Fußgrundgelenk
 Hinter dem linken Ohr
 Linkes Schultergelenk
 Linkes Ellenbogengelenk
 Linkes Handgelenk
 Linkes Ende der Hantel
 Linkes Hüftgelenk
 Linkes Kniegelenk
 Linkes Sprunggelenk
 Linkes Fußgrundgelenk



Abb. 18: Markerpunkte am Probanden

Die Abbildung 18 zeigt die Ansicht der Markerpunkte.

3.4.3 Der Versuchsaufbau

Zuerst musste die ausgewählte Technik Reißen mit Videokameras aufgenommen werden. Hierfür standen uns 6 Probanden zur Verfügung, die durchnummeriert wurden. Für die Videoaufnahmen war es erforderlich, die Technik mit fünf Kameras bei einer Geschwindigkeit von 50 Halbbildern pro Sekunde aufzunehmen, um später bei der Auswertung eine dreidimensionale Koordinatendarstellung zu erhalten. Um zu gewährleisten, dass sich die Gewichtheber im Bildbereich aufhielten, standen sie in der Mitte einer Gewichtheberplattform. An je 3 Seiten wurden 3 Kameras aufgestellt (siehe Abb. 19). Jede Kamera war zur gleichmäßigen Ausleuchtung mit einem Halogenstrahler bestückt. Zuerst musste von allen 5 Kameras der Eichkubus, ein 1 m x 2 m x 1 m großer Quader aus Aluminiumstäben, ca. 60 s lang aufgenommen werden. Dieser Kubus gab später die Orientierung für die Koordinatenachsen bei der Digitalisierung vor.

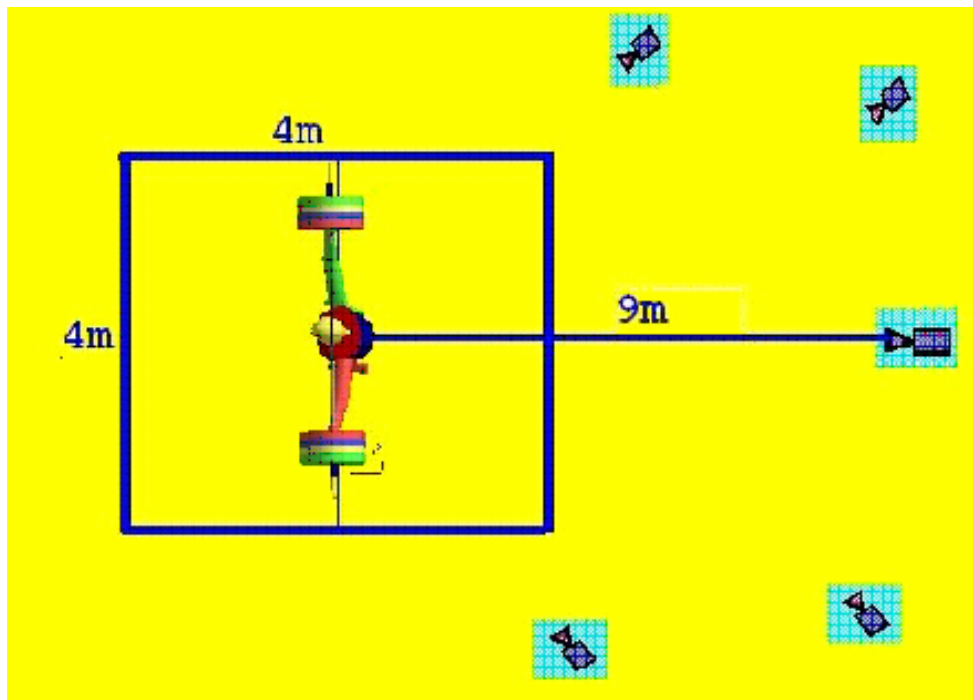


Abb. 19: Der Versuchsaufbau

Dann wurde die Technik gefilmt. Aufgenommen wurden die erfolgten Versuche mit 80 %, 90 % und 100 % des maximalen Gewichts. Nach einer Wiederholung legte der Proband eine Pause von 2 – 3 Minuten ein. Bei jedem Versuch wurde ein Tennisball ins Bild auf den Boden geworfen, der bei der Auswertung als so genannter Event dazu diente, die Bilder der drei Kameras zeitlich zu synchronisieren.

3.4.4 Durchführung der Aufnahmen

Zuerst wurde der Kubus mit 5 Kameras als Koordinatensystem mit 18 Punkten aufgenommen. Abb.20 zeigt die Eigenschaften des Kubus.

Auf den Boden wurden drei Punkte als Bezugspunkte geklebt, damit die Software beim Digitalisieren den Aufnahmeort erkennt (speziell für APAS Software). Dann wurden die Versuche des ersten Probanden im Reißen aufgenommen. Während der Aufnahme dienten zwei Leuchtdioden als Synchronisierungspunkte.

Im Bereich des Gewichthebens wurde die Belastung der Bestleistung (Reißen, Umsetzen und Stoßen sowie Hilfsübung) des Gewichthebers berechnet. Nach VOROBIEV (1984) und AJÁN & BAROGA (1988) zeigt der Gewichtheber seine beste Technik, wenn er Gewichte ab 80 % seiner Bestleistung hebt. Deswegen führte in der vorliegenden Untersuchung jeder Gewichtheber drei Versuche mit 80 %, zwei Versuche mit 90 % und einen Versuch mit 100 % durch. Zwischen jedem Versuch legte jeder Proband eine Pause von zwei bis drei Minuten ein.

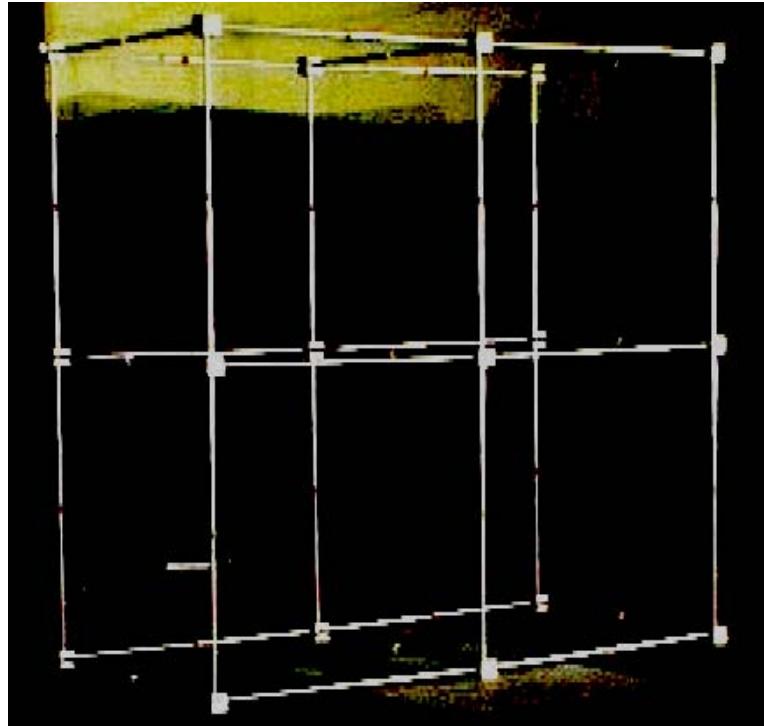


Abb. 20: Raumkoordinatensystem (Kubus) mit 18 Punkten

3.4.5 Die anthropometrischen Messungen

Für die anthropometrischen Messungen wurde das vom Fachbereich Sportwissenschaft der Universität Konstanz entwickelte Protokoll benutzt (siehe Anhang). Die Gewichtsklasse, die Körpermasse, die Höhe, und die besten Wettkampfergebnisse der Probanden werden in Tabelle 5 dargestellt.

3.4.6 Die Ausrüstung

Es wurden fünf Digital-Kameras (DCR-VX1000 E) benutzt, um das Experiment aufzunehmen. Die fünf Kameras wurden auf Stative geschraubt. Die Entfernung zwischen der Kamera und der Hantel betrug 8 bis 10 m, und die Höhe der Kamera wurde im mittleren Niveau der Bewegung eingestellt. Der Winkel zwischen den Kameras und dem Boden betrug 90° . Die Geschwindigkeit der Kameras betrug 50 Halbbilder/s.

Die Dateien wurden mit APAS bearbeitet und in APA-Files umgewandelt, damit die Datei in Human Builder gelesen und simuliert werden konnte. Dann wurden durch das SDS-Programm die Hantelflugbahn und die beschreibenden biomechanischen Variablen dieser Arbeit bestimmt, wie es im Kapitel „Methodik“ ausführlich beschrieben wird.

3.5 Messsystem und Messverfahren

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Probanden mit fünf Videokameras aufgenommen und anschließend die Filme auf dem Computer digitalisiert. Es wurden folgende Software-Programme benutzt:

- Ariel Dynamics Performance
- Human-Builder
- Solid Dynamics Systems (SDS)

Die Arbeit wurde in vier Schritte geteilt:

- Aufnahme
- Digitalisierung
- Modellerstellung
- Bestimmung der Ergebnisse

3.6 Verarbeitung der Aufnahmen im Computer

3.6.1 Digitalisierungsphase

Viele Firmen entwickeln Soft- und Hardware zur Digitalisierung. Diese Software liefert mit wenig Arbeit viel genauere Ergebnisse als es mit anderen Methoden möglich wäre. Marktführer der Software für Digitalisierung ist derzeit das Ariel Performance Analysis System (APAS), das bereits in verschiedenen Arbeiten wie von BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999) benutzt wurde. Mit diesem Programm wird auch im Fachbereich Sportwissenschaft der Universität Konstanz am Lehrstuhl RIEHLE gearbeitet. Aus diesen Gründen wurde das APAS-System in dieser Arbeit benutzt.

Diese Software verfügt zwar über eine Hilfedatei, die für grundlegende Fragen hilfreich ist, jedoch zur Zusammenarbeit mit der am Lehrstuhl und der vorliegenden Arbeit benutzten speziellen Computersimulationssoftware (Human Builder, SDS) keine Anleitungen liefert. Aus diesem Grund wurde für zukünftige Benutzer die Methode zur Benutzung dieser Software in Zusammenarbeit mit Human Builder und SDS ausführlich beschrieben.

3.6.2 Funktionsweise des Programms

Viele Ergebnisse dieses Programms hängen davon ab, wie gut der Benutzer das Programm beherrscht. Das Besondere an der vorliegenden Arbeit ist, dass das Ergebnis nicht direkt vom APAS-System, sondern durch weitere Softwares bereitgestellt wird. Deswegen muss genau bekannt sein, wie das APAS-System für die vorliegende Arbeit benutzt wird.

Die Digitalisierung wurde in fünf Arbeitsschritte aufgeteilt:

- Überspielen der Aufnahmen auf den Computer
- Synchronisieren und Schneiden der Aufnahmen
- Digitalisierungsphase
- Transformieren der Daten als 3-D-Daten
- Umwandeln von Textdatei in APA-Dateien

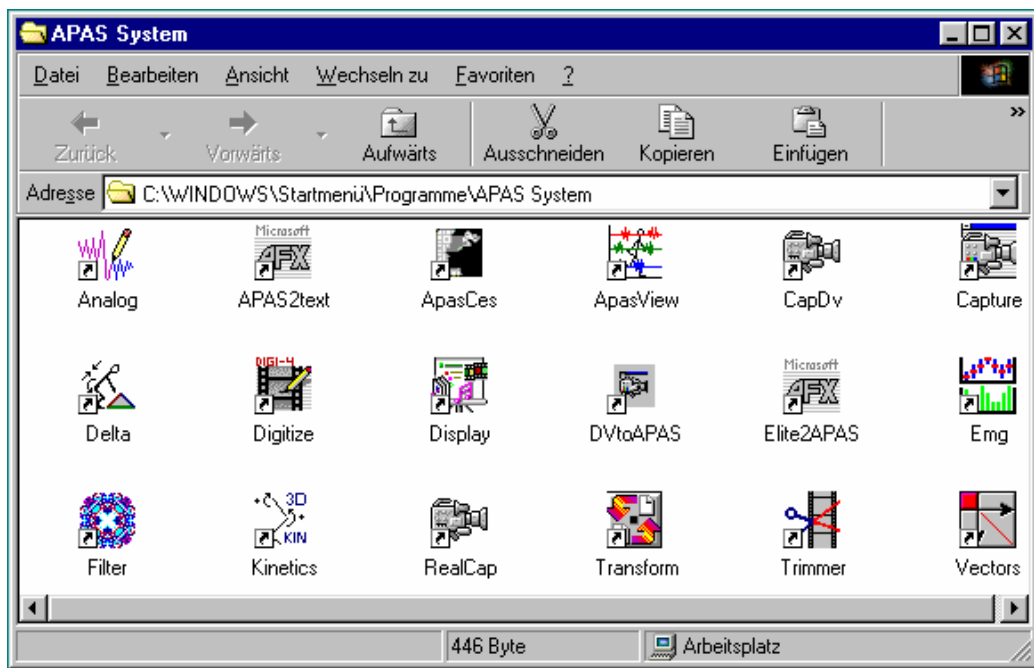


Abb. 21: Alle Module des APAS-Systems 2001

3.6.3 Überspielen der Aufnahmen auf den Computer

Dieser erste Schritt muss so durchgeführt werden, wie ihn die Software anzeigt. Dabei ist darauf zu achten, welche Video-Capture-Karte sich im Computer befindet, damit die Überspielung als DV-Capture oder Analog-Capture erfolgt. In der vorliegenden Arbeit wurde die AVI Master 2000 analog Karte verwendet. Der Film wurde im PAL-System auf den Computer überspielt. Bei jeder Aufnahme müssen die Eigenschaften der Capture-Karte reguliert werden. Danach beginnt das Überspielen der Aufnahmen auf den Computer mit folgenden Schritten:

- Im APAS-System wird das Modul „Capture“ geöffnet.
- Unter der Menüleiste „New File“ wird eine neue Datei geöffnet.
- Die erste Kamera wird eingeschaltet. Kurz vor Beginn der ersten Bewegung wird die Symbolleiste „Go“ angeklickt und somit mit dem Überspielen der Sequenz auf den Computer begonnen. Nach der Bewegung wird „Stop“ angeklickt.
- Das Programm speichert nun die Daten. Bevor sie gespeichert werden, bekommt der Programmbenutzer Informationen darüber, ob das Überspielen auf den Computer komplett abgeschlossen ist oder ein paar Bilder bei der Aufnahme übersprungen wurden. Wenn alles komplett ist, wird „ok“ angeklickt, wenn nicht, müssen die oben genannten Schritte noch einmal ausgeführt werden.
- Danach wird die Datei geschlossen..
- Mit den Kameras 2-4 werden die oben beschriebenen Schritte wiederholt, damit alle Aufnahmen auf den Computer überspielt werden können.

Anmerkung: Der Kubus muss für jede Kamera mit derselben Methode auf den Computer überspielt werden.

3.6.4 Synchronisieren und Schneiden der Aufnahmen

Im nächsten Schritt werden alle Kameras synchronisiert und die AVIs geschnitten.

- Im APAS-System wird das Modul Trimm Software geöffnet
- Unter der Menüleiste „Files“ wird mit „New“ eine neue Datei geöffnet. Danach werden die einzelnen AVIs geöffnet.
- Auf jeder Spur sollte eine Kamera geöffnet werden (das Programm akzeptiert bis jetzt nur vier Kameras auf einmal).
- Bei der ersten Kamera wird das erste Bild zweimal angeklickt, um das Fenster zu vergrößern.
- Mit der Bildlaufleiste wird versucht, die Synchronisierungspunkte zu finden (in der vorliegenden Arbeit waren es zwei Leuchtdioden).
- Bei dem Bild, wo die Dioden zu leuchten beginnen, wird in der Symbolleiste „Synchronisieren“ angeklickt.
- Wiederholung der vorherigen Schritte für die Kameras 2-4, damit die synchronisierten Punkte für alle Kameras die gleichen sind.
- Mit der Bildlaufleiste wird auf das erste Bild zurückgegangen. Der Anfang der Bewegung muss festgelegt werden. Dann wird „Trimm Start“ angeklickt.
- Mit der Bildlaufleiste wird auf das letzte Bild zurückgefahren. Das Ende der Bewegung muss definiert werden. Dann wird „Trimm Ende“ angeklickt.
- Auf der Menüleiste wird „Files“, dann „Save Trimm“ angeklickt. Da das Programm automatisch die Datei in demselben Ordner speichert und die alten Daten überschreibt, muss vorher eine Kopie der Rohdateien angelegt werden.

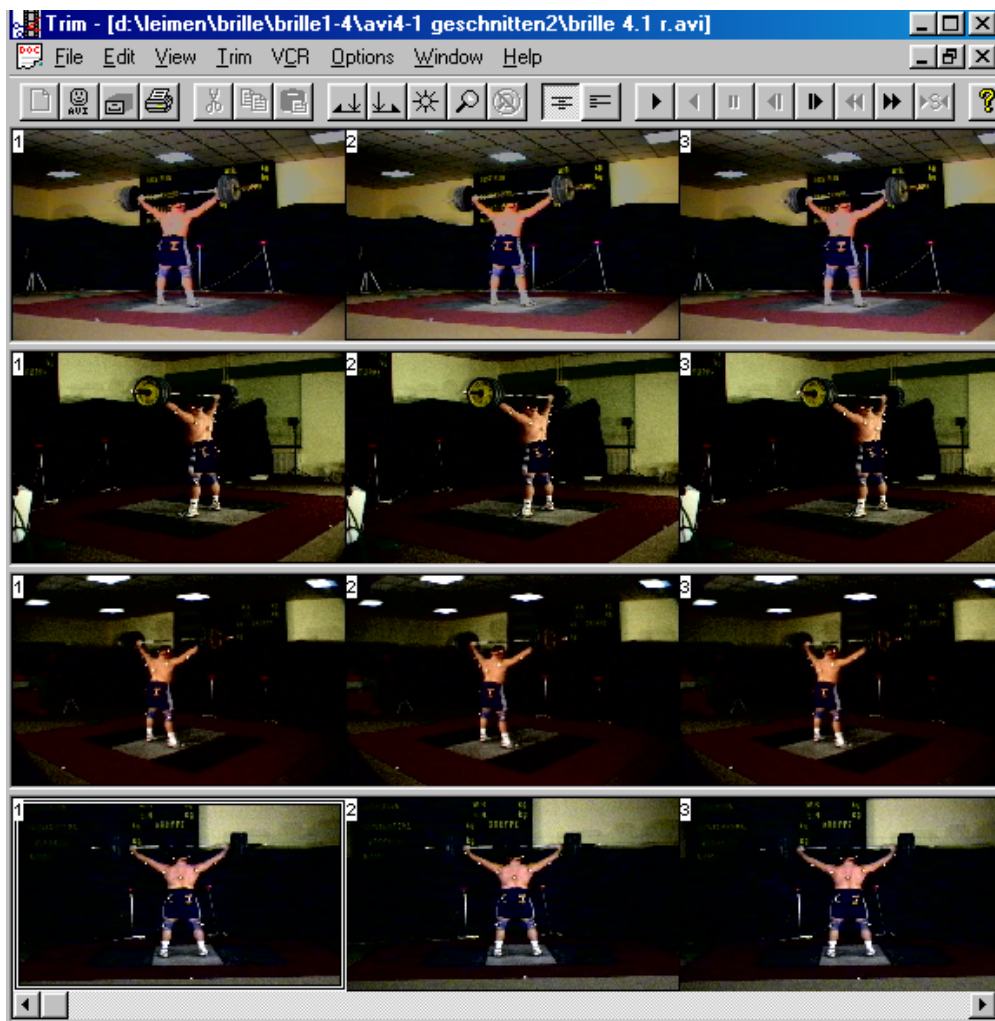


Abb. 22: Synchronisierung und Abschneiden im Trimm-Modul

Anmerkung: Vor dem Speichern der Daten muss sich der Programmbenutzer vergewissern, dass die Anzahl der Bilder in allen Kameras gleich ist. Wenn es mehr als vier Kameras sind, müssen die oben genannten Schritte mit den restlichen Kameras wiederholt werden.

3.6.5 Digitalisierungsphase

In dieser Phase wird mit der Digitalisierung der Daten begonnen. Dazu werden nacheinander folgende Schritte durchgeführt:

- Im APAS-Programm wird die Digitalisierungssoftware geöffnet.
- In der Menüleiste „Files“ wird auf „New Sequence“ geklickt.
- Öffnen eines neuen Ordners und Umbenennung dieses Ordners in einen Namen, der mit der digitalisierten Bewegung zu tun hat.
- Auf dem Bildschirm erscheint ein Dialogfenster, in dem steht, dass alle Punkte dieses Dialogfensters beantwortet werden müssen. Diese Punkte sind:
 1. Titel: die digitalisierte Datei muss einen Titel bekommen.

2. Units: hier wird „Meter“ als Einheit gewählt.
3. Points: hier wird die Anzahl der Marker eingetragen (in der vorliegenden Arbeit waren es 19 Punkte).
4. Control: hier werden die Kontrollpunkte des Kubus eingetragen (in dieser Untersuchung waren es 18 Punkte).
5. Type: „System“ wird ausgewählt.
6. Height und Weight bleiben ohne Eintrag.
7. IP Points: es erscheint ein Dialogfenster, das zur Definition der Punkte des Programms auffordert (in dieser Arbeit waren es die Punkte vom Kopf bis zum Sternum in der Reihenfolge von rechts nach links).
8. Segments: die Verbindung der einzelnen Segmenten wird automatisch erstellt.
9. Control: wird „Control“ gedrückt, erscheint eine Dialogbox, die zum Koordinatenpunkte des Kubus auffordert. Dieser Eintrag wird mit „OK“ bestätigt. Eintragen der Sequence Parameter:

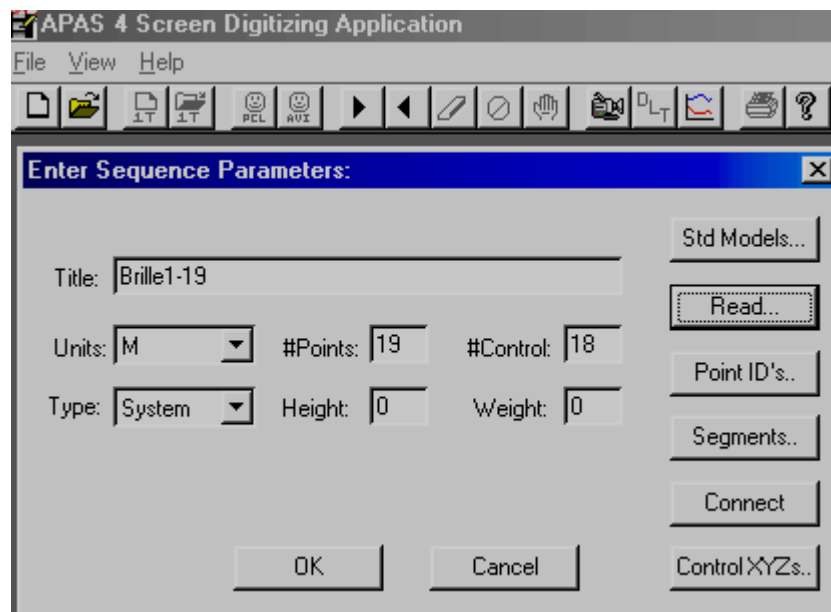


Abb. 23: Neues Projekt im APAS-System

- Unter der Menüleiste „Files“ wird „New View“ angeklickt. Auf dem Bildschirm erscheint eine Dialogbox (siehe Abb. 24). In dieses Dialogfenster werden die folgenden Informationen eingetragen:
 - o Name der Kamera (der Name muss mit einer Erkennung versehen werden, aus der der Name der Kamera und des Probanden hervorgeht).
 - o Kamerafrequenz: In dieser Arbeit beträgt die Kamerafrequenz immer 50 Hz.
 - o Unter „View Type“ wird der stationäre Typ ausgewählt.
 - o Bestätigung aller Informationen mit „OK“.

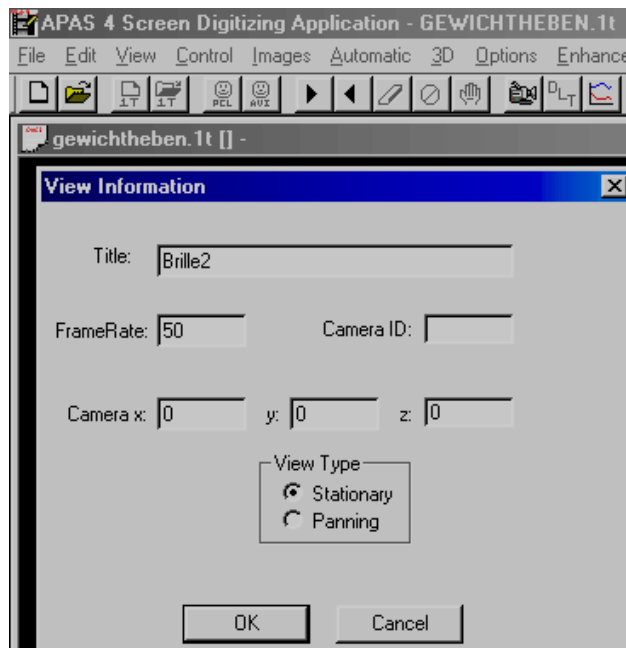


Abb. 24: New View im APAS-System

- Unter der Menüleiste „Control“ wird Digitize gedrückt. Dann wird der Befehl „Open Video“ gewählt und AVI-File gedrückt. Die gespeicherten Kubus-AVIs werden herausgesucht, um sie als Koordinatensystem für die Kamera folgendermaßen zu digitalisieren:
 10. Die entsprechende Kamera wird ausgewählt und zweimal angeklickt. Es erscheint die Kubusaufnahme für diese Kamera.
 11. Ein Bild wird ausgewählt und dies mit „OK“ bestätigt.
 12. Auf dem Bildschirm erscheint der Kubus und die auf den Boden geklebten Bezugspunkte.
 13. Ein Fixpunkt wird ausgewählt und angeklickt.
 14. Beginn des Digitalisierens der Kubuspunkte, wobei darauf zu achten ist, dass für eine Sequenz derselbe Anfangspunkt im Kubus ausgewählt werden muss (siehe Abb. 25).

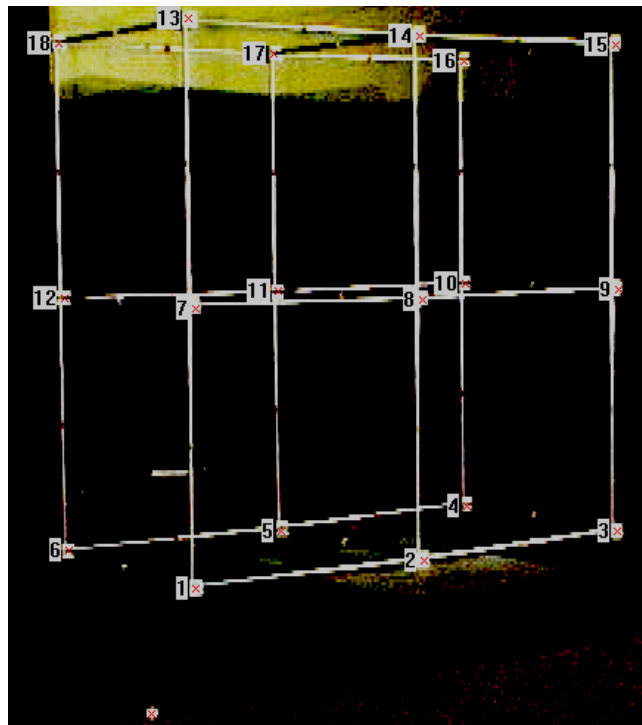


Abb. 25: Digitalisierung des Kubus im APAS-System

Anmerkung: Für jede Kamera muss der entsprechende Kubus digitalisiert werden. Bezugspunkte können für jede Ansicht passend ausgewählt werden.

15. Unter der Menüleiste „Files“ wird „Open AVI-File“ angeklickt. Der AVI-File der Kamera, der synchronisiert und geschnitten wurde, wird herausgesucht, zweimal angeklickt und dies mit „OK“ bestätigt. Obwohl der AVI-File auf dem Bildschirm zu sehen ist, müssen die folgenden Schritte ausgeführt werden:

16. Unter der Menüleiste „View“ wird „Invisible Point“ geöffnet (siehe Abb. 26). Die nicht sichtbaren Punkte müssen aus der Tabelle entfernt und dies mit „OK“ bestätigt werden.

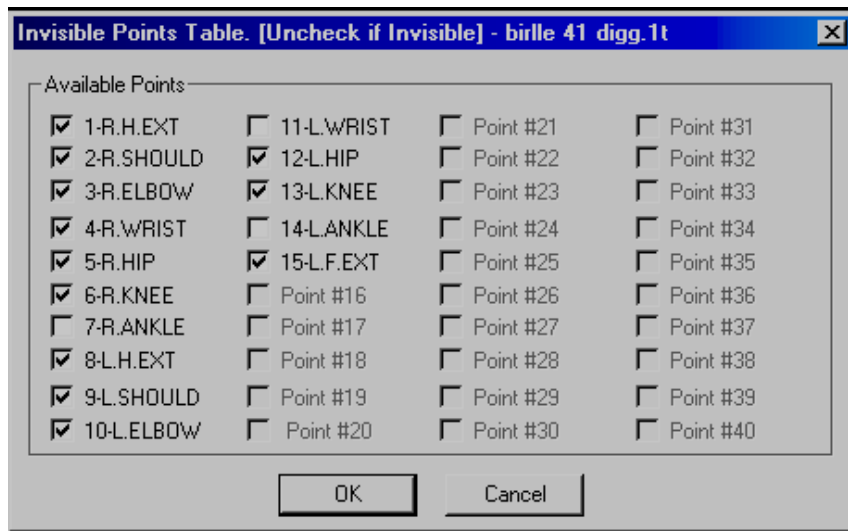


Abb. 26: APAS: Invisible Points im APAS-System

17. Unter der Menüleiste „Automatic“ wird der Start angeklickt und mit „OK“ bestätigt.
18. Mit dem Anklicken der Markerpunkte wird dem Programm gezeigt, wo die Marker sich befinden.

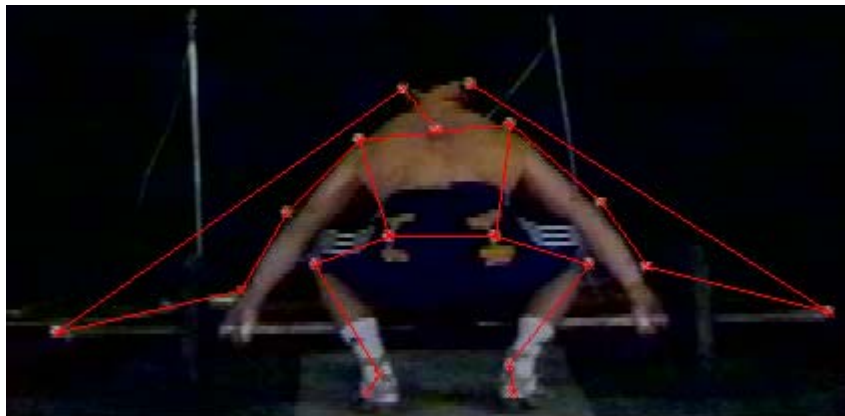


Abb. 27: Verbindung der Marker beim Digitalisieren im APAS-System

19. Wird das „Image“-Symbol „Play“ gedrückt, geht die Digitalisierung einen Schritt weiter.
20. Soll die ganze Sequenz automatisch digitalisiert werden, muss unter der Menüleiste „Automatic“ die Pause ausgeschaltet und mit „OK“ bestätigt werden. Dann wird nochmals „Play“ angeklickt. Das Programm digitalisiert automatisch weiter. Am Ende der Digitalisierungssequenz zeigt das Programm die Nachricht an, dass die Digitalisierungsphase für diese Sequenz beendet ist. Dies wird mit „OK“ bestätigt. Das Programm speichert diese Sequenz automatisch. Für alle Kameras müssen sämtliche Schritte, die in der Digitalisierungsphase beschrieben wurden, durchgeführt werden, damit das Programm die 3-D-Files erstellen kann.



Abb. 28: Markerposition am Ende der Digitalisierungssequenz

Anmerkungen: Falls das Programm einen Markerpunkt falsch erkannt hat, muss dieser Punkt manuell nachdigitalisiert werden, indem die Control- und linke Maustaste gedrückt wird und sie den Digitalisierungspunkt an die richtige Stelle verschiebt.

Ist ein Markerpunkt während einer Bewegung nicht mehr sichtbar, bekommt der Programmnutzer eine Nachricht. Werden automatische Befehle benutzt, wird auf „Pause“ gedrückt. Dann werden die Punkte mit der Shift-Taste und linken Maustaste korrigiert, neu definiert und dies mit „OK“ bestätigt.

Falls einer der markierten Punkte nicht sichtbar ist, kann er ausgeschaltet werden, indem auf „Pause“ gedrückt, in die Menüleiste „View“ gewechselt und der entsprechende „Invisible Point“ ausgeschaltet wird.

Falls der Punkt, der anfangs nicht sichtbar war, zu einem späteren Zeitpunkt sichtbar wird, kann der entsprechende „Invisible Point“ wieder eingeschaltet werden. Es muss sichergestellt sein, dass jeder Punkt mit zwei Kameras digitalisiert wurde.

3.6.6 Transformieren der Daten als 3-D-Daten

Mit den folgenden Schritten werden die digitalisierten Daten der einzelnen Kameras miteinander verrechnet und danach als 3-D-Files abgespeichert.

Benötigt wird dazu die Software „Transform“ aus dem APAS-Paket. Wird mit einem Doppelklick auf den Namen geklickt, erscheint das Programm auf dem Bildschirm. Wird auf der Menüleiste „File“ auf „Open“ gedrückt, erscheint eine Dialogbox (siehe Abb. 29).

Sel	View#	Title	1st Time	Last Time	Rate	Pan
Yes	birle 41 digg.1t	brille 41 r	-2.260	2.040	50.000	
Yes	birle 41 digg.2t	Brille41rr	-2.260	2.040	50.000	
Yes	birle 41 digg.3t	Brille41gg	-2.260	2.040	50.000	
Yes	birle 41 digg.4t	Brille41b	-2.260	2.040	50.000	
	birle 41 digg.5t	Brille41bb	0.000	0.000	50.000	
Yes	birle 41 digg.6t	brille41 r2	-2.260	2.040	50.000	
	birle 41 digg.7t	Brille 1_4 R	0.000	0.000	50.000	
	birle 41 digg.8t		0.000	0.000	59.940	
	birle 41 digg.9t		0.000	0.000	59.940	

Abb. 29: APAS: Transfer der Daten durch das Transfermodul im APAS-System

Dann werden die Daten im *.cf-Format gesucht, zweimal angeklickt, und es erscheint eine Dialogbox mit allen Kameras, die vorher digitalisiert wurden. Jede Kamera wird mit einem Klick bestätigt, es erscheint „Yes“. Auf der Menüleiste wird auf „3-D“ gedrückt und dies mit „OK“ bestätigt. Das Programm speichert die berechneten Daten als 3-D-File automatisch in den Ordner, in dem die Daten gespeichert wurden.

3.6.7 Umwandeln der Daten in APA-Dateien

Um diese Schritte durchzuführen, wird im APAS-Paket zweimal auf „APAS 2text“ geklickt. Es erscheint auf dem Bildschirm eine Dialogbox. In der Menüleiste „File“ wird auf „Open“ geklickt, dann auf „Input“, um die 3-D-Daten anzugeben. Klickt der Programm benutzer zweimal auf *.3-D-Files, erscheint die Datei automatisch in der Dialogbox (siehe Abb. 29). Unter „Output“ wird die Endung „*.txt“ der Datei in *.apa geändert und dies mit „OK“ bestätigt. Das Programm speichert die Daten als *.apa-Datei, die später für das Programm „Human Builder“ benötigt werden.

Anmerkungen: Die *.apa-Dateien können mit der Software „WordPad“ geöffnet und die Daten angeschaut werden. Hat ein Punkt 1,0000 in den drei Koordinaten stehen, heißt das, dass dieser Punkt nicht mit mindestens zwei Kameras digitalisiert wurde. Deswegen muss dieser Punkt noch einmal mit mindestens zwei Kameras digitalisiert werden.

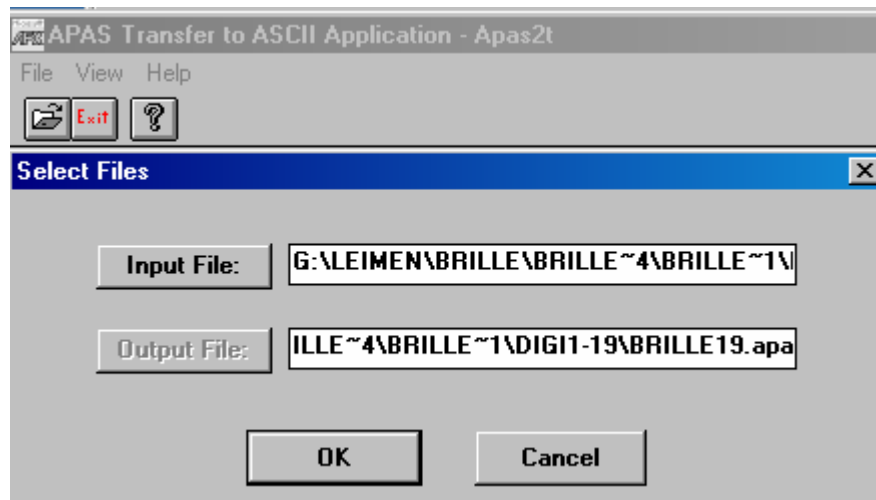


Abb. 30: Datenkonvertierung als APA-File im APAS-System

3.6.8 Fehlerkorrektur

Beim Digitalisieren passieren auch Fehler, wenn automatisch oder manuell digitalisiert wurde. Das bedeutet, dass diese Fehler korrigiert werden müssen. Diese Fehlerkorrektur erfolgt in folgenden Schritten:

Im APAS-System wird zweimal auf „Digitize“ geklickt, dann auf „Open Project“. Ein Projekt wird ausgewählt und auf „Open View“ geklickt. Es erscheinen alle Views, die vorher digitalisiert wurden. Der Benutzer wählt eine aus, öffnet die entsprechende AVI-Datei, drückt auf „Play“. Bei jedem Klick erscheint ein neues Bild, in dem alle Punkte gesehen und die falsch digitalisierten korrigiert werden können. Die Bewegungskorrektur muss für alle Ansichten durchgeführt werden.

Die neue Datei wird noch mal wie oben beschrieben als 3-D-Datei transformiert und in einen APA-File umgewandelt (siehe oben).

Anmerkungen: Der Programm benutzer muss einen File für die Marker und Gelenke mit derselben Methode manuell digitalisieren (mindestens ein Bild).

Mit diesen Schritten erhält der Nutzer den File, der später mit Human Builder und SDS bearbeitet wird.

3.7 Modellerstellung

Unter Modellerstellung wird der Aufbau eines biomechanischen Modells durch eine Software (Human Builder und SDS) verstanden. In den folgenden Schritten wird gezeigt, wie das funktioniert.

3.7.1 Human Builder

Diese Software ist das einzige Programme auf der Welt, mit dem über die Eigenschaften der Anthropometrie der Probanden und der digitalisierten Bewegungsdaten ein Modell/Programm-System erstellt wird, dass ohne weiteren Programmieraufwand in

einem Simulationssystem (SDS) lauffähig ist. Werden später mit Hilfe der Simulationssoftware Modell- oder Programmänderungen durchgeführt, so können diese von Human-Builder erkannt und in neue Projekte „vererbt“ werden. Das Programm wurde von Dr. M. VIETEN (FB Sportwissenschaft, Lehrstuhl Prof. H. RIEHLE, Universität Konstanz) entwickelt und an der Universität Konstanz sowie externen Instituten verwendet.

Um das Modell zu erstellen, werden die Daten der anthropometrischen Messung mit dem APA-File verbunden. In den nachfolgenden Schritten wird dargestellt, wie diese Messungen durchgeführt werden.

3.7.2 Anthropometrische Messung

Unter einer anthropometrischen Messung wird die Messung einzelner Körperteile verstanden, um ein dreidimensionales biomechanisches Modell zu erstellen. Die anthropometrische Messung spielt in der Biomechanik wie in anderen sportwissenschaftlichen Bereichen eine große Rolle, weil sie die Beziehung zwischen Körperteilen und der Bewegungsstruktur zeigt.

In der vorliegenden Arbeit wurde das anthropometrische Messprotokoll des Fachbereichs Sportwissenschaft der Universität Konstanz benutzt (siehe Anhang). In diesem Protokoll werden 38 Variablen gemessen. Nach der Messung müssen die Daten durch die folgenden Schritte in den Computer übertragen werden:

1. Öffnen des Programms „Human Builder“ durch Doppelklick auf das Programmsymbol (siehe Abb. 31):
2. Auf der Menüleiste „Anthropometry“ „Anthropometry Data Base“ anklicken
3. In der anthropometrischen Datenbank auf „New Anthropometry“ klicken und alle anthropometrischen Daten eintragen.

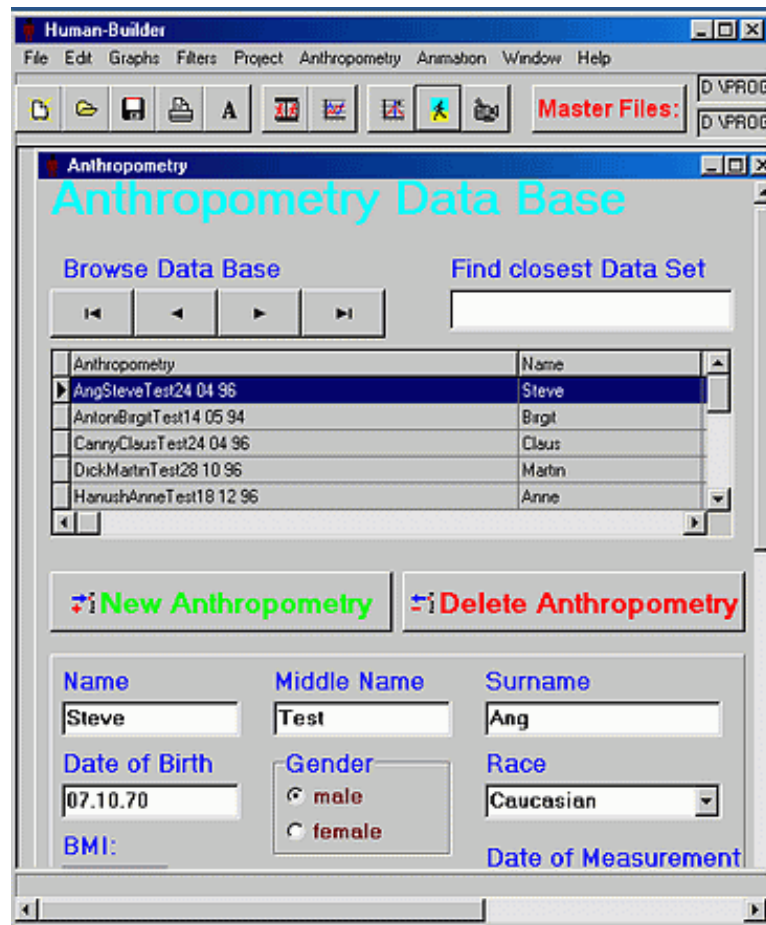


Abb. 31: Datenbank der Anthropometrie in Human Builder

3.7.3 Animation File

Unter Animation File wird die Übertragung des APA-Files in Human Builder sowie das Speichern als HIF-File verstanden. Zudem müssen diese Daten mit den Marker- und Gelenk-Files kalibriert werden. Dieses Animation File geschieht in folgenden Schritten:

1. In der Menüleiste „Animation“ wird „Animation Data Base“ angeklickt (siehe Abb. 32).
2. In der Animation Data Base wird „New Animation“ angeklickt und der Name der Animation eingegeben.
3. „Animation File“ wird angeklickt und nach dem entsprechenden APA-File gesucht. Dieser wird zweimal angeklickt. Dann konvertiert das Programm den APA-File in einen HIF-File.

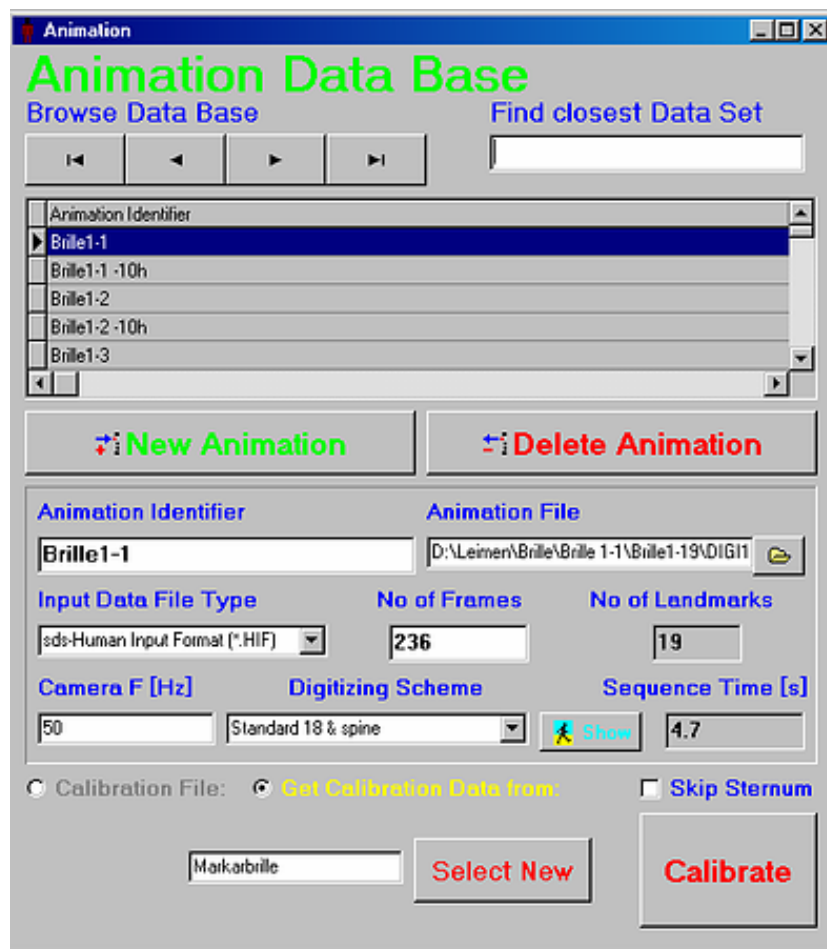


Abb. 32: Datenbank des Animation Files in Human Builder

4. Dieses Programm erkennt automatisch die Anzahl der Frames und Landmarks.
5. Unter „Camera F [Hz]“ wird geschrieben, mit welcher Frequenz die Aufnahme durchgeführt wurde. In der vorliegenden Arbeit betrug die Frequenz 50 Hz.
6. Unter „Digitizing Scheme“ werden die entsprechenden Punkte und deren Reihenfolge ausgewählt. In der vorliegenden Arbeit waren es 18 Punkte plus Sternum.

Wird auf „Anthropometry Show“ geklickt, erscheint eine Aufforderung (siehe Abb. 33), die vorher ausgefüllten Punkte zu ersetzen. Dabei muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Reihenfolge für diese Punkte dieselbe ist wie bei den digitalisierten Punkten. Am Ende wird auf „Exit“ geklickt (wenn es die Anzahl der digitalisierten Punkte nicht in der Standardeinstellung des Programms gibt, sollen die Punkte im Programm eingegeben und mit der oben erklärten Methode ersetzt werden.)

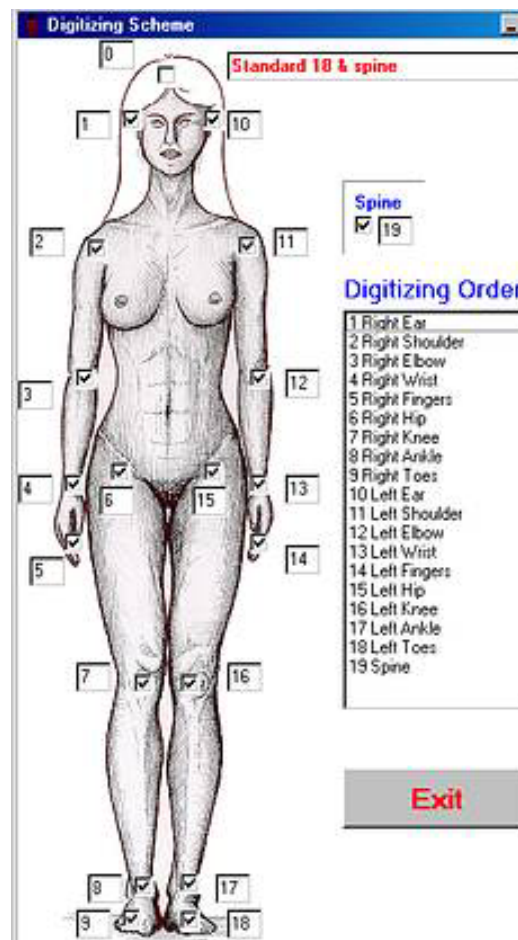


Abb. 33: Reihenfolge der zu digitalisierenden Punkte in Human Builder

7. Für die Gelenk- und Marker-Files müssen die vorherigen Schritte (1-7) einmal für jeden Probanden durchgeführt werden.
8. Für den Marker-File wird „Calibration File“ ausgewählt, die HIF-Files der Gelenke gesucht und angeklickt.
9. „Calibrate“ wird angeklickt, damit dieses Programm die Kalibriervektoren berechnet.
10. Jetzt geht der Programmnutzer auf die gesamten Daten für die Bewegung in der Datenbank zurück und dann auf den Befehl „Get Calibration Data from“. Dann wird der entsprechende Marker ausgewählt und auf „Select“ geklickt. Nachdem „Calibrate“ angeklickt wurde, wird jedem Animation File ein Satz Kalibriervektoren zugeordnet.

Anmerkungen: Für jeden Probanden muss der Name der Bewegung ganz deutlich angegeben werden. Bevor die Bewegungen mit den Markern kalibriert werden, müssen die Gelenke mit den Markern kalibriert werden.

3.7.4 Filter

Nach den Animation-Schritten müssen mit diesem Programm die Daten gefiltert werden, damit das Rauschen der Digitalisierungsphase vermindert wird. In diesem Programm gibt es mehrere Filter, die in der Mathematik sehr bekannt sind wie beispielsweise Moving Average, Low Pass Symmetrical, Exponential Smoothing und FFF Low Pass. In der vorliegenden Arbeit wurde der FFF Low Pass Filter benutzt, weil er die besten Filterergebnisse ergeben hat. Die folgenden Schritte zeigen, wie der Filter benutzt wird.

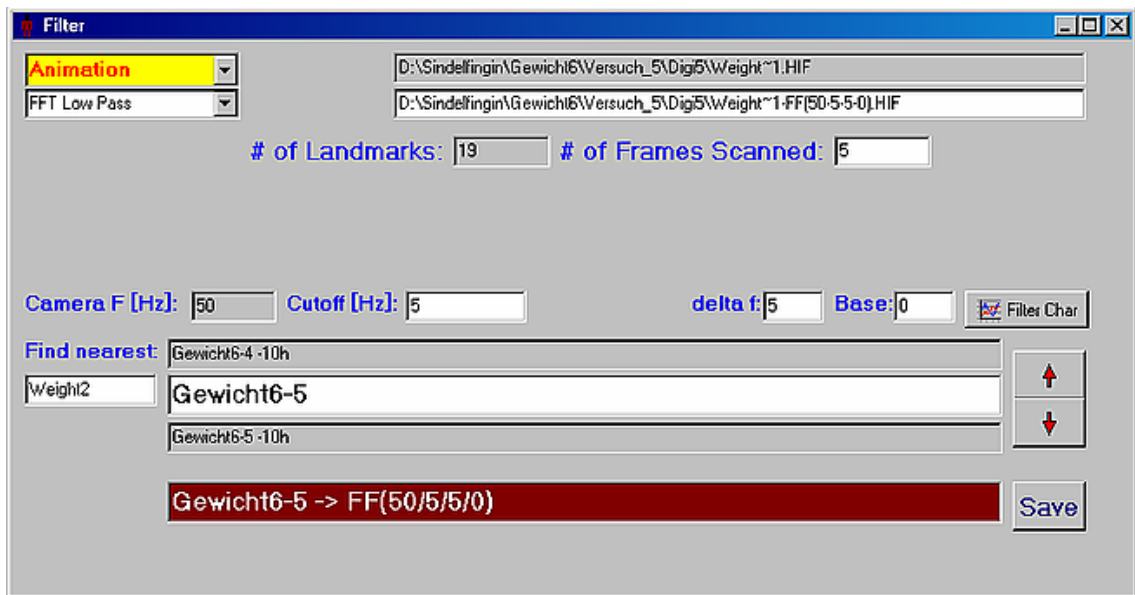


Abb. 34: Filtermodul in Human Builder

1. In der Menüleiste „Filters“ anklicken (siehe Abb. 34).
2. Animation ausfüllen
3. Filter FFF Low Pass auswählen
4. In „Cutoff“ wird die verwendete Cut-Frequenz eingetragen (Einheit = Hz). In der vorliegenden Arbeit betrug die Cut-Frequenz 5 Hz.
5. „delta f“ gibt die Steigung der Flanke des Filters an.
6. In „Base“ wird 0 eingetragen
7. Aus der vorliegenden Liste wird der gewünschte Animation File ausgewählt und auf „Filter Char“ geklickt, um zu sehen, wie die Filter-Charakteristik aussieht. Dann wird das Fenster geschlossen.
8. Um die Daten zu speichern, wird „Save“ angeklickt.
9. Das Programm erstellt automatisch die gefilterten Daten als neuen Animation File (siehe oben bei Animation“).

Anmerkungen: Die gefilterten Daten werden mit den Eigenschaften des Filters gespeichert. Die Daten stehen in demselben Ordner, in dem die Animations-Daten gespeichert wurden. Sie sehen folgendermaßen aus: *-FF(50/5/5/00).

Im Animation File müssen die Daten nicht noch einmal kalibriert werden.

3.7.5 Graphiken

In diesem Schritt sind die Graphiken für jeden digitalisierten Punkt sichtbar. Es kann auch ein Vergleich zwischen den Punkten auf der linken und rechten Seite durchgeführt werden. Es gibt auch eine Möglichkeit, die Rohdatei mit den gefilterten Daten zu vergleichen. Am Ende des Animation Files können die Kurven von vorne und hinten geschnitten werden. Es ist auch möglich, die Kamerafrequenz zu reduzieren. Die folgenden Schritte zeigen, wie „Graphs“ benutzt werden kann:

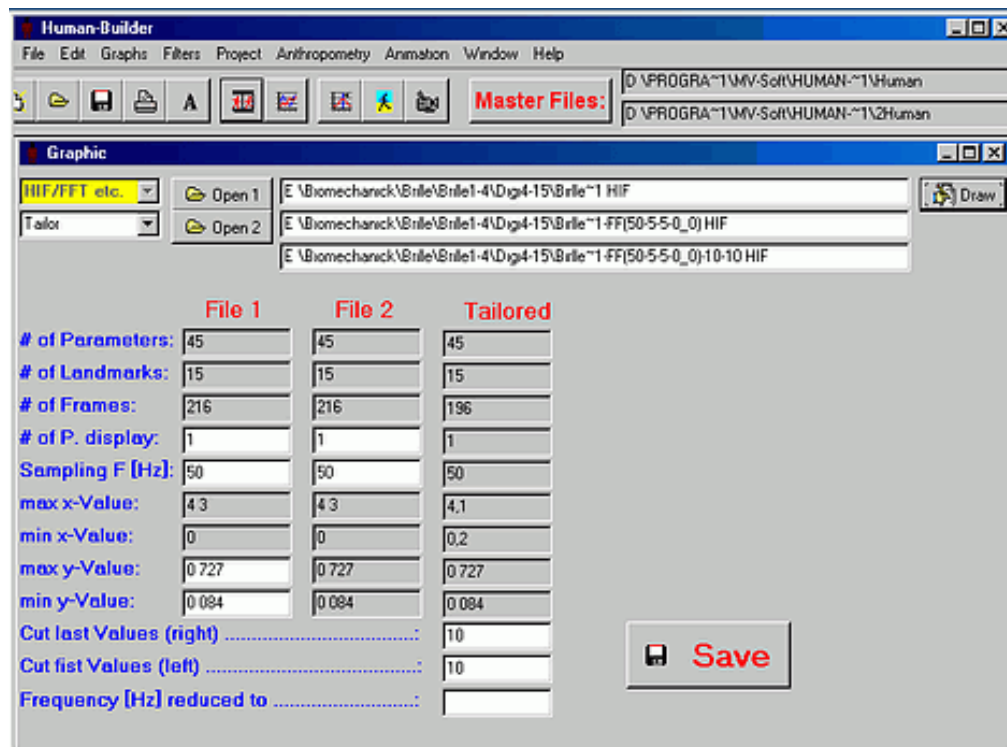


Abb. 35: Graphikmodul in Human Builder

1. Auf der Menüleiste wird auf „Graphs“ geklickt (siehe Abb. 35).
2. „Tailor“ auswählen
3. Auf den Befehl „Open 1“ klicken und die gewünschte Rohdatei für den ersten Animation File auswählen.
4. Auf den Befehl „Open 2“ klicken und die gefilterten Rohdaten für den zweiten Animation File auswählen.
5. In der dritten Zeile zeigt das Programm sofort den Namen für die neue Animation-Datei an.
6. In „# of P. display“ wird die Nummer des digitalisierten Punktes (z.B. rechte Kopfseite = 1) geschrieben. Diese Kurve wird beim Anklicken von „Draw“ gezeichnet.
7. „Draw“ wird angeklickt, um die Kurve zu sehen. Danach wird auf „Clean“ geklickt, um zum Menue zurückzukehren.

8. Unter „Cut last Values“ wird die Anzahl der von hinten abgeschnittenen Bilder eingetragen. Unter „Cut first Values“ wird die Anzahl der Bilder eingetragen, die von vorne abgeschnitten werden.
9. Um die Daten zu speichern, wird „Save“ angeklickt. Das Programm speichert die Datei dort, wo die Rohdatei und die gefilterte Datei abgespeichert sind. Die Daten sehen folgendermaßen aus: *-FF(50/5/5/00)10-10.
10. Rückkehr in die Animation Data Base, dort wird der passende gefilterte Animation File ausgewählt und mit einem Namen plus der Anzahl der abgeschnittenen Bilder definiert. Anschließend werden die gerade von „Graphs“ gespeicherten Daten gesucht und zweimal angeklickt. Das Programm trägt die Informationen der Daten ein.

3.7.6 Project Center

In diesem Schritt erstellt wird die Verknüpfung zwischen den anthropometrischen Daten und den Animations-Daten erstellt. Der Nutzer erhält ein Projekt, das später mit SDS simuliert werden kann. Dabei ist darauf zu achten, dass der richtige Master File benutzt wird. Mit den folgenden Schritten kann das Project erstellt werden:

1. In der Menüleiste auf „Project Center“ klicken (siehe Abb. 36).
2. Auf „New Project“ klicken und den Namen für das Projekt eintragen.
3. Auf „Project Directory Name“ klicken. Dann wird ein neuer Ordner erstellt und als Projekt benannt. Dieser Ordner wird angeklickt und ein Projektname eingetragen.
4. Aus der Anthropometrie-Liste werden die entsprechenden anthropometrischen Daten gewählt und auf „Store“ geklickt.
5. Aus der Animations-Liste werden die entsprechenden Daten ausgewählt und auf „Store“ geklickt.
6. Anklicken der Schaltfläche „Calculate“, um den passenden Project File zu berechnen.

Anmerkungen: Das Programm verfügt über eine Möglichkeit zur Erstellung eines Projekts mit zwei Modellen (dieselben anthropometrischen Daten und zwei unterschiedliche Animation Files, zwei verschiedene Probanden und derselbe Animation File oder unterschiedliche Anthropometrie und unterschiedliche Animationen).

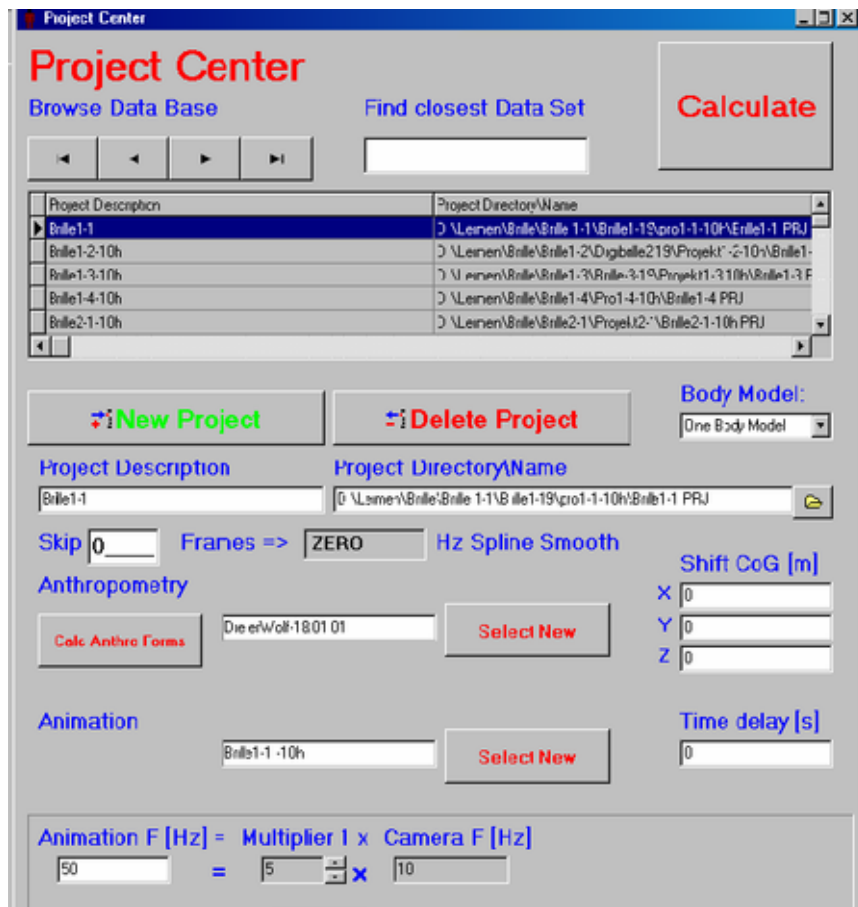


Abb. 36: Datenbank des Project Centers in Human Builder

3.7.7 Simulationsphase (SDS)

In diesem Schritt wird damit begonnen, das von Human Builder erstellte Modell mit Hilfe des Hanavan-3-D-Modell zu simulieren. Die folgenden Schritte zeigen, wie das geht.

1. Aus der Programmleiste SDS auswählen und anklicken .
2. In der Menüleiste „File“ wird auf „Open“ geklickt und das entsprechende Projekt geöffnet (die Daten müssen die Endung *.sds aufweisen, siehe Abb. 37).
3. In der Menüleiste „Computation“ wird „Compile“ angeklickt, damit das Programm automatisch die Daten des mit Human Builder kreierte Projekts kompiliert.
4. In der Menüleiste wird auf das Symbol „Run“ geklickt, um das Modell zu simulieren (Abb. 37).
5. Nach der Simulation müssen die Daten gespeichert werden. Das Programm speichert die Daten automatisch im Projektordner.

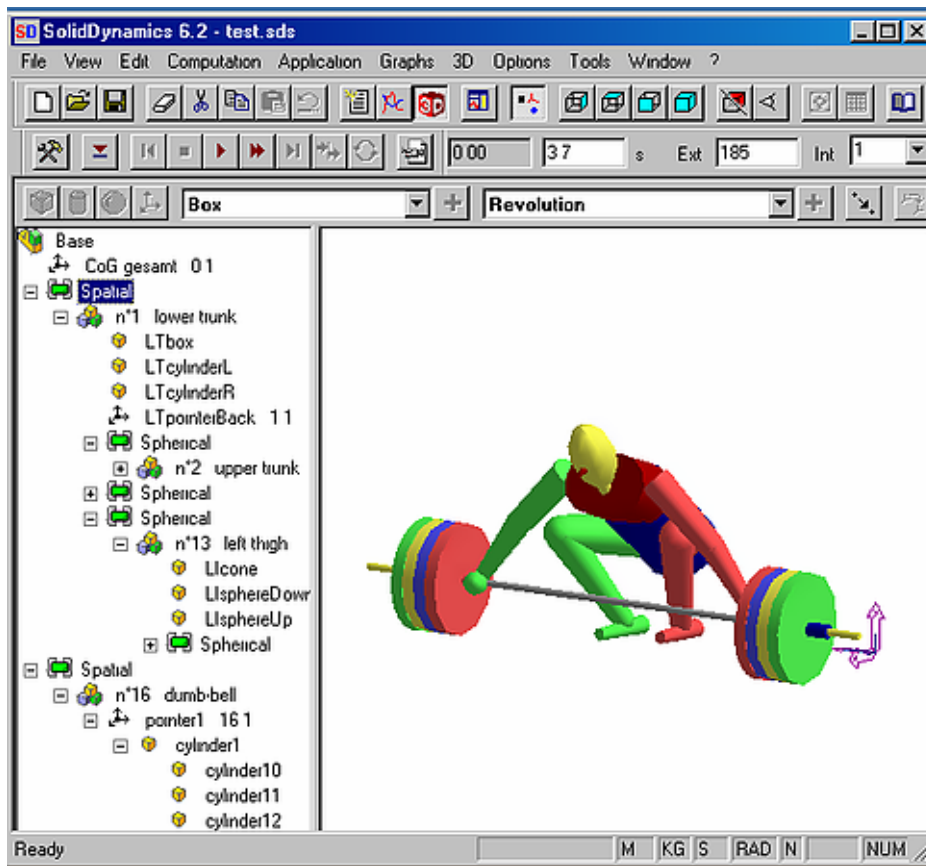


Abb. 37: Ansicht des Simulation-Files in SDS

Anmerkungen: Mit diesem Programm werden die Bewegung und Kurven für eine bestimmte Variable oder mehrere biomechanische Variablen (E_{mus} , P_{mus} und CoG) sichtbar (Abb. 38).

Auf dem Bildschirm kann auch ein Projekt mit zwei Modellen simuliert werden. Es gibt auch die Möglichkeit, im Application Editor ein solches Programm für eine solche Bewegung oder eine zusätzliche biomechanische Variable zu erstellen. Das Programm bietet die Möglichkeit zum Speichern der simulierten Bewegung als AVI-File. Das Modell kann in den drei Achsen angesehen und die Größe verändert werden.

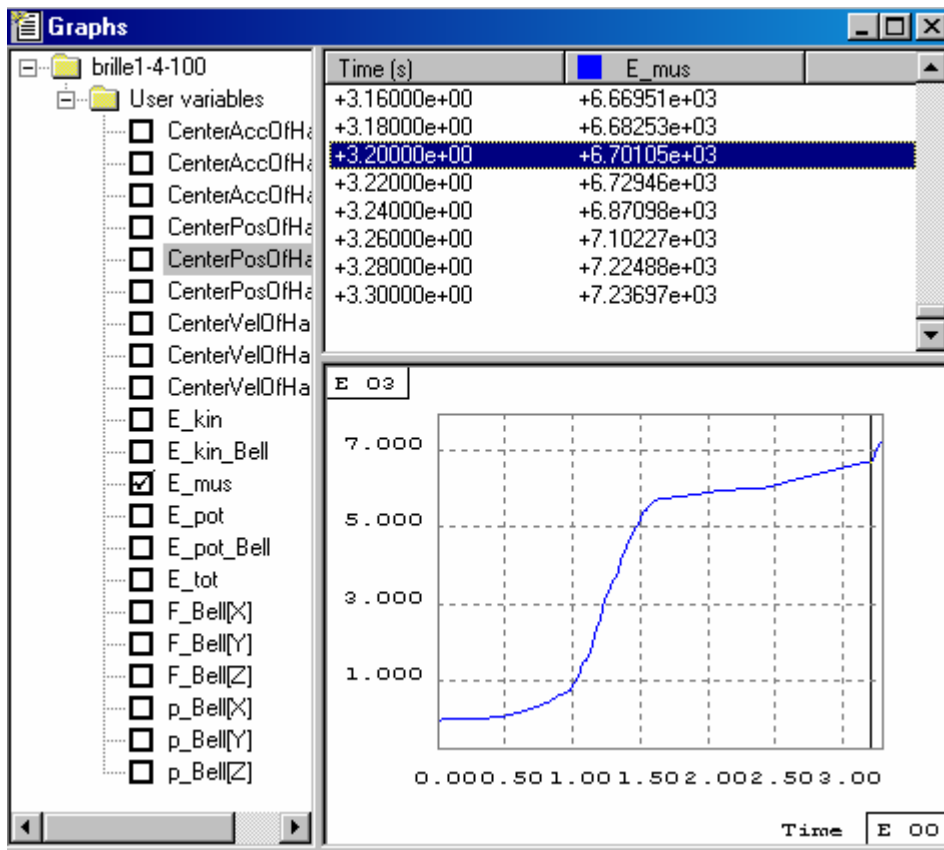


Abb. 38: Schnellansicht der biomechanischen Variablen in SDS

3.7.8 Vorbereitung der Daten für Statistica

1. Die Datei mit der Endung *.ept, die im Projektordner abgespeichert ist, wird gesucht.
2. Sie wird angeklickt und über den Editor geöffnet.
3. Der Kopf (= 1. Zeile) muss gelöscht werden und die Datei noch einmal unter anderem Namen gespeichert werden. Die Datei wird mit Statistica 5 geöffnet.
4. Die Datei wird als Kurve und Ergebnis für diese Arbeit vorbereitet. Anmerkung: Die Datei wird unter Statistica oder Excel bearbeitet. In der vorliegenden Arbeit wird Statistica 5 benutzt.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in Bezug auf die biomechanischen Variablen der Probanden unter den folgenden Gesichtspunkten vorgestellt

:

1. Die beschreibende Statistik der Hantelflugbahn.
2. Die beschreibende Statistik der Hantelgeschwindigkeit und Körperschwerpunktgeschwindigkeit.
3. Die beschreibende Statistik der Muskelenergie und potentiellen Energie der Hantel.
4. Die Korrelation nach Pearson ausgewählter Variablen.
5. Die Berechnung der Effizienz des Gewichthebers.

4.1 Beschreibende Statistik der biomechanischen Variablen

Tabelle 6 zeigt die Anzahl der Versuche, die Standardabweichung, den niedrigsten und höchsten Wert sowie den Mittelwert des höchsten Hantelflugbahnpunktes (HHFBP) und des KSPs (KSPB)

Tab. 6: Beschreibende Statistik des HHFBP und des KSPFB (N = Sammlung; \bar{X} = Mittelwert; Min = niedrigster Wert; Max = höchster Wert; σ = Standardabweichung)

Variablen	N	\bar{X}	Min	Max	σ
HHFBP (m)	30	1.39	1.18	1.60	.13
KSPFB (m)	30	.975	.90	1.10	.06

Tabelle 7 zeigt die Anzahl der Probanden, die Körpergröße (KG), die Mittelwerte der höchsten Hantelflugbahnpunkte (HHFBP) sowie die Beziehung zwischen den Mittelwerten der höchsten Hantelflugbahnpunkte und der Körpergröße (KG).

Tab. 7: Die beschreibende Statistik der Höhe der Mittelwerte der (\bar{X} HHFBP) und der Körpergröße (KG) sowie die Standardabweichung (σ)

Probanden	KG (m)	\bar{X} HHFBP(m)	Σ	HHFBP / KG
BR	1.86.5	121.6	4.77	65.20
OH	180	133.33	2.89	74.07
G2	170	133.75	4.79	78.67
G3	170	140	12.65	82.35
G5	178	144.6	9.17	80.98
G6	184	153.33	8.16	83.33

Tabelle 7 zeigt, dass die Beziehung zwischen der Hantelflugbahn und Körpergröße als entscheidende Methode für Technik beim Gewichtheben beurteilt werden kann. In der vorliegenden Arbeit wurde dieselbe Methode angewendet wie sie bereits BAUMANN et al. (1988) und ISAKA et al. (1996) benutzt hatten.

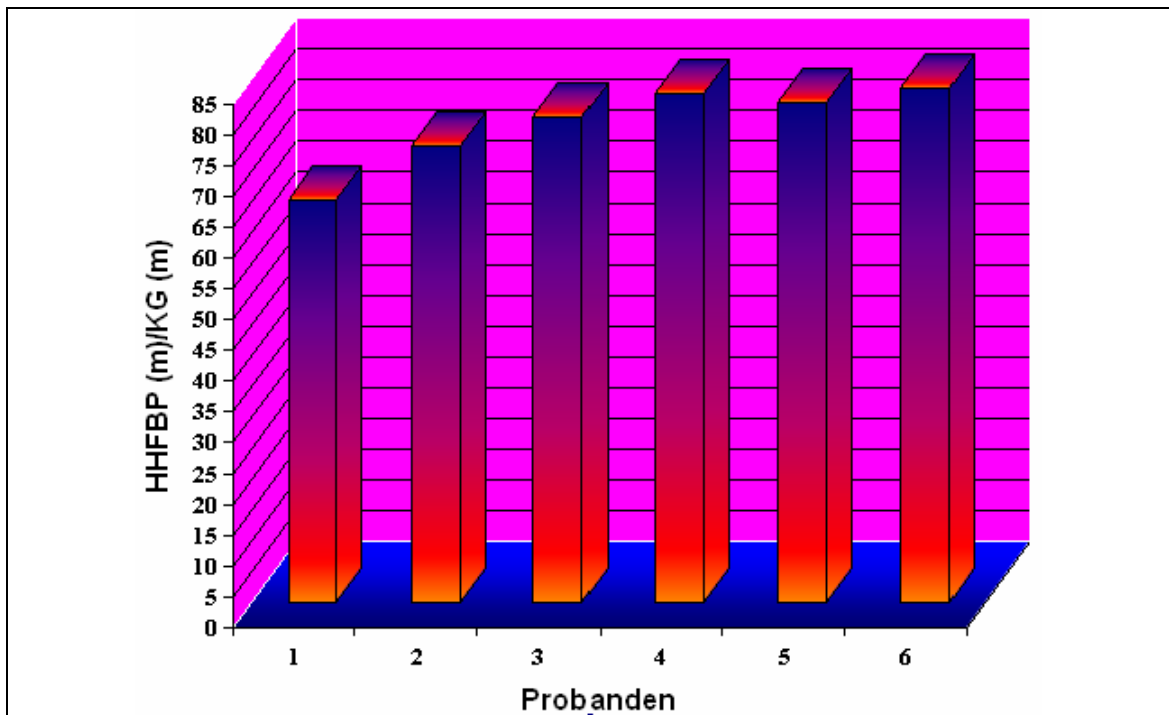


Abb. 39: Die Beziehung zwischen den Mittelwerten der höchsten Hantelflugbahnen und der Körpergröße für jeden Probanden

Abbildung 39 zeigt für jeden Probanden die Unterschiede in der Beziehung zwischen der Körpergröße (KG) und der höchsten Hantelflugbahnpunkte. Die niedrigsten Werte bedeuten, dass eine gute Technik in Bezug auf die Körpergröße der jeweiligen Probanden vorliegt.

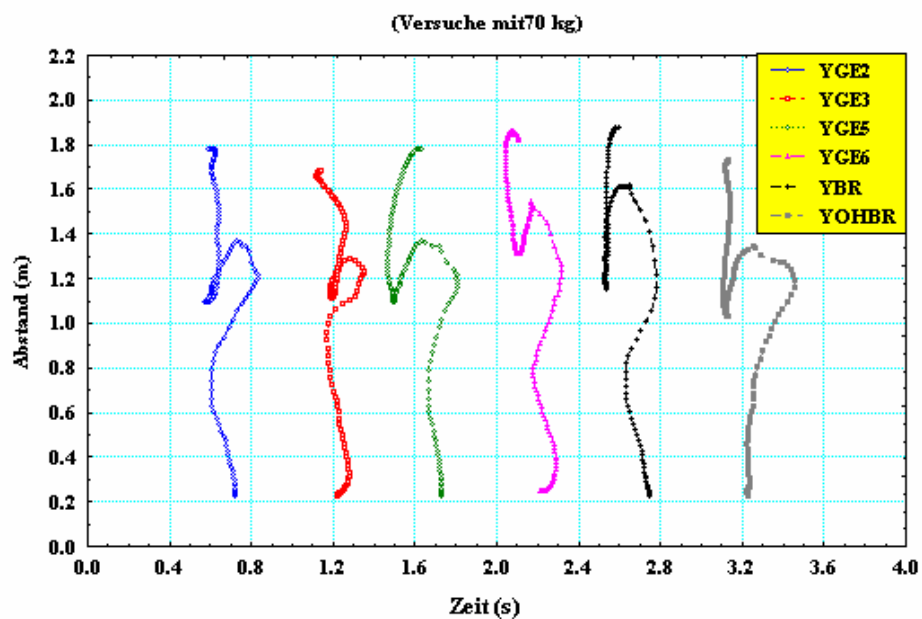


Abb. 40: Hantelflugbahnen für alle Probanden mit 70 kg

Abbildung 40 zeigt die Unterschiede zwischen allen Probanden beim Versuch mit 70 kg. Obwohl alle Probanden dasselbe Gewicht gehoben haben, gibt es Unterschiede der Hantelflugbahnen in Bezug auf die Anthropometrie und Technikeigenschaft eines jeden Probanden.

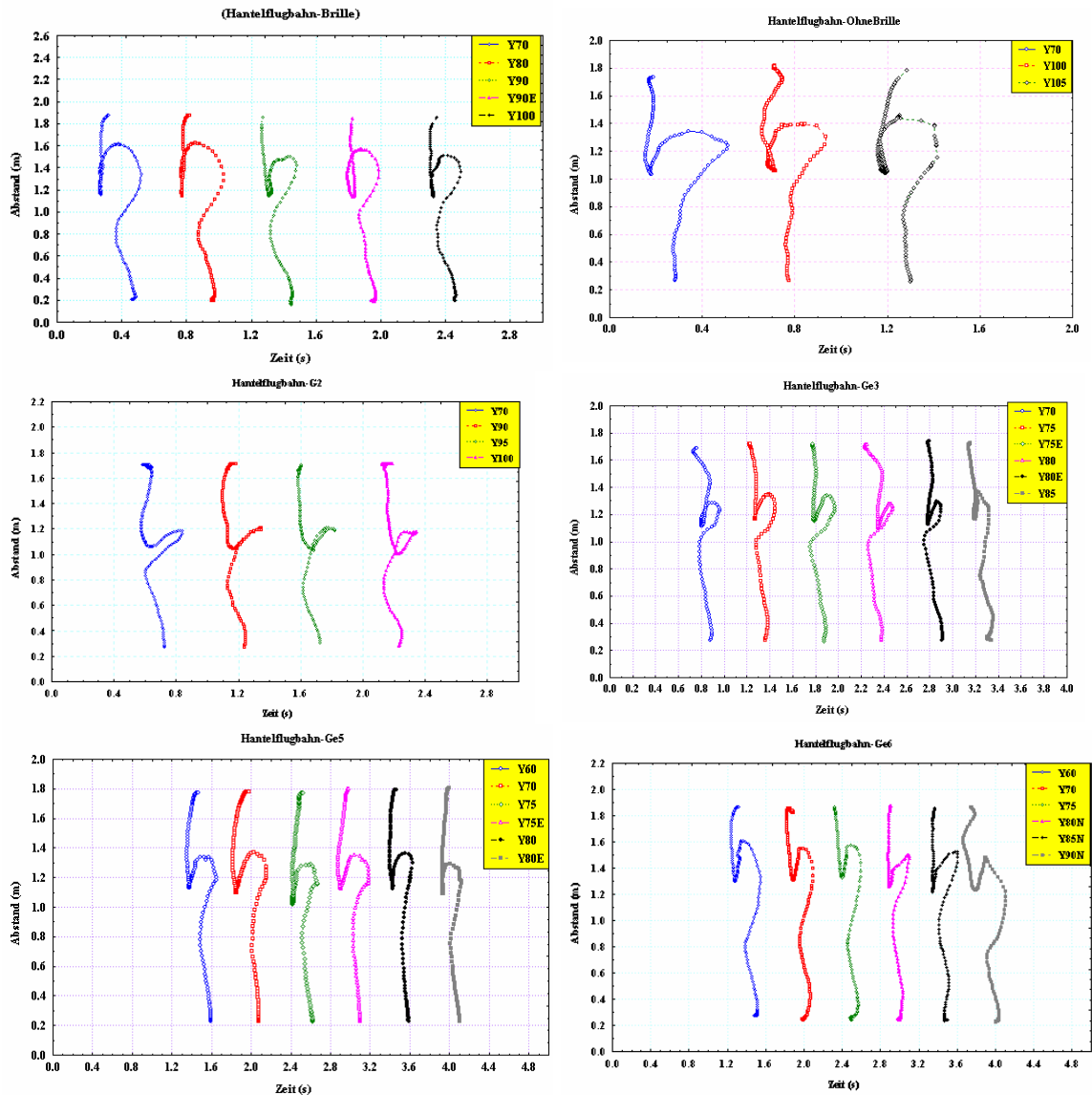


Abb. 41: Hantelflugbahnen für jeden Probanden

Abbildung 41 zeigt die Hantelflugbahnen bei jedem Probanden in Bezug auf seine Versuche, Anthropometrie und Technikeigenschaft. Jeder Proband zeigt bei jedem Versuch eine Hantelflugbahn. Das bedeutet, dass kein Proband immer auf einer festen Flugbahn Gewichte heben kann.

Tabelle 8 zeigt die Anzahl der Versuche, die Standardabweichung, den niedrigsten und höchsten Wert sowie den Mittelwert der Hantelgeschwindigkeit (VHO) und der KSP-Geschwindigkeit (VKSPO) nach oben.

Tab. 8: Beschreibende Statistik der VHO und VKSPO nach oben. (N = Sammlung; \bar{X} = Mittelwert; Min = niedrigster Wert; Max = höchster Wert; σ = Standardabweichung)

Variablen	N	\bar{X}	Min	Max	σ
VHO (m/s)	30	3.10	2.20	3.60	.32
VKSPO (m/s)	30	1.64	1.00	2.20	.36

Tabelle 9 zeigt die Anzahl der Versuche, die Standardabweichung, den niedrigsten und höchsten Wert sowie den Mittelwert der Hantelgeschwindigkeit (VHU) und der KSP-Geschwindigkeit (VKSPU) nach unten.

Tab. 9: Die beschreibende Statistik der VHU der VKSPU nach unten. (N = Sammlung; \bar{X} = Mittelwert; Min = niedrigster Wert; Max = höchster Wert; σ = Standardabweichung)

Variablen	N	\bar{X}	Min	Max	σ
VHU (m/s)	30	-1.03	.30	-2.2030	.65
VKSPU (m/s)	30	-2.41	-1.00	-3.40	.61

Abbildung 42 zeigt die Hantelgeschwindigkeit (VH) und Körperschwerpunktgeschwindigkeit (VKSP) bei allen Probanden im Versuch mit 70 kg. Obwohl alle Probanden 70 kg hoben, zeigt die Abbildung unterschiedliche Kurven und unterschiedliche Beziehungen zwischen der Hantelgeschwindigkeit und Körperschwerpunktgeschwindigkeit. Dieses Ergebnis ist wie bei BAUMANN et al. (1988) und ŽEKOV (1976) beschrieben.

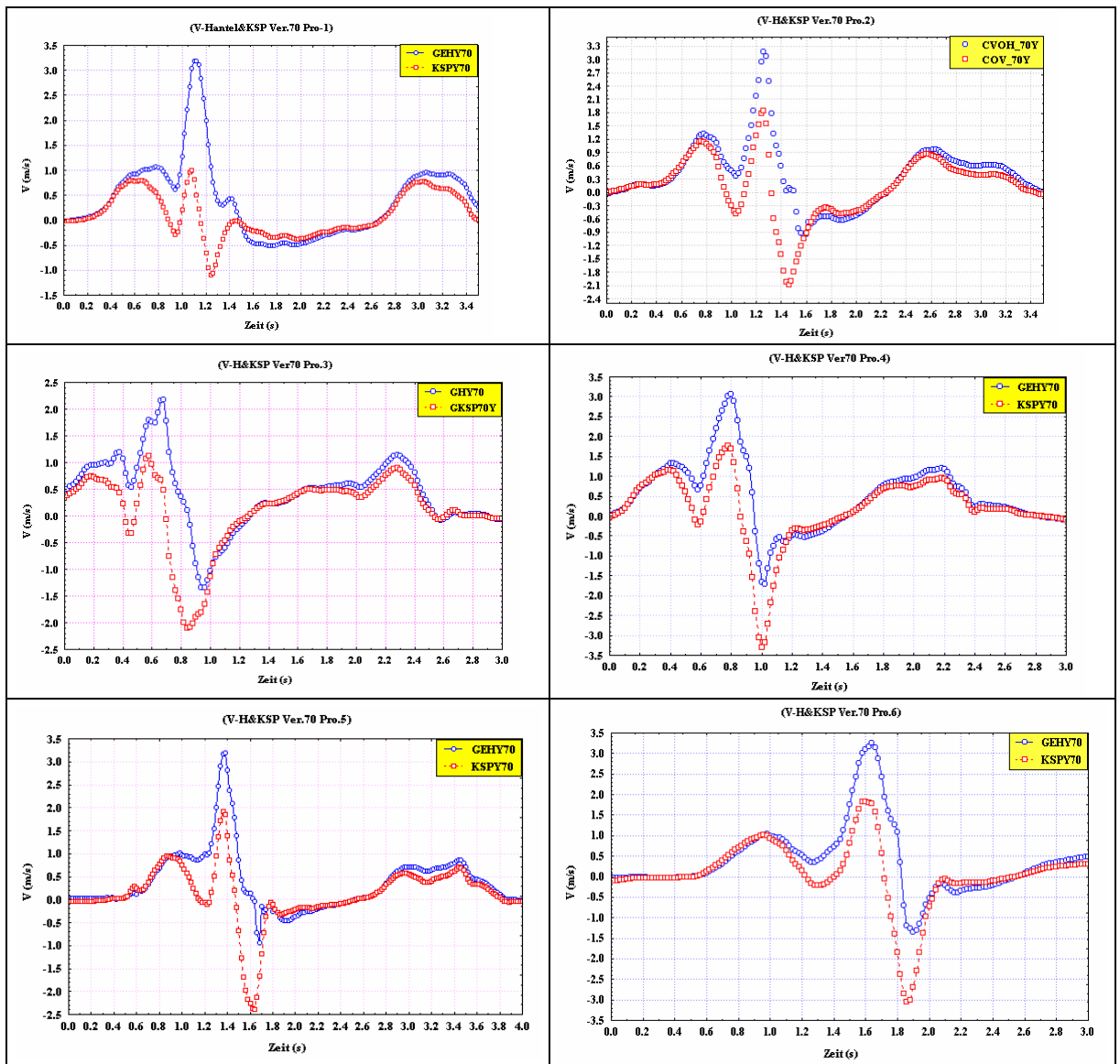


Abb. 42: Hantel- und Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben und unten

Tabelle 10 zeigt die Anzahl der Probanden und die Körpergröße (KG) sowie die Mittelwerte, die niedrigsten und höchsten Werte der Muskelenergie (E_{mus}), die Standardabweichung und die Beziehung zwischen der Muskelenergie und Körpergröße.

Tab. 10: Die beschreibende Statistik der Probanden (KG = Körpergröße, $\bar{X} E_{mus}$ = Mittelwert der Muskelenergie, Min = niedrigster Wert, Max = höchster Wert, σ = Standardabweichung, E_{mus}/KG = Höhe des Mittelwertes der Muskelenergie / Körpergröße

Probanden	KG (m)	$\bar{X} E_{mus}$ (j)	Min	Max	σ	E_{mus}/KG
BR	1.86	6140.32	4972.75	7236.97	893.70	3301.25
OH	1.80	11467.04	7621.83	16317.00	3578.94	6470.85
G2	1.70	5788.54	5253.49	6590.78	491.33	3405.02
G3	1.70	5002.84	3522.74	5773.38	729.13	2942.64
G5	1.78	7078.67	6257.33	7701.32	447.68	3976.78
G6	1.84	5968.44	4781.32	7737.52	1000.75	3243.72

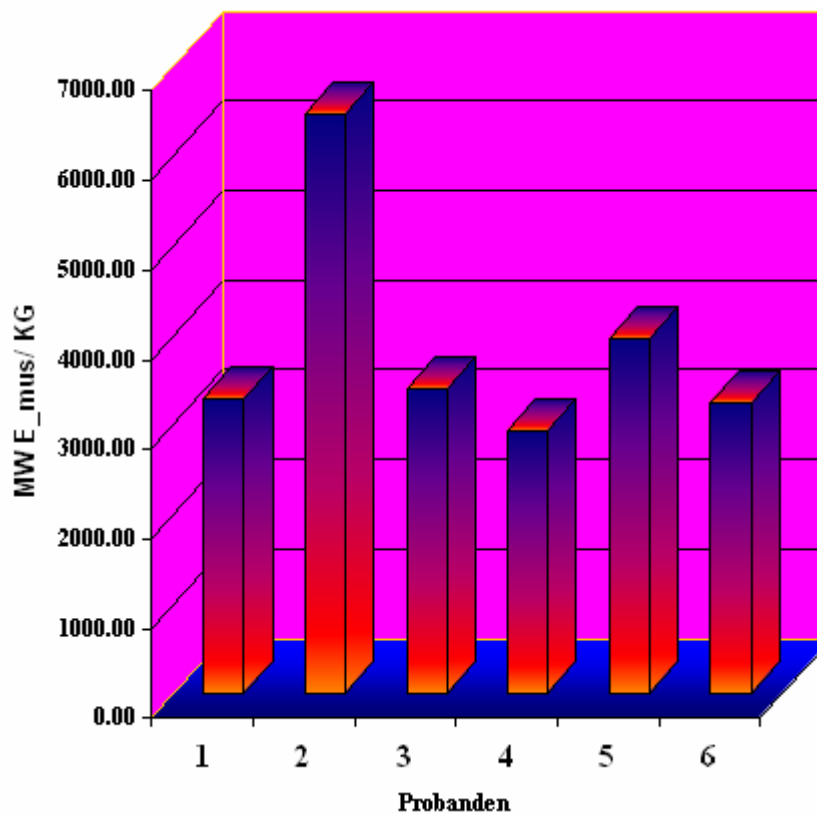


Abb. 43: Die Beziehung zwischen den Mittelwerten der Muskelenergie und der Körpergröße für jeden Probanden

Abbildung 43 zeigt die Beziehung zwischen der Körpergröße (KG) und der gesamten Muskelenergie (E_{mus}). Diese Graphik zeigt die Unterschiede zwischen allen Probanden in Bezug auf die verbrauchte Muskelenergie beim Heben.

Tabelle 11 zeigt die Mittelwerte der Muskelenergie (E_{mus}) und der potentialen Energie der Hantel (E_{potH}) sowie die Minimum- und Maximum-Werte und die Standardabweichung.

Tab. 11: Mittelwerte \bar{X} der Muskelenergie und der potentiellen Energie der Hantel (E_{potH}) sowie Minimum- und Maximum-Werte sowie Standardabweichung σ

Variablen	N	\bar{X}	Min	Max	σ
E_{mus} (j)	30	6969.82	3522.74	16317	2296.53
E_{potH} (j)	30	1317.75	884.24	2041.67	321.90

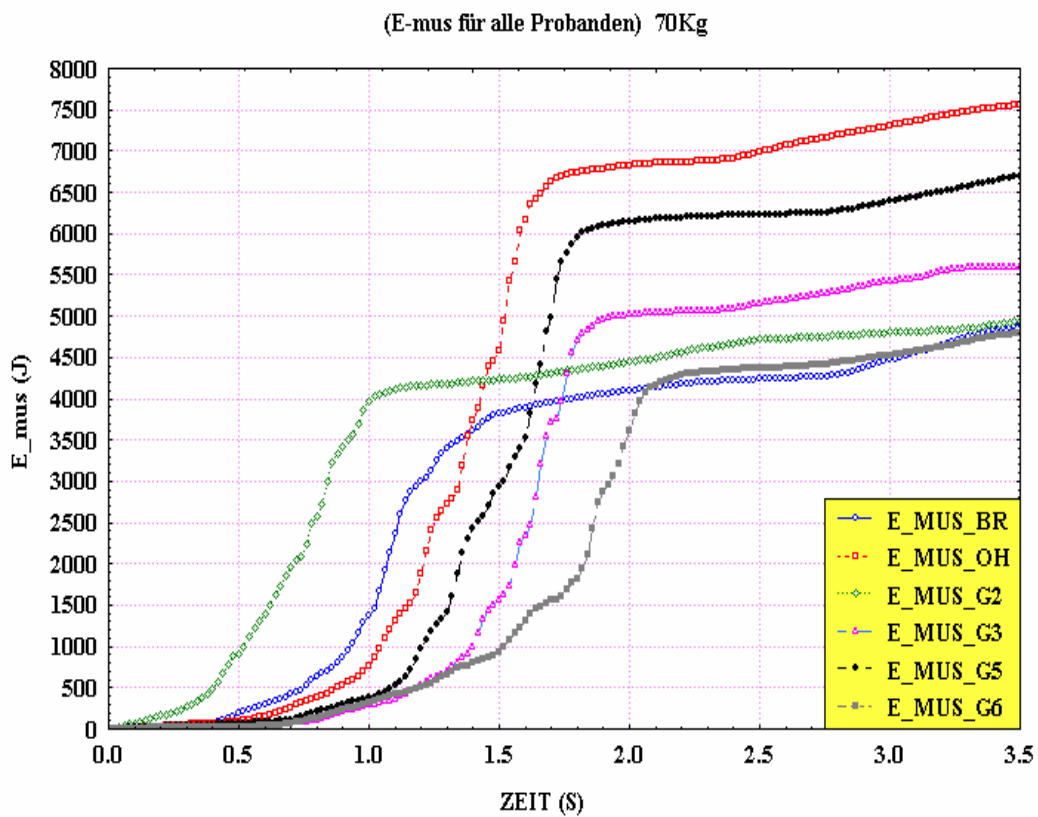


Abb. 44: Muskelenergie für alle Probanden beim Versuch mit 70 kg

Abbildung 44 zeigt die Unterschiede der Muskelenergie von allen Probanden beim Versuch mit 70 kg. Die Unterschiede der Muskelenergie kommen von der unterschiedlichen Technik, Geschwindigkeit und Anthropometrie der Probanden, obwohl alle Probanden 70 kg gehoben haben.

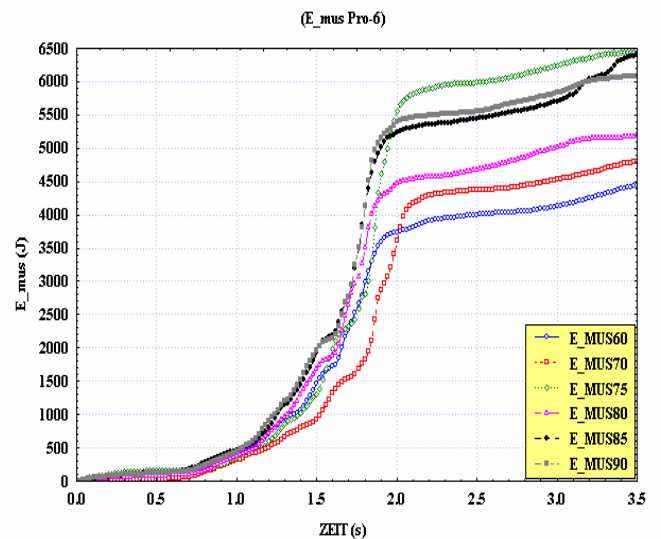
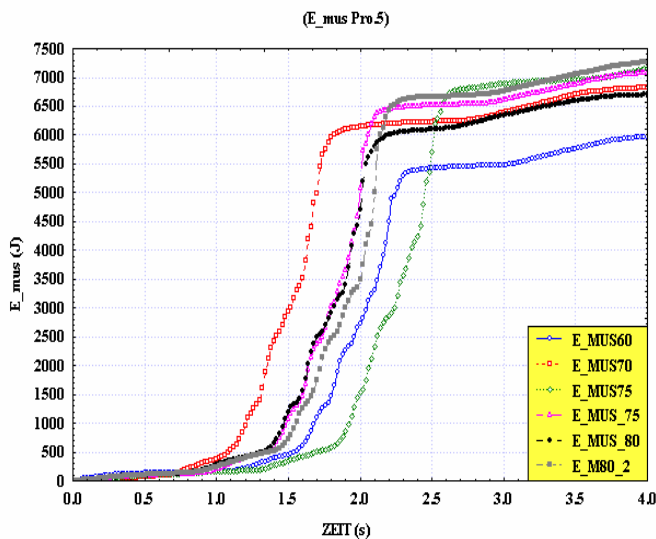
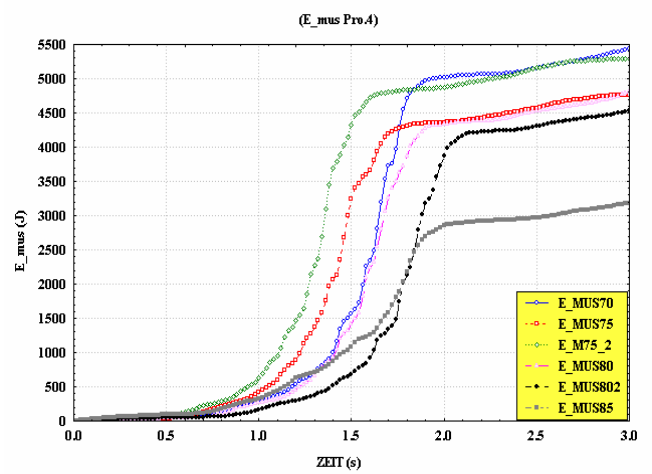
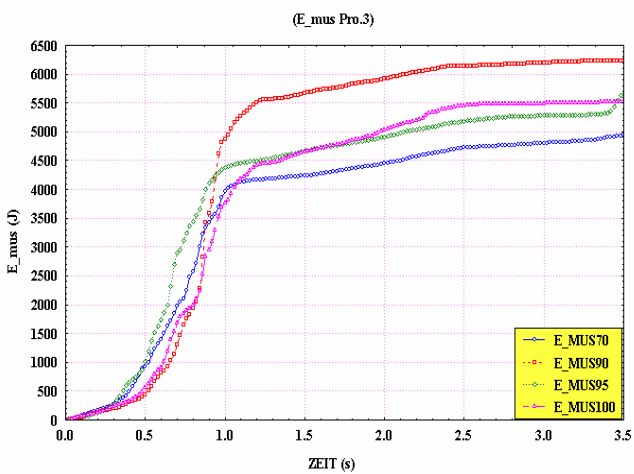
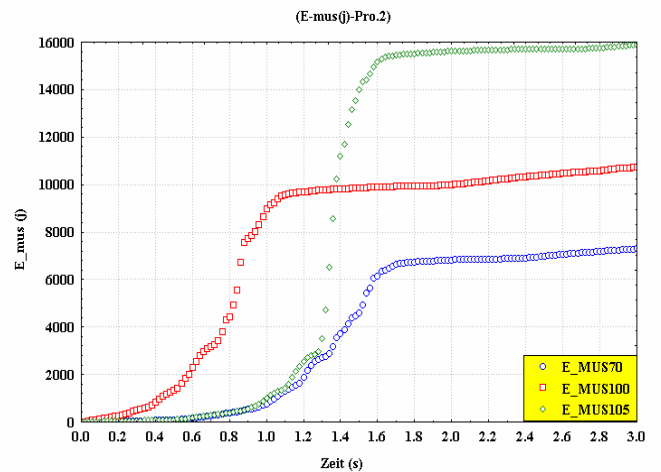
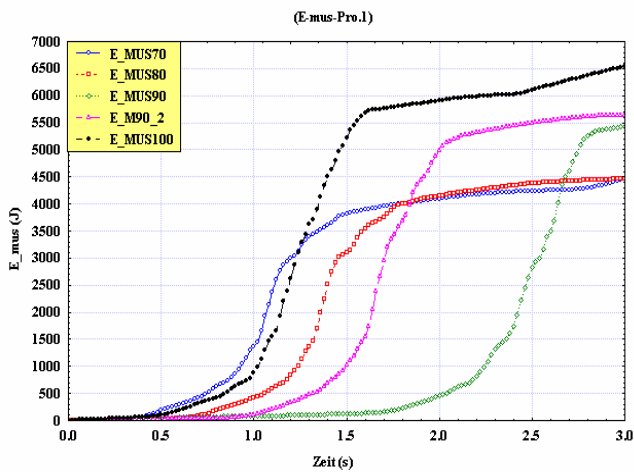


Abb. 45: Muskelenergie für jeden Probanden bei allen Versuchen

Abbildung 45 zeigt die Muskelenergie für jeden Probanden bei seinen Versuchen. Die Graphik für Muskelenergie ist bei jedem Probanden in Bezug auf seine Hantelflughbahn, Hantelgeschwindigkeit, Körperschwerpunktgeschwindigkeit und sein Hantelgewicht

unterschiedlich. Das bedeutet, bei jedem Versuch verbraucht jeder Gewichtheber unterschiedliche Muskelenergie unabhängig vom Hantelgewicht.

Tabelle 12 zeigt signifikante Korrelationskoeffiziente nach Pearson zwischen der Muskelenergie Oberkörper (E_{musOK}), Muskelenergie untere Extremität (E_{musUEX}), den höchsten Hantelflugbahnpunkten (HHFBP), der Körperschwerpunktflugbahn (KSPFB), Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben (VKSP0), Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten (VKSPU) und der Hantelgeschwindigkeit nach unten (VHU) sowie der Hantelgeschwindigkeit nach oben (VHO).

Tab. 12: Signifikante Korrelation zwischen ($P < 0.5$) zwischen E_{musOK} , E_{musUEX} , HG, VHO, VHU, KSPFB, HHFBP, KSPFB, VKSP0 und VKSPU

Variablen	E_{musOK} (j)	HG (kg)	VHO (m/s)	HHFBP (m)	VKSP0 (m/s)	VKSPU (m/s)
E_{musOK} (j)	–	0.40				
E_{musUEX} (j)	0.79	0.51				
E_{mus} (j)		0.50				
HHFBP (m)			0.61	–		
KSPFB (m)		-0.37	0.47	0.73		
VKSP0 (m/s)			0.49		–	-0.71
VKSPU (m/s)			0.79			–
VHU (m/s)					-0.45	

Tabelle 12 zeigt die Korrelation nach Pearson.

1. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Hantelgeschwindigkeit nach oben (VHO) und der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben (VKSP0) für die Hantelgeschwindigkeit nach oben (VHO).
2. Es gibt eine negative signifikante Korrelation zwischen der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben (VKSP0) und der Hantelgeschwindigkeit nach unten (VHU) für die Hantelgeschwindigkeit nach unten (VHU).
3. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Hantelgeschwindigkeit nach oben (VHO) und der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten (VKSPU) für die Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten (VKSPU).
4. Es gibt eine negative Korrelation zwischen der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben (VKSP0) und der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten (VKSPU) für den Körperschwerpunkt nach oben (VKSP0).
5. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Hantelgeschwindigkeit nach oben (VHO) und der Körperschwerpunktflugbahn (KSPFB) für die Körperschwerpunktflugbahn (KSPFB).
6. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Hantelgeschwindigkeit nach oben (VHO) und der Hantelflugbahn (HHFBP) für die Hantelflugbahn (HHFBP).

7. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Hantelflugbahn (HHFBP) und der Körperschwerpunktflugbahn (KSPFB) für die Hantelflugbahn (HHFBP).
8. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Muskelenergie des Oberkörpers (E_{musOK}) und der Muskelenergie der unteren Extremitäten (E_{musUEX}) für die Muskelenergie des Oberkörpers (E_{musOK}).
9. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Muskelenergie des Oberkörpers (E_{musOK}) und des Hantelgewichts (HG) für die Muskelenergie des Oberkörpers (E_{musOK}).
10. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Muskelenergie der unteren Extremitäten (E_{musUEX}) und des Hantelgewichts (HG) für die Muskelenergie der unteren Extremitäten (E_{musUEX}).
11. Es gibt eine positive signifikante Korrelation zwischen der Muskelenergie (E_{mus}) und des Hantelgewichts (HG) für die Muskelenergie (E_{mus}).
12. Es gibt eine negative Korrelation zwischen der Körperschwerpunktflugbahn nach oben (KSPFB) und des Hantelgewichts (HG) für die Körperschwerpunktflugbahn (KSPFB).

Tabelle 13 zeigt die Effizienz ($E_{\text{mus}}/ E_{\text{potH}}$) für jeden Probanden sowie die Mittelwerte und die Minimum- und Maximum-Werte.

Tab. 13: Effizienz für jeden Probanden sowie Mittelwerte und die Minimum-, Maximum-Werte

Probanden	$\bar{X} E_{\text{mus}} (j)$	$\bar{X} E_{\text{potH}} (j)$	Effizienz
BR	6140.32	1889.50	3.25
OH	11467.04	1401.02	8.18
G2	5788.54	1298.65	4.46
G3	5002.84	1081.78	4.62
G5	7078.67	1186.37	5.97
G6	5968.44	1206.89	4.95

Tabelle 13 zeigt die Parameter Muskelenergie und potentielle Energie der Hantel charakterisieren die Technik. Die Charakterisierung einer Technik im Bereich Gewichtheben wird in der vorliegenden Arbeit als die Beziehung zwischen Muskelenergie und potentieller Energie der Hantel verstanden. Dieses Verhältnis für eine spezifische Bewegung kann nicht nur zeigen, welche Beziehung stärker ist, sondern auch in wieweit dieses Größenverhältnis dargestellt werden kann. Dieses Verhältnis wurde in dieser Untersuchung als Effizienz bezeichnet.

Die Abbildung 46 zeigt die Effizienz für jeden Gewichtheber alleine in Bezug auf das Hantelgewicht wie in Abbildung 47 sowie den Unterschied der Effizienz bei jedem Gewichtheber und anderen Probanden.

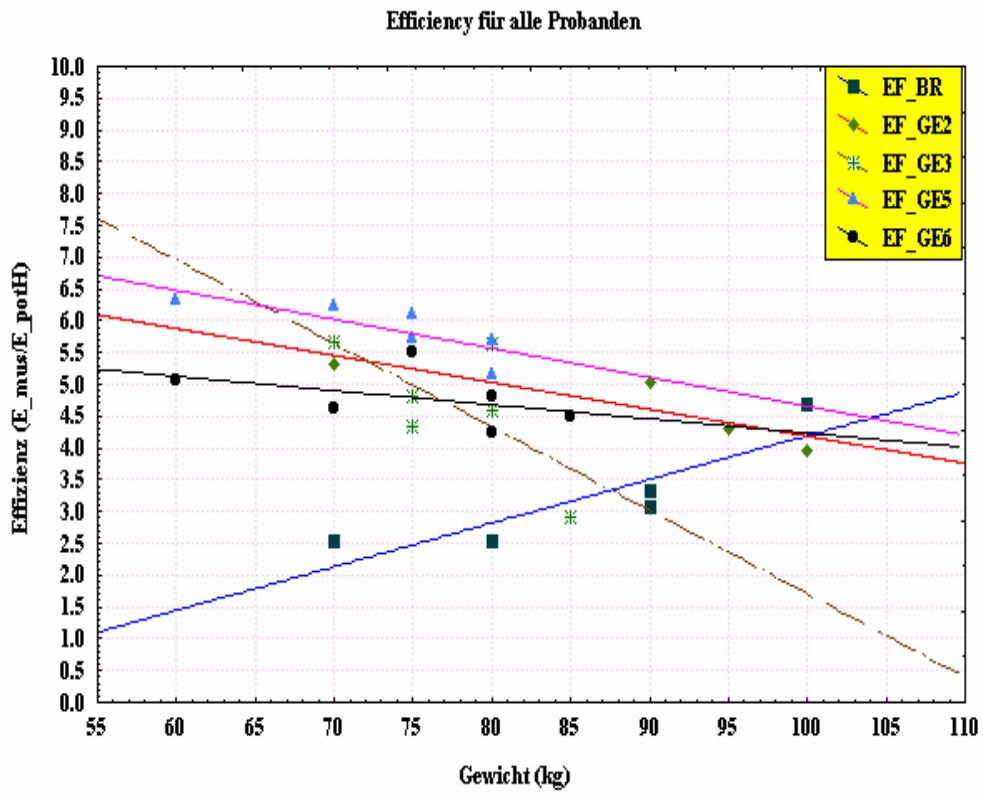


Abb. 46: Individuelle Effizienz für jeden Gewichtheber in Abhängigkeit vom Hantelgewicht

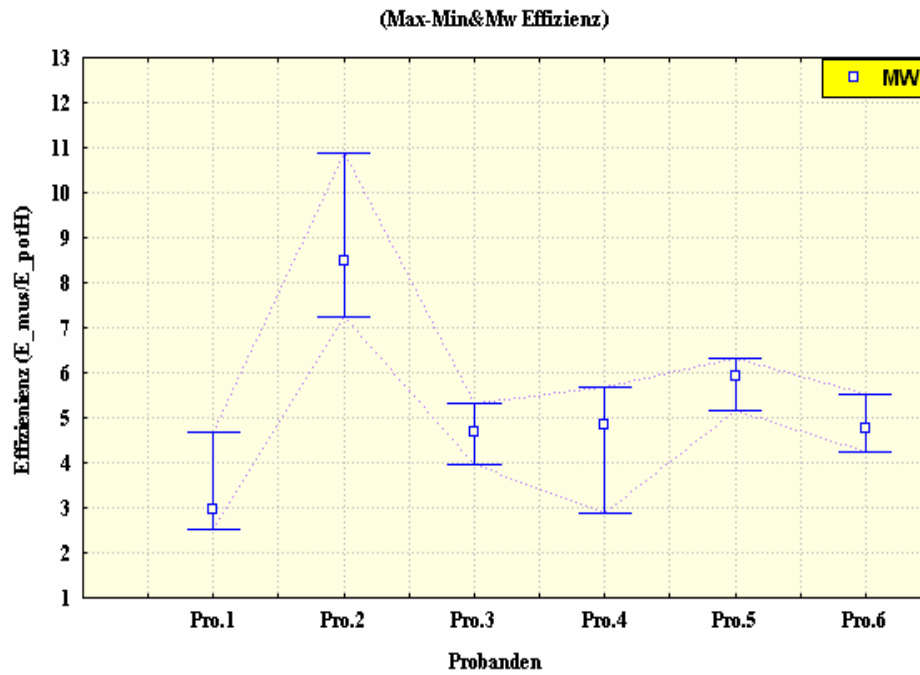


Abb. 47: Mittelwerte, Maximum- und Minimum-Effizienzwerte für jeden Probanden

5 Diskussion

Aufgrund der unterschiedlichen unten beschriebenen Parameter, die sich auf das Gewichtheben beziehen und aufgrund der Kontroverse bei der Interpretation der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen ist es notwendig, die Parameter, die mit verschiedenen Etappen einer Analyse einhergehen, zu erläutern. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde die Verfahrensanalyse, die sich auf die Methode bezieht, bearbeitet. Diese Verfahrensanalyse wurde in vier verschiedene Etappen geteilt.

5.1 Bestimmte Parameter der Computersimulation

Der erste Schritt ist die Erläuterung der Parameter der Computersimulation, an der das Gewichtheben gezeigt werden kann. Die Computersimulation als eine biomechanische Diagnosemethode für das Gewichtheben hat Ergebnisse, die in Tabelle 7 dargestellt sind. Zwischen dem Verhältnis von Körpergröße und Hantelflughöhe besteht eine bestimmte Beziehung. Zu diesem Ergebnis kamen auch BAUMANN et al. (1988) und ISAKA et al. (1996). Auch sie konstatierten als entscheidende Methode für gute Technik, wenn der Gewichtheber die Hantel nicht zu hoch über seinen Körper bringt. Abbildung 40 zeigt auch die Unterschiede der Hantelflughöhe aller Probanden bei Versuchen mit 70 kg. Abbildung 41 zeigt die Hantelflughöhe von jedem Probanden bei jedem Versuch. Dieses Ergebnis entspricht dem von BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999) und BAUMANN et al. (1988). Das bedeutet für die vorliegenden Ergebnisse, dass die Computersimulation die unterschiedlichen Hantelflughöhen von jedem Probanden darstellen kann. Die Hantelflughöhe als entscheidende Methode für die Technik beim Gewichtheben wurde bereits in der Literatur von HANA (1970), CARL (1976), ŽEKOV (1976), VOROBIEV (1984) und LEAR (1991) beschrieben. Mit dieser Methode kann der Trainer die Technik seiner Athleten beurteilen und sie auch mit anderen Techniken von Spitzenathleten und bei Weltmeisterschaften gezeigten Techniken vergleichen. Wenn jedoch der Sportler bei jedem Versuch eine andere Technik zeigt, wie in Abbildung 41 dargestellt, bedeutet dies, dass der Gewichtheber keine konstante Technik aufweist. In diesem Fall verbraucht er auch seine körperlichen Fähigkeiten beim Training, ohne Einfluss auf das Gewicht zu haben. Deswegen benötigen Trainer und Sportler eine Methode, mit der sie die aktuellen Informationen über den Gewichtheber ansehen, die Unterschiede bestimmen sowie Fehler vermeiden und die Hilfsübung für den Gewichtheber einrichten können. Dadurch kann eine konstante Technik erreicht werden. Aus diesem Grund wird die Computersimulation als Diagnostikmethode für Gewichtheben benutzt, weil sie genauso Ergebnisse zeigt wie die Methoden anderer Wissenschaftler wie HÄKKINEN et al. (1984), BAUMANN et al. (1988), ISAKA et al. (1996) und BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999).

Deswegen zeigt die erste Hypothese (Wird die für den Athleten individuelle Computersimulation erfolgreich als eine biomechanische Diagnosemethode für das Gewichtheben angewandt?) in Verbindung mit den Ergebnissen dieser Arbeit und anderer Aufsätze, dass die Computersimulation, wie sie in dieser Arbeit durchgeführt wurde, als Diagnosemethode für Gewichtheben geeignet ist.

5.2 Korrelation zwischen der Hantel und der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben und unten sowie der Muskelenergie, Hantelflughahn und Hantelgewicht

Die zweite Etappe der Verfahrensanalyse ist diejenige, die sich auf die Hantelgeschwindigkeit sowie die Körpergeschwindigkeit nach oben und unten bezieht oder sie beeinflusst. Die Hantelgeschwindigkeit und Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben und unten hat Einfluss auf die Leistung des Gewichthebers und andere biomechanische Variablen wie die Hantelflughahn und Muskelenergie.

Tabelle 12 zeigt eine positive, signifikante Korrelation zwischen der Hantelgeschwindigkeit nach oben und der Hantelflughahn. Dieses Ergebnis entspricht dem von VOROBIEV (1984), LEAR (1991) und ZAHRAN (1992), wonach die Hantelgeschwindigkeit nach oben den höchsten Punkt der Hantelflughahn beim Reißen beeinflusst.

Diese Beziehung zeigt auch, wie weit ein Gewichtheber mit seiner Technik die Hantel mit Geschwindigkeit an die richtige Stelle bringen kann und in welcher Zeit er unter die Hantel geht, damit er mit voller Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten gehen und die Hantel im höchsten Punkt blockieren kann. Aus diesem Grund haben bereits mehrere Forscher diese Beziehung untersucht. Es gibt eine Beschreibung davon bei SOLOKOV (1981) und ISAKA et al. (1996).

Tabelle 12 zeigt eine positive, signifikante Korrelation zwischen der Hantelflughahn und Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben. Dieses Ergebnis entspricht dem von BAUMANN et al. (1988) und ISAKA et al. (1996), wonach die Hantel und der Körperschwerpunkt wie ein System nach oben gehen, bis die Hantel ihre Maximalgeschwindigkeit erreicht, dann beginnt der Gewichtheber, nach unten zu gehen (Umgruppierungsphase). Das bedeutet, wenn ein Gewichtheber seinen Körperschwerpunkt mit dem Hantelschwerpunkt verbindet und dann mit voller Geschwindigkeit des gesamten Systems nach oben geht, hat er keine Möglichkeit zum richtigen Zeitpunkt unter die Hantel zu kommen. Für diese Aussage gibt es bereits Hinweise bei WEIDE (1989), LEAR (1991) und BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999). Tabelle 12 zeigt auch eine negative Korrelation zwischen der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach unten und der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben. Das Hauptziel bei der zweiten Zugphase ist, die Maximalhantelgeschwindigkeit in Verbindung mit der Körperschwerpunktgeschwindigkeit zu erreichen. Wenn ein Gewichtheber die Körperschwerpunktgeschwindigkeit mehr als nötig verlängert, so hat er keine Möglichkeit, seinen Körper auch während der Umgruppierungsphase in die richtige Position zu bringen, damit er die Hantel im höchsten Punkt blockieren kann. Dieses Ergebnis entspricht der Beschreibung der Umgruppierungsphase bei AJÁN & BAROGA (1988), LEAR (1991) und ISAKA et al. (1996).

Auch Tabelle 12 zeigt eine negative, signifikante Korrelation zwischen der Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben und der Hantelgeschwindigkeit nach unten. Das bedeutet, dass der Gewichtheber nach der Umgruppierungsphase nicht mit voller Kniebeuge unten bleibt bis die Hantel auf seine Hände sinkt. Er soll so schnell

wie möglich nach oben gehen, damit die Hantel mit der niedrigsten Geschwindigkeit nach unten blockiert werden kann. Diese Aussage ist wie die Beschreibung der Fixierungsphase auch bei HANA (1970) und ŽEKOV (1996) zu finden. Dieselbe Tabelle zeigt eine positive, signifikante Korrelation zwischen dem Hantelgewicht und der Muskelenergie – der Muskelenergie des Oberkörpers und der Muskelenergie der unteren Extremität. Dieses Ergebnis entspricht dem von GARHAMMER (1984), wonach ein Gewichtheber mehr Energie verbraucht je schwerere Gewichte er gehoben hat.

Nach VOROBIEV (1984) arbeiten die Muskeln und Gelenke der unteren Extremität beim Gewichtheben mehr mit vollen Kniebeugen als der Oberkörper, die Gelenke und Muskulatur. Deswegen muss die Hilfsübung beim Trainingsplan für die untere Extremität mehr Prozent haben als die für den Oberkörper. Nach SOKOLOV (1984) und ENOKA (1988) ist es beim Training für Gewichtheber wichtig, die Koordination zwischen der Muskulatur der unteren Extremität und der Oberkörpermuskulatur zu finden. Tabelle 12 zeigt eine negative, signifikante Korrelation zwischen dem Hantelgewicht und der Körperschwerpunktflugbahn. Dieses Ergebnis entspricht den Aussagen von GARHAMMER (1985) und HÄKKINEN et al. (1984). Es ist nicht so wichtig, die Körperschwerpunktflugbahn, sondern die Hantelgeschwindigkeit mit höchstem Gewicht nach oben zu bringen, dies besonders während der zweiten Zugphase zu erreichen und in derselben Zeit den Körperschwerpunkt nach unten zu bringen, damit der Gewichtheber die Hantel oben blockieren, fixieren und dann ganz ruhig aufstehen kann. Aus allen Ergebnissen dieses Kapitels geht hervor, dass die Computersimulation wie die anderen Methoden auch die wichtigsten biomechanischen Parameter (Hantelgeschwindigkeit, Körperschwerpunktgeschwindigkeit, Hantelflugbahn, Körperschwerpunktflugbahn und Muskelenergie) darstellt, die bei der Technik des Gewichthebens eine Korrelation bilden. Das bedeutet, dass die Computersimulation als Diagnosemethode für Gewichtheben den Wissenschaftlern und Trainern hilft, damit sie mehrere Variablen untersuchen und sich die richtige Meinung über die Technik ihrer Athleten bilden können.

5.3 Muskelenergie als Entscheidungsfaktor für die Technik beim Gewichtheben

Die dritte Etappe besteht aus den Parametern Muskelenergie und potentieller Energie der Hantel, die die Technik charakterisieren. Die Charakterisierung einer Technik im Bereich des Gewichthebens wird in der vorliegenden Arbeit als die Beziehung zwischen Muskelenergie und potentieller Energie der Hantel verstanden. Dieses Verhältnis für eine spezifische Bewegung kann nicht nur zeigen, welche Beziehung stärker ist, sondern auch in wieweit dieses Größenverhältnis dargestellt werden kann. Dieses Verhältnis wurde in dieser Untersuchung als „Effizienz“ bezeichnet. Durch diese Effizienz kann der Trainer und Wissenschaftler im Bereich Gewichtheben als Entscheidungsfaktoren Vergleiche zwischen mehreren Gewichthebern oder bei einem Gewichtheber mit mehreren Versuchen untersuchen.

Die Abbildung 47 zeigt die Effizienz für jeden Gewichtheber alleine in Verbindung mit den Versuchen und gehobenen Gewichten. Abbildung 48 zeigt den Unterschied der Effizienz zwischen allen Probanden. Mit anderen Worten kann der Trainer sagen, dass

ein Gewichtheber, der mit weniger Energie die Hantel hebt, besser ist als ein anderer, der auch dasselbe Gewicht mit höherer Muskelenergie hebt. Dieses Ergebnis entspricht dem Ergebnis bei ENOKA (1976), GARHAMMER (1984) und FUNATO et al. (1996). Wenn ein Gewichtheber mit guter Technik heben kann, verbraucht er weniger Muskelenergie in Verbindung mit seiner Anthropometrie und seiner Technikeigenschaft. Dann sind nach GARHAMMER die Muskelenergiekurven bereits mit der Hantelflugbahn verbunden, das bedeutet, wenn die Hantel hochgeht, steigt die Muskelenergie bis zur zweiten Zugphase langsam an, dann steigt sie schnell nach oben bis zum Ende der Umgruppierungsphase. Danach bleibt sie konstant.

Abbildung 44 zeigt ebenfalls Muskelenergiekurven für alle Probanden bei den Versuchen mit 70 kg, die unterschiedliche Muskelenergie der Probanden bei jedem Versuch wird in Abbildung 45 dargestellt. Das bedeutet, die Computersimulation als Diagnostikmethode, wie sie in der vorliegenden Arbeit dargestellt wurde, zeigt die Muskelenergie in Verbindung mit der Probandeneigenschaft (Anthropometrie und Technik). Von der Computersimulation aus kann die potentielle Energie der Hantel berechnet werden, und mit der Muskelenergie, wie die Arbeit von ZAHARAN et al. (2002) zeigte, kann die Effizienz berechnet werden. Effizienz wiederum kann als entscheidende Methode für Technikqualität beim Gewichtheben benutzt werden (Technikqualität bedeutet weniger Energie beim Heben).

Auch das Ergebnis der Tabelle 10 zeigt eine Beziehung zwischen dem Hantelgewicht und der Muskelenergie, die als Vergleichsmethode mit anderen Gewichthebern durchgeführt werden kann. Das Ergebnis der Hypothese 3 lautet, dass Effizienz bei der Beurteilung der Technik des Gewichthebers eine entscheidende Rolle spielt.

5.4 *Computersimulation als individuelle Technikunterscheidung*

Die vierte Etappe besteht aus den Parametern, die Individuen charakterisieren. Die individuelle Charakterisierung für die Hantelflugbahn, Hantelgeschwindigkeit und Effizienz sind bei der Computersimulation eine entscheidende Methode für die Technik im Gewichtheben. Die Computersimulation zeigt uns Ergebnisse, mit deren Hilfe die individuelle Technik beurteilt werden kann. Über die individuelle Technik im Gewichtheben haben bereits Wissenschaftler wie CARL (1976), ŽEKOV (1976), GARHAMMER (1982), VOROBIEV (1984), AJÁN/ BAROGA (1988), BAUMANN et al. (1988), WEIDE (1989), LEAR (1991) und BÖTTCHER/ DEUTSCHER (1999) publiziert. Sie beschreiben Gewichtheben als Individualsportart, in der jeder Gewichtheber seine eigene Technik im Verhältnis zu seiner Körpergröße und seinen anthropometrischen Eigenschaften zeigt. Damit ein Gewichtheber Teilnehmer einer Weltmeisterschaft sein kann, muss er die Technik an seine körperlichen Fähigkeiten und die Anthropometrie anpassen. Das bedeutet, jeder Gewichtheber zeigt andere Formen der Hantelflugbahn und Körperschwerpunktflugbahn. Von diesem individuellen Einfluss erhält jeder Gewichtheber individuelle biomechanische Parameter, mit denen der Trainer seine Technik im Trainingsprozess beobachten kann. Obwohl in der Literatur zahlreiche Beschreibungen sowohl der Technik im Gewichtheben als auch der biomechanischen Parameter vorliegen, gibt es jedoch keine Methode, die direkte Ergebnisse des

Gewichthebens zeigt. In der vorliegenden Untersuchung zeigt die Computersimulation nicht nur die Unterschiede zwischen Probanden, sondern auch die Unterschiede bei jedem Versuch, den die Probanden gemacht haben. Die Abbildung 41 zeigt die Unterschiede der Hantelflugbahnen zwischen allen Probanden und auch jedem einzelnen Probanden. Die Abbildung 44 zeigt die Unterschiede der Muskelenergie bei jeder Versuchsperson und zwischen allen Probanden im Versuch 70 kg. Das bedeutet, die Methode der vorliegenden Arbeit (Computersimulation als Diagnostikmethode beim Gewichtheben) wird als sensitiv für intra-individuelle Technikunterschiede angesehen und bestätigt somit die Hypothese 4.

Aus allen Ergebnissen und Diskussionen geht hervor, dass die Computersimulation im Gewichtheben als Diagnosemethode benutzt werden kann, weil sie im Vergleich zu anderen Methoden die gesamten Variablen berechnen kann, wie in der vorliegenden Untersuchung gezeigt wurde. Computersimulation hat den Vorteil, dass die Ergebnisse im Computer als 3-D-Modelle vorliegen und in verschiedenen Formen wie AVI-File gespeichert werden können. Sie hat jedoch den Nachteil, dass diese Methode noch in weiteren zukünftigen Arbeiten und mit mehr Probanden erprobt werden muss.

6 Zusammenfassung

Gewichtheben ist eine Sportart, in der durch Technik und körperliche Fähigkeiten Bestleistungen im Wettbewerb erzielt werden können. In den letzten 10 Jahren gab es bei den Weltrekorden in den verschiedenen Gewichtsklassen große Unterschiede. Deswegen entwickelten zahlreiche Wissenschaftler ein Interesse daran, die Beziehung zwischen Technik und Bestleistung in dieser Sportart zu untersuchen. Obwohl die Technik für Gewichtheben seit langem besteht, hat bisher noch niemand diese Technik mit einer Methode wie Computersimulation bestimmt. Deshalb will die vorliegende Arbeit eine Methode mit neuer Technologie (Computersimulation und 3-D-Modelle) die Technik im Gewichtheben untersuchen.

Ziel der Arbeit ist, die Computersimulation als Diagnostikmethode beim Gewichtheben zu etablieren, damit der Trainer im Laufe der Saison verschiedene Technikfehler korrigieren und den Trainingsplan für seine Sportler erstellen kann.

Die Hypothesen der Untersuchung sind folgende:

- Wird die für den Athleten individuelle Computersimulation erfolgreich als eine biomechanische Diagnosemethode für das Gewichtheben angewandt?
- Welche Beziehung besteht zwischen der Hantelgeschwindigkeit, Körperschwerpunktgeschwindigkeit, dem Hantelgewicht und der Hantelflugbahn sowie der Muskelenergie?
- Ist die Effizienz (Beziehung zwischen Muskelenergie und potentieller Energie der Hantel) entscheidend bei der Beurteilung der Technik des Gewichthebers?
- Kann Computersimulation sensitiv für intra-individuelle Technikunterschiede angewendet werden?

Um das Ziel der Arbeit zu erreichen und die Hypothesen zu beantworten, wurde die folgende Methode benutzt:

1. Videoaufnahme von sechs Probanden mit fünf Kameras und 50 Halbbildern pro Sekunde für die Technik im Reißen. Zuerst wurde ein Kubus als Koordinatensystem mit 18 Punkten aufgenommen.
2. Die Filmaufnahmen wurde mit dem APAS-System in folgenden Schritten bearbeitet:
 - Überspielen der Aufnahmen auf den Computer mit Hilfe des APAS-Capture-Moduls.
 - mit Hilfe des Moduls „Trim“ wurden die Aufnahmen synchronisiert und geschnitten.
 - mit Hilfe des Moduls „Digitize“ wurde die Datei in Verbindung mit dem entsprechenden Koordinatensystem (Kubus mit 18 Punkten) digitalisiert.
 - Mit Hilfe des Moduls „Transform“ wurde die Datei als 3-D transformiert.
 - Mit Hilfe des Moduls APAS-Text wurde die Datei als APA-File verändert.

3. Ein Modell mit HANAVAN-Eigenschaften wurde mit Hilfe des Systems Human Builder und SDS für jeden Sportler mit seiner digitalisierten Datei und seinen anthropometrischen Daten simuliert.
4. Die durch SDS erhaltenen biomechanischen Variablen wurden mit dem Programm Statistica 5 bearbeitet.

In Verbindung der Methode und der Eigenschaften der Probanden dieser Arbeit entstanden folgende Ergebnisse:

1. Computersimulation kann als bestimmende Methode für Gewichtheben beim Reißen verwendet werden.
2. Es gibt eine signifikante positive Korrelation ($P < 0.05$) zwischen VHO und VKSPO für die VHO, VHO und VKSPU für VKSPU, VHO und KSPFB für KSPFB, VHO und HHFBP für HHFBP, E_musOK und E_musUEX für E_musOK, E_musOK und HG für E_musOK sowie E_mus und HG für E_mus.
3. Es gibt eine signifikante negative Korrelation ($p < 0.05$) zwischen VKSPO und VHU für VHU, VKSPO und VKSPU für VKSPO und KSPFB und HG für KSPFB.
4. Durch Computersimulation konnte die Effizienz für jeden Probanden berechnet werden.
5. Computersimulation ist eine Methode, die die individuellen Unterschiede zwischen verschiedenen Versuchen mit verschiedenen Leistungen beurteilen kann.

In Verbindung der Methode und der Eigenschaften der Probanden sowie der Ergebnisse dieser Arbeit sollen künftig

1. mehrere Projekte mit dieser Methode für das Umsetzen und Stoßen beim Gewichtheben durchgeführt werden,
2. Verbesserungen für die Computersimulation erzielt werden, um mehr Validitätsergebnisse zu bekommen,
3. Die Methode mit verschiedenen Gewichthebern und verschiedenen Gewichtsleistungen durchgeführt werden,
4. Projekte mit verschiedenen Methoden wie Kraftmessplatte, Elektromyographie (EMG), Goniometer und Computersimulation durchgeführt werden, damit die Ergebnisse mehrerer Systeme verglichen werden können und
5. Computersimulation als bestimmende Methode zur Beurteilung der Technik in verschiedenen Trainingsphasen genutzt werden.

7 Literatur

- AJÁN, T./ BAROGA, L.: Weightlifting – Fitness for all Sports. Budapest 1988
- AMOSOV, N. M.: Modelirovanie myslenija i psichiki. Kiev 1965
- BALLREICH, R./ BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports: Probleme, Methoden, Modelle. 2. Aufl. Stuttgart 1996
- BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik. Schorndorf 1989
- BAUMANN, W./ GROSS, V./ QUADE, K./ GALBIERZ, P./ SCHWIRTZ, A.: The Snatch Technique of World Class Weightlifters at the 1985 World Champions. In: International Journal of Sport Biomechanics 4 (1988), 68-89
- BÖTTCHER, J./ DEUTSCHER, E.: Biomechanische Ergebnisse zur Bewegungstechnik im Gewichtheben (Reißen). In: Leistungssport 29 (1999) 4, 55-62
- BUNDESVERBAND DEUTSCHER GEWICHTHEBER (BVDG): Unterlagen für Gewichtheben. Leimen 2002
- CARL, G.: Gewichtheben. 3. Aufl. Berlin 1976
- DECKER, W./ HERB, M.: Bildatlas zum Sport im alten Ägypten. Leiden/ New York/ Köln 1994
- ENOKA, R. M.: Load- and Skill-Related Changes in Segmental Contributions to a Weightlifting Movement. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 2, 178-187
- ENOKA, R. M.: The Pull in Olympic Weightlifting. In: Medicine and Science in Sports 11 (1979) 2, 131-137
- FUNATO, K./ MATSUO, A./ FUKANAGA, T.: Specific Movement Power Related to Athletic Performance in Weight Lifting. In: Journal of Applied Biomechanics 12 (1996) 1, 44-57
- GARHAMMER, J.: Biomechanical Profiles of Olympic Weightlifters. In: International Journal of Sport Biomechanics 1 (1985) 2, 122-130.
- GARHAMMER, J.: Energy Flow during Olympic Weight Lifting. In: Medicine and Science in Sports & Exercise 14 (1982) 5, 353-360
- HÄKKINEN, K./ KAUKANEN, H./ KOMI, P. V.: Biomechanical Changes in the Olympic Weightlifting Technique of the Snatch and Clean & Jerk from Submaximal to Maximal Loads. In: Scandinavian Journal of Sports 6 (1984) 2, 57-66
- HANA, G.: Weightlifting. Kairo 1970
- HOCHMUTH, G.: Biomechanik sportlicher Bewegungen. 4. Aufl. Berlin 1981
- ISAKA, T./ OKADA, J./ FUNATO, K.: Kinematic Analysis of the Barbell during the Snatch Movement of Elite Asian Weightlifters. In: Journal of Applied Biomechanics 12 (1996) 4, 508-516
- IWF: IWF-Handbook. Budapest 2001

- KLÜMPER, A.: Sporttraumatologie: Handbuch der Sportarten und ihrer typischen Verletzungen, Bd. 1. Landsberg 1998
- LEAR, J.: Skilful Weightlifting. London 1991
- MEDVEDEV, A. S./ MASALGIN, N. A./ FROLOV, V. I./ HERRARA, A. G.: The Interrelationships between Various Parameters in Jerking the Barbell from the Chest. In: Teorija i Praktika Fizicheskoi Kultury 44 (1981) 6, 32-35
- MEDVEDEV, A. S./ MELKONJAN, A. A. et al.: Experimentelle und theoretische vergleichende Analyse der Technik des Gewichthebens. In: Teorija i Praktika fizicheskoi Kultury 47 (1984) 10, 8-9
- PACHOMOV, V. G.: Zur Variabilität einiger äußerer und innerer Merkmale von Bewegungen bei genormter Kraftarbeit. o. O. 1969
- PERSON, R. S.: Elektromyografie bei Untersuchungen des Menschen. Moskau 1969
- ROMAN, R. A.: Räumliche Bewegungsgenauigkeit des Gewichthebers und ihrer Ausbildung sowie die Bedeutung des Bewegungsanalysators. Moskau 1965
- SOKOLOV, L. N.: Improving the Technical Mastery of Weightlifters. In: Tyazhelaya Atletika 5 (1976), 32-35
- DER SPORT-BROCKHAUS. Alles vom Sport von A bis Z. 4. Aufl. Wiesbaden 1984
- VIETEN, M. et al.: Muscle Energy of Tennis-Stops with Different Movement Patterns. In: RIEHLE, H./ VIETEN, M. (Hrg.): Proceedings I of the XVI ISBS Symposium. Konstanz 1998, 387-390
- VIETEN, M./ RIEHLE, H.: Calculation of Metabolic Power in Level Surface Running using the Joint Power Method. In: BARABAS, A. (Hrg.): Proceedings of the XII ISBS Symposium. Budapest 1994, 248-251
- VIETEN, M./ RIEHLE, H.: Energy Expenditure during Running Calculated from cinematographic data. In: BAUER, T. (Hrg.): Proceedings of the XIII ISBS Symposium. Thunder Bay, Ontario 1995, 202-205
- VIETEN, M.: Human Builder. Manuskript. Universität Konstanz 1991
- VOROBIEV, A.N.: Gewichtheben. Berlin 1984
- WEBSTER, D.: Preparing for Competition Weightlifting. Huddersfield 1986
- WEIDE, U.: Mathematische Modellierung und Simulation in der Sportart Gewichtheben: Ein Beitrag zur weiteren Vervollkommnung der biomechanischen Begründung der Sollbewegungsstruktur für die Wettkampfübung Reißen. Leipzig 1989
- ZAHRAN, K.: The Relationship between Some Special Physical Qualities of Numerical Level Egyptian Confederation Weight Lifters. Magisterarbeit. El Minia (Ägypten) 1992
- ZAHRAN, K. et al.: Quantification of Technical Skills in Weightlifting. In: GIANIKELLIS, K. E. (Hrg.): Scientific Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports. Cáceres 2002, 478

ŽEKOV, I.P.: Biomechanik der Gewichtheberübungen. Moskau 1976.

8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Weltrekorde von 1998 – 2002. Mittelwerte der zehn besten Gewichtheber jeder Gewichtsklasse (IWF)	4
Abb. 2: Ausgangsstellung für das Reißen (IWF 2003)	12
Abb. 3: Optimale Ortskurve der Hantel (BVDG 2002)	16
Abb. 4: Auswirkung der Verlagerung des Schultergürtels nach vorn über die Hantel auf die Krafrichtung (VOROBIEV 1984, 55)	16
Abb. 5: Die erste und zweite Zugphase (AJÁN / BAROGA 1988, 53)	17
Abb. 6: Umgruppieren, Hocke und Aufstehen (AJÁN/ BAROGA 1988, 54)	18
Abb. 7: Ortskurve der Hantel beim Umgruppieren bis zur Hocke (LEAR 1991, 34)	19
Abb. 8: Körperposition in der Umgruppierungsphase (IWF 2003)	20
Abb. 9: Körperposition beim Aufstehen in der Umgruppierungsphase (IWF 2003)	21
Abb. 10: Aufstehen aus der Hocke. System "Gewichtheber – Hantel" als automatisches Regelsystem (VOROBIEV 1984, 82)	22
Abb. 11: Typische Kurve der Hantelgeschwindigkeit bei der Zugbewegung qualifizierter Heber: 1 = erste Zugphase, 2 = zweite Zugphase, 3 = Einnahme der Hocke, 4 = Maximalgeschwindigkeit der Hantel, 5 = Geschwindigkeitsanstieg der Hantel durch die 2. Zugphase, 6 = Geschwindigkeitsverlust beim Knieunterschieben, 7 = Höchstgeschwindigkeit in der ersten Zugphase (ŽEKOV 1976, 123)	26
Abb. 12: Keine deutliche Zwei-Phasenstruktur der Zugbewegung des Gewichthebers (ŽEKOV 1976, 123). V_{max} = Maximalgeschwindigkeit der Hantel	27
Abb. 13: Einfluss der Hantelposition auf die Maximalgeschwindigkeit. OA = Unterschenkel; AB = Oberschenkel; BC = Rumpf; G = Hantelgewicht; V, V1 und V2 = vertikale Komponente der Umfangsgeschwindigkeit; V0, V01 und V02 der Punkte C, C1 und C2 des Rumpfes bei einem Neigungswinkel der Arme von α und α_1 zur Senkrechten (ŽEKOV 1976, 135)	29
Abb. 14: Hantelflugbahntypen verschiedener Gewichtheber in unterschiedlichen Gewichtsklassen (ŽEKOV 1976, 138)	31
Abb. 15: Zerlegung der Bahngeschwindigkeit (V_0) der Hantel in ihre senkrechte (V_y) und waagrechte (V_x) Komponente (ŽEKOV 1976, 140)	32
Abb. 16: Koordinatensystem (Kubus) mit 18 Punkten	35
Abb. 17: Struktur des Hanavan-Modells mit 15 Segmenten (VIETEN, Human Builder 1991)	37
Abb. 18: Markerpunkte am Probanden	57
Abb. 19: Der Versuchsaufbau	58
Abb. 20: Raumkoordinatensystem (Kubus) mit 18 Punkten	59
Abb. 21: Alle Module des APAS-Systems 2001	61
Abb. 22: Synchronisierung und Abschneiden im Trimm-Modul	63
Abb. 23: Neues Projekt im APAS-System	64
Abb. 24: New View im APAS-System	65
Abb. 25: Digitalisierung des Kubus im APAS-System	66

Abb. 26: APAS: Invisible Points im APAS-System	67
Abb. 27: Verbindung der Marker beim Digitalisieren im APAS-System	67
Abb. 28: Markerposition am Ende der Digitalisierungssequenz	68
Abb. 29: APAS: Transfer der Daten durch das Transfermodul im APAS-System	69
Abb. 30: Datenkonvertierung als APA-File im APAS-System	70
Abb. 31: Datenbank der Anthropometrie in Human Builder	72
Abb. 32: Datenbank des Animation Files in Human Builder	73
Abb. 33: Reihenfolge der zu digitalisierenden Punkte in Human Builder	74
Abb. 34: Filtermodul in Human Builder	75
Abb. 35: Graphikmodul in Human Builder	76
Abb. 36: Datenbank des Project Centers in Human Builder	78
Abb. 37: Ansicht des Simulation-Files in SDS	79
Abb. 38: Schnellansicht der biomechanischen Variablen in SDS	80
Abb. 39: Die Beziehung zwischen den Mittelwerten der höchsten Hantelflugbahnen und der Körpergröße für jeden Probanden	82
Abb. 40: Hantelflugbahnen für alle Probanden mit 70 kg	82
Abb. 41: Hantelflugbahnen für jeden Probanden	83
Abb. 42: Hantel- und Körperschwerpunktgeschwindigkeit nach oben und unten	85
Abb. 43: Die Beziehung zwischen den Mittelwerten der Muskelenergie und der Körpergröße für jeden Probanden	86
Abb. 44: Muskelenergie für alle Probanden beim Versuch mit 70 kg	87
Abb. 45: Muskelenergie für jeden Probanden bei allen Versuchen	88
Abb. 46: Individuelle Effizienz für jeden Gewichtheber in Abhängigkeit vom Hantelgewicht	91
Abb. 47: Mittelwerte, Maximum- und Minimum-Effizienzwerte für jeden Probanden	91

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Die Gewichtsklassen für Männer und Frauen	1
Tab. 2: Rekorde der Weltmeisterschaften (1998-2002) in jeder Gewichtsklasse beim Reißen, Umsetzen und Stoßen sowie beide Übungen in Kilogramm und Prozent (Prozent ist Total/Körpermasse) (IWF 2002)	2
Tab. 3: Durchschnittsgeschwindigkeit von jedem Versuch in beiden Phasen	9
Tab. 4: Verhältnis der Bewegungsgeschwindigkeiten der Hantel in der 1. und 2. Zugphase (ŽEKOV 1976, 124)	27
Tab. 5: Gewicht, Größe, Altersverteilung und Trainingsalter der Versuchspersonen sowie ihre Bestleistung im Reißen. N = Anzahl der Probanden, \bar{X} = Mittelwert, Min = niedrigste Werte, Max = höchste Werte, σ = Standardabweichung	56
Tab. 6: Beschreibende Statistik des HHFBP und des KSPFB (N = Sammlung; \bar{X} = Mittelwert; Min = niedrigster Wert; Max = höchster Wert; σ = Standardabweichung)	81
Tab. 7: Die beschreibende Statistik der Höhe der Mittelwerte der (\bar{X} HHFBP) und der Körpergröße (KG) sowie die Standardabweichung (σ)	81
Tab. 8: Beschreibende Statistik der VHO und VKSPO nach oben. (N = Sammlung; \bar{X} = Mittelwert; Min = niedrigster Wert; Max = höchster Wert; σ = Standardabweichung)	84
Tab. 9: Die beschreibende Statistik der VHU der VKSPU nach unten. (N = Sammlung; \bar{X} = Mittelwert; Min = niedrigster Wert; Max = höchster Wert; σ = Standardabweichung)	84
Tab. 10: Die beschreibende Statistik der Probanden (KG = Körpergröße, \bar{X} E_mus = Mittelwert der Muskelenergie, Min = niedrigster Wert, Max = höchster Wert, σ = Standardabweichung, E_mus/KG = Höhe des Mittelwertes der Muskelenergie / Körpergröße	86
Tab. 11: Mittelwerte \bar{X} der Muskelenergie und der potentiellen Energie der Hantel (E_potH) sowie Minimum- und Maximum-Werte sowie Standardabweichung σ	87
Tab. 12: Signifikante Korrelation zwischen (P<0.5) zwischen E_mus OK, E_musUEX, HG, VHO, VHU, KSPFB, HHFBP, KSPFB, VKSPO und VKSPU	89
Tab. 13: Effizienz für jeden Probanden sowie Mittelwerte und die Minimum-, Maximum-Werte	90

9 Liste der Abkürzungen und Symbole

APAS	Ariel Performance Analysis System
ARA	Winkel der resultierenden Beschleunigung
BR	Proband 1
BVDG	Bundes Verband Deutsch Gewichtheben
E_mus	Muskelenergie
E_musOK	Muskelenergie des Oberkörpers
E_musUEX	Muskelenergie der unteren Extremitäten
E_potH	potentielle Energie der Hantel
F	Kraft (force) in [N]
Fh	horizontale Kraft
fps	Kamerafrequenz pro Sekunde
Fv	vertikale Kraft
G 2	Proband 3
G3	Proband 4
G 5	Proband 5
G 6	Proband 6
HHFBP	höchste Hantelflugbahnpunkt.
Hz	Hertz [s^{-1}]
KG	Körpergewicht
KSP	Körperschwerpunkt
KSPFB	Körperschwerpunktflugbahn
ms	Millisekunde
n	Anzahl der Probanden
N	Newton, SI-Einheit für Kraft
OH	Proband 2
Rz	senkrechte Komponente der Bodenreaktionskraft
s	Sekunde
S _T	theoretische Treibhöhe

SDS	Solid Dynamic Systems
SMP	Specific Movement Power
v	Geschwindigkeit (Velocity)
V_{\max}	Maximalgeschwindigkeit
VHO	Hantelgeschwindigkeit nach Oben
VHU	Hantelgeschwindigkeit nach Unten
VKSP0	Körperschwerpunktegeschwindigkeit nach Oben
VKSPU	Körperschwerpunktegeschwindigkeit nach Unten
V_x	horizontale Geschwindigkeit
V_y	vertikale Geschwindigkeit
WL	Weight Lifting Pull
η	Effizienz

10 Anhang

I	Name		<i>LEGENDE:</i> W: WAAGE A: ANTHROPOMETER S: STANGENZIRKEL T: TASTZIRKEL M: MABBAND		
II	Vorname				
III	Geburtsdatum				
IV	Datum der Untersuchung				
V	Beruf				
VI	Sportarten				
Nr.	Parameter	Meßwert	MA	Aufnahmeteam (Namen): Allgemeine Bemerkungen	
0	Höhe des Sitzes (1.1, 10.1)	cm	A		
1	Körpermasse	kg	W		
2	Körperhöhe (1.1, 3.1,10.1)	cm	A		
3	Brustbeinhöhe (1.1, 2.1)	cm	A		
4	Sitzhöhe (1.1, 10.1)	cm	A		
5	Beckenbreite (1.2)	cm	S		
6	Taillentiefe (1.3)	cm	S		
7	Gesäßtiefe (1.3)	cm	S		
8	Brustkorbbreite (2.2)	cm	S		
9	Brustkorbtiefe (2.3)	cm	T		
10	Kopfumfang (3.2)	cm	M		
Nr.	Parameter	RECHTS	LINKS	MA	Bemerkungen
11	Schulterhöhe (2.1, 3.1)	cm	cm	A	
12	Hüfthöhe (16.2)	cm	cm	A	
13	Kniehöhe (10.1, 11.1)	cm	cm	A	
14	Knöchelhöhe (11.1, 12.2, 12.3)	cm	cm	A	
15	Oberarmlänge (4.1)	cm	cm	S	
16	Unterarmlänge (5.1)	cm	cm	S	
17	Fußlänge (12.1)	cm	cm	S	
18	Oberarmumfang (4.2)	cm	cm	M	
19	Ellenbogenumfang (4.3, 5.2)	cm	cm	M	
20	Handgelenkumfang (5.3)	cm	cm	M	
21	Faustumfang (6.1)	cm	cm	M	
22	Oberschenkelumfang (10.2)	cm	cm	M	
23	Knieumfang (10.3, 11.2)	cm	cm	M	
24	Knöchelumfang (11.3)	cm	cm	M	

¹ UNIVERSITÄT KONSTANZ - FG Sportwissenschaft - Luciano Prado, Reiner Fritsch, Dr. Manfred Vieten (1991)

Projekt: Anthropometrische Messverfahren

Geänderte Fassung vom 25.10.2000

Dozent: Dr. Manfred Vieten

Reiner Fritsch, Luciano Prado

C:\Eigene Dateien\Biomechanics\ProS\DOCs\Anthropometry\Messtab_y.doc

Messparameter für das 15-Segmentmodell nach Hanavan (1964)

Hanavan/Ballreich (1988)

DIN 33402 Teil 1 (1978)

Tittel (1972)

Nr.	Benennung	Erklärung/Formel	Messverfahren	Mess.
1	U.Rumpf ¹			
1.1	Höhe	Brustbeinhöhe - Körperhöhe + Sitzhöhe	[Vertikale Distanz von der Standfläche zum unteren Ende des Brustbeins (Processus xiphoideus)(<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)] - [Die Person steht mit geschlossenen Füßen voll aufgerichtet. Der Kopf wird im Sinne der Frankfurter Horizontalen gehalten. (<i>DIN 1.4</i>); gemessen wird die vertikale Distanz von der Standfläche bis zur höchsten Erhebung des Kopfes an den Scheitelbeinen (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>).] + [Die Person sitzt mit ganz unterstützten geschlossenen Oberschenkeln, während die Unterschenkel frei hängen. Der Oberkörper ist voll aufgerichtet. Der Kopf wird im Sinne der Frankfurter Horizontalen ² gehalten (<i>DIN 2.1</i>); Messung der vertikalen Distanz von der ebenen Sitzfläche zum Vertex (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	A ³
1.2	Breite	Beckenbreite	[Die Person steht mit geschlossenen Füßen maximal gestreckt. Maximaler horizontaler Abstand über den Außenseiten der Hüften (<i>DIN 1.11</i>), d.h. äußere Distanz der beiden Darmbeinkämme (Distancia cristarum) (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	S ⁴
1.3	Tiefe	1/2 (Taillentiefe + Gesäßtiefe)	1/2 ([Sagittaler Durchmesser des Leibes an der Stelle des transversalen Minimums] + [Sagittaler Durchmesser des Gesäßes an der Stelle der maximalen dorsalen Ausladung] (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>))	
2	O. Rumpf ⁵			
2.1	Höhe	Schulterhöhe - Brustbeinhöhe	[Die Person steht mit geschlossenen Füßen voll aufgerichtet. Vertikaler Abstand bis zum rechten Akromion vom Boden. (<i>DIN 1.6</i>)] - [Vertikale Distanz von der Standfläche zum unteren Ende des Brustbeins (Processus xiphoideus) (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	A

¹ U.Rumpf = Unteres Rumpsegment ("Unterer Rumpf")

² Der Kopf wird bei allen Messungen im Sinne der Frankfurter Horizontalen gehalten, d.h. die Linie, die den Unterrand der knöchernen Augenhöhle mit dem oberen Rand des Gehörloches verbindet, muss horizontal verlaufen. (*DIN Erläuterungen*)

³ A = Anthropometer

⁴ S = Stangenzirkel

⁵ O. Rumpf = Oberes Rumpsegment ("Oberer Rumpf")

2.2	Breite	Brustkorbbreite (Transversaler Brustkorbdurchmesser)	[Geradlinige Entfernung der am stärksten seitlich ausladenden Punkte des Brustkorbes in einer Mittelstellung zwischen In- und Expiration in Höhe des Überganges des Brustbeinkörpers in den Schwertfortsatz (entspricht etwa der 4. Rippen-Brustbein-Verbindung). Anlegen des Messinstruments auf den Rippen! (<i>Tittel 1972</i>). (in der Regel: Transversaler Durchmesser des Brustkorbes in Höhe der Brustwarzen (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>))]	Bz/Sz
2.3	Tiefe	Brustkorbtiefe (Sagittaler Brustkorbdurchmesser)	[Geradlinige Entfernung zwischen dem unteren Ende des Brustbeinkörpers und der in der gleichen Horizontalebene gelegenen Dornfortsatzspitze der Brustwirbelsäule. Mittelstellung zwischen In- und Expiration. (in der Regel: Sagittaler Durchmesser des Brustkorbes in Höhe der Brustwarzen (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>))]	Bz/Tz 6
3	Kopf			
3.1	Höhe	Körperhöhe - Schulterhöhe	[(siehe 1.1) - [siehe 2.1]	
3.2	Breite	Kopfumfang/#	Umfang des Kopfes direkt über den Augenbrauen parallel zur Frankfurter Horizontalebene]	
4	R. O.arm			
4.1	Länge	Oberarmlänge	[Distanz vom Akromion zum Gelenkspalt zwischen Oberarmknochen und Speiche (Articulatio humeroradialis) (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	M
4.2	P.D. ⁷	Oberarmumfang/#	[Umfang des Oberarmes in Achselhöhe (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	
4.3	D.D. ⁸	Ellbogenumfang/#	[Umfang des Armes über den Ellenhaken hinweg - in Grundstellung (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	
5	R. U.arm			
5.1	Länge	Unterarmlänge	[Distanz vom Gelenkspalt zwischen Oberarmknochen und Speiche zum Ende des Griffelfortsatzes der Speiche (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	M
5.2	P.D.	Ellbogenumfang/#	[Umfang des Armes über den Ellenhaken hinweg - in Grundstellung (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	
5.3	D.D.	Handgelenkumfang/#	[Umfang des Unterarmes zwischen den Processus styloidei und Hand bei gestreckter Handhaltung. Grundstellung. (<i>DIN 3.22</i>)]	

⁶ Bz/Tz = Beckenzirkel oder Tasterzirkel

⁷ P.D. = Proximaler Durchmesser

⁸ D.D. = Distaler Durchmesser

6	R. Hand			
6.1	Durchm.	Faustumfang/#	[Umfang der fest geschlossenen Faust mit aufliegendem Daumen über die Knöchel der Mittelhandknochen (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)	
7	L. O.arm			
7.1	Länge	Oberarmlänge		
7.2	P.D.	Oberarmumfang/#		
7.3	D.D.	Ellbogenumfang/#		
8	L. U.arm			
8.1	Länge	Unterarmlänge		
8.2	P.D.	Ellbogenumfang/#		
8.3	D.D.	Handgelenkumfang/#		
9	L. Hand			
9.1	Durchm.	Faustumfang/#		
10	R. O.sch			
10.1	Länge	Körperhöhe - Sitzhöhe - Kniehöhe	[siehe 1.1] - [siehe 1.1] - [Vertikale Distanz von der Standfläche zur medialen Fuge des Kniegelenks (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	
10.2	P.D.	Obersch.umfang/#	[Proximaler waagrechter Umfang des Oberschenkels (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>) unterhalb des M. gluteus maximus (Gesäßfurche = Sulcus Glutealis)]	
10.3	D.D.	Knieumfang/#	[Waagrechter Umfang des Beines in Höhe der Mitte der Patella (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	
11	R. U.sch			
11.1	Länge	Kniehöhe - Knöchelhöhe	[siehe 10.1] - [Vertikale Distanz von der Standfläche zur inneren Knöchelspitze (Malleolus tibialis) (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	
11.2	P.D.	Knieumfang/#	[siehe 10.3]	
11.3	D.D.	Knöchelumfang/#	[Umfang des Unterschenkels proximal der Malleolengabel (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>) (Fesseln)]	

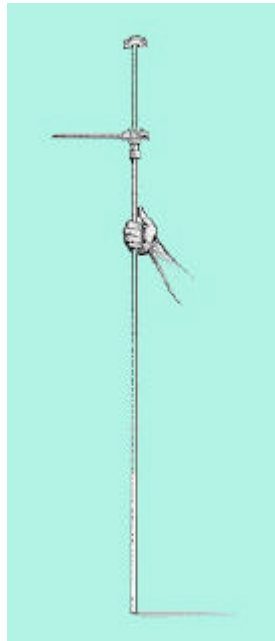
12	R. Fuß			
12.1	Länge	Fußlänge	[Die Person verteilt zur Messung im Stehen das Gewicht gleichmäßig auf beide Füße (Fußmaße, die an frei gehobenem Fuß genommen werden, sind kleiner). (<i>DIN 4.3</i>) Distanz zwischen dem hinteren Ende der Ferse und der Beere der am weitesten vorspringenden Zehe bei normal belastetem Fuß (<i>Hanavan in Ballreich 1988</i>)]	Tz ⁹
12.2	P.D.	Knöchelhöhe	[siehe 11.1]	Sz
12.3	D.D.	0,6443 * Knöchelhöhe	[siehe 11.1]	(Tz)
				(Tz)
13	L. O.sch.			
13.1	Länge	Körperhöhe - Sitzhöhe - Kniehöhe		
13.2	P.D.	Obersch.umfang/#		
13.3	D.D.	Knieumfang/#		
14	L. U.sch			
14.1	Länge	Kniehöhe - Knöchelhöhe		
14.2	P.D.	Knieumfang/#		
14.3	D.D.	Knöchelumfang/#		
15	L. Fuß			
15.1	Länge	Fußlänge		
15.2	P.D.	Knöchelhöhe		
15.3	D.D.	0,6443 * Knöchelhöhe		
16.2	Höhe	Hüfthöhe	Vertikale Distanz von der Standfläche zum Zentrum des großen Rollhügels am Oberschenkel (Trochanter major)	

⁹ Tz = Tasterzirkel

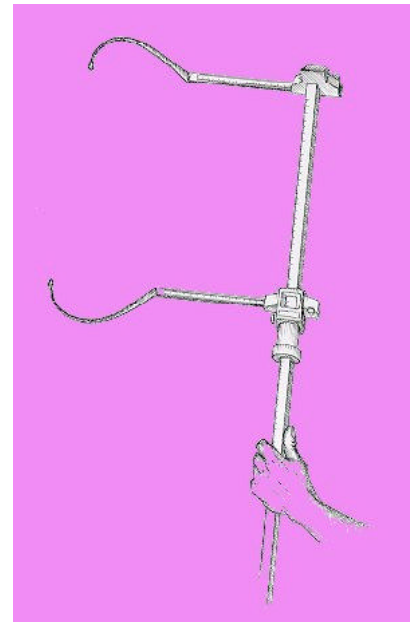
The anthropometric measurement

The instruments:

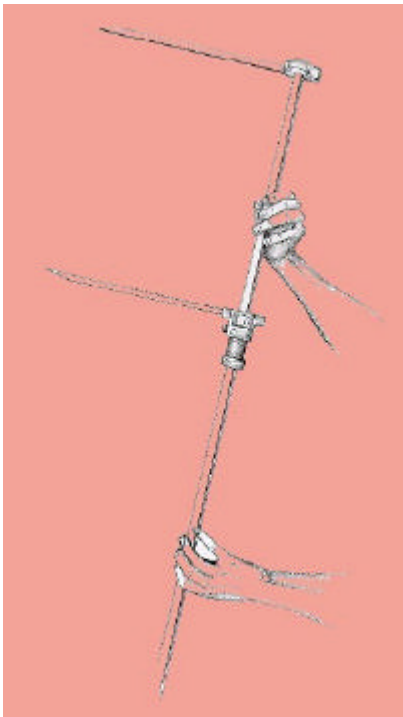
Anthropometer



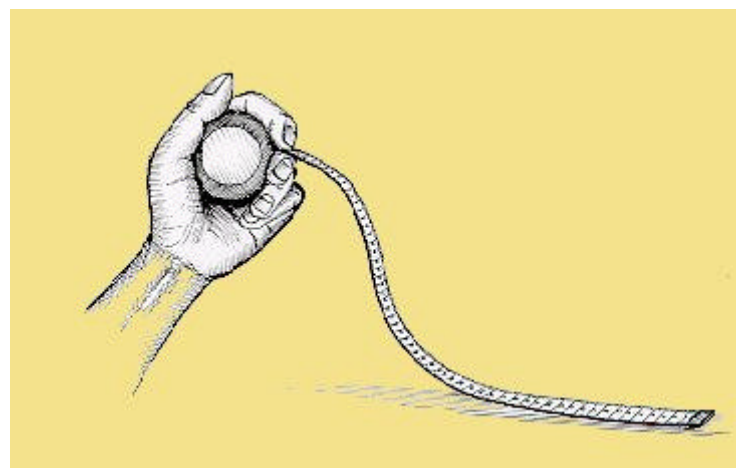
Bow caliper



Caliper



Tape measure



Scale