Wissenschaftliche Hausarbeit

zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an

Gymnasien

im Fach: Sport

Thema: Hypothetische sporttechnische Items der Behinderungsklassifikation von Leistungssportlern in der Sportart Tischtennis

vorgelegt von: Merrbach, Thilo

geb. am 21. Januar 1985 in Waltershausen

Erfurt, den 13.12.2010

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis **4**
1 Zusammenfassung **5**
2 Theoretische Einleitung **6**
2.1 Soziokulturelle Bedeutung der Tischtennissports 6
2.2 Behindertensport 9
2.3 Klassifikation im Rollstuhltischtennis 11
2.4 Funktionelle Unterschiede zwischen den Wettkampfklassen im Rollstuhltischtennis 14
2.5 Leistungsfaktoren im Tischtennis 15
2.6 Bedeutung, Eigenschaften und Technikbeschreibung des Vorhand-Topspins 19
2.7 Aktueller Forschungsstand 23
3 Hypothesen **25**
4 Untersuchungsmethodik **26**
4.1 Auswahl der Untersuchungsmethode 26
4.2 Realisierung der Untersuchung 30
4.2.1 Rahmenbedingungen 30
4.2.2 Untersuchungsablauf 31
4.2.3 Probandengruppe 32
4.2.4 Arbeitsmaterial 33
4.2.5 Aufbau 33
4.2.6 Vorbereitung der Probanden 35
4.2.7 Parameterliste 36
4.3 Auswertungssoftware 37
5 Darstellung der Ergebnisse der untersuchten Items und Verifizierung der Teilthesen **38**
5.1 Einführende Bemerkungen zu den Ergebnissen und deren Darstellung 38
5.2 Ergebnisse der Items zur Teilthese 1 41
5.2.1 Winkelstellung des Ellenbogens im Umkehrpunkt 41
5.2.2 Winkelstellung des Handgelenks im Umkehrpunkt 43
5.2.3 Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante im Umkehrpunkt 45
5.2.4 Die Position des Schlagarms im Umkehrpunkt 47
5.3 Ergebnisse der Items zur Teilthese 2 52
5.3.1 Maximale Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogengelenks 52
5.3.2 Maximale Winkelbeschleunigung des Ellenbogengelenks 54
5.3.3 Maximale Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks 56
5.3.4 Maximale Winkelbeschleunigung des Handgelenks 57
5.3.5 Maximalgeschwindigkeit der Hand 59
5.3.6 Maximalbeschleunigung der Hand 61

6 Interpretation der Ergebnisse 63
6.1 Interpretation der Teilthese 1 63
6.2 Diskussion der Teilthese 2 64
6.3 Diskussion der Kernthese 65
6.4 Ableitungen für eine Folgeuntersuchung 66
7 Fazit 67
Literatur- und Quellenverzeichnis 69
Anhang 72
I Abbildungsverzeichnis 72
II Tabellenverzeichnis 74
III Personalbogen zur Datenerhebung 76
IV Synchronisationspunkte und Framenummern der Schlagphasen 77
V Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung 78
VI Ergebnisse der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsuntersuchung des Ellenbogens und des Handgelenks 84
VII Notizen zur autorisierten Expertenbefragung von Winfried Prondzinski 88
Danksagung 90
Erklärung 91
Daten CD

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
CP	Cerebralparese
DBS	Deutschen Behindertensportverband e.V.
DOSB	Deutscher Olympischer Sportbund
DRS	Deutsche Rollstuhl-Sportverband e.V.
DSSV	Deutscher Schwerhörigen Sportverband
DTTB	Deutscher Tischtennis Bund e.V.
ETTU	European Table Tennis Union
FB-TT	Fachbereich Tischtennis des Deutschen Rollstuhl-Sportverband e.V.
ITTF	International Table Tennis Federation
KT	Kernthese
TT-1, TT-2	Teilthese 1, Teilthese 2
WK	Wettkampfklasse/-n

1 Zusammenfassung

Tischtennis ist Gesundheits-, Breiten-, Freizeit- und Leistungssport. Junge und alte Menschen spielen Tischtennis. Es gibt Hobby- und Profispieler. Und es erfreuen sich gesunde aber auch körperlich beeinträchtigte Menschen an diesem Rückschlagspiel.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der kinematischen Analyse von sporttechnischen Items im Behindertentischtennis bei einer ausgewählten Schlagtechnik. Diese Items sollen dahingehend untersucht werden, ob sie eine Klassifikation von Rollstuhltischtennisspielern in verschiedenen Wettkampfklassen möglich machen.

In einer theoretischen Einleitung werden, auf Grundlage einer Literaturrecherche, grundlegende Sachverhalte des Arbeitsthemas erläutert. Dazu gehören unter anderem der Behindertensport, die Beschreibung der aktuell praktizierten Klassifikation im Rollstuhltischtennis und die Leistungsfaktoren im Sportspiel Tischtennis. Im letzten Teil der Einleitung wird auf den aktuellen Forschungsstand verwiesen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Analyse von sporttechnischen Items messbare Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen zeigt. Diese Erwartung wird in zwei Teilthesen bearbeitet.

Aus einem Überblick von wissenschaftlichen Arbeitsmethoden wurde die praxisrelevante Methodik für die Untersuchung und Auswertung von sporttechnischen Items abgeleitet. Für die durchgeführte Pilotstudie wurden die Probanden mit Untersuchungsmarkern am Schlagarm und der Schulterachse ausgestattet. Die Ausführung einer vorgeschriebenen Technik, gegen das Zuspiel von einem Ballroboter, wurde von zwei Kameras dokumentiert. Die aufgezeichneten Daten der Untersuchungsmarker wurden, mit Hilfe einer speziellen Software zur Auswertung von Bewegungen, analysiert.

Die Ergebnisse konnten Unterschiede zwischen den Wettkampfklassen in der sporttechnischen Ausführung deutlich machen, können die aktuell bestehende Klassifikation nicht bestätigen. Es bleibt die Frage offen, ob beim Einbeziehen weiterer kinematischer Analysen von sporttechnischen Items geeignete Einteilungskriterien zur Ergänzung der jetzigen medizinischen Faktoren gefunden werden können.

2 Theoretische Einleitung

2.1 Soziokulturelle Bedeutung der Tischtennissports

Bei den olympischen Sommerspielen 1992 in Barcelona gewann der Schwede Jan-Ove Waldner die Goldmedaille im Herren-Einzel der Tischtenniswettkämpfe. Dieser Triumph, zusammen mit all seinen Titeln bei Welt- und Europameisterschafen, sowie den höchsten Ranglistenturnieren auf Welt- und Kontinentalebene, machte ihn zum erfolgreichsten Tischtennisspieler aller Zeiten. (DONIC, o.J.)

Jan-Ove Waldner prägte die Geschichte des Tischtennissports wie nur wenige Athleten vor ihm und er trug auch seinen persönlichen Teil zur Weiterentwicklung dieses Spiels bei. Seit der Gründung des ersten Vereins im Jahr 1890 in England, dem ersten im Londoner Stadtteil Westminster ausgetragenen Turnier im Jahr 1901, den ersten Weltmeisterschaften 1926 in London und der ersten Teilnahme an olympischen Sommerspielen im südkoreanischen Seoul 1988 (WOHLGEFAHRT, 2004) hat sich der Sport vom *„Miniatur-Tennisplatz auf einem Tisch“* (SCHMICKER, 2000, S. 15) zum Hochleistungssport entwickelt.

Im Laufe der Entwicklungen haben auch die Sportwissenschaft und die Sportindustrie zunehmend ein Interesse am Tischtennis entwickelt. Die Trainingsmethoden und sportartspezifische Materialien wurden grundlegend verbessert. Von diesen Fortschritten können heute alle Profi-, Nachwuchs- und Freizeitspieler, aber auch alle behinderten Sportler profitieren.

Die Organisation des Tischtennissports in Deutschland wird durch den Deutschen Tischtennis-Bund (DTTB) übernommen. Er wurde am 08.11.1925 in Berlin gegründet und ist im Moment der zehntgrößte Spitzensportverband in der Bundesrepublik. Ungefähr 615.000 Männer und Frauen spielen aktiv in ca.10.000 Vereinen. Innerhalb der Europäischen Tischtennis Union (ETTU) und der Internationalen Tischtennis Föderation (ITTF) gehört der DTTB zu den größten Mitgliedsverbänden.

Der DTTB ist als Dachverband in vier Regionalverbände (Nord-, Süd-, West- und Südwestdeutscher Tischtennis-Verband) bzw. acht Regionen gegliedert. Auf der nächst tieferen Ebene befinden sich die 20 Landes- bzw. Mitgliedsverbände. Diese unterteilen sich wiederum in Bezirke und Kreise. Jeder Verein in Deutschland ist somit auch Mitglied in jeder Organisationsebene des DTTB. (DEUTSCHER TISCHTENNIS BUND: *Sport und Organisation. Der Deutsche Tischtennis-Bund.*)

Tischtennis ist mehr als Breiten- und Leistungssport. Im Jahr 2003 verlieh der Rechtsvorgänge des Deutsche Olympische Sportbund (DOSB) der Sportart Tischtennis, als erster Spielsportart, das Qualitätssiegel „Sport pro Gesundheit“. Damit wurde der Rückschlagsport bundesweit als Gesundheitssport anerkannt. Weil Tischtennis Frauen und Männern die Chance bietet sich bis ins hohe Alter aktiv zu betätigen, lassen sich die Ziele des Gesundheitssports hier sehr gut verfolgen und erreichen. Zu den wichtigsten Zielen zählt unter anderem die Stärkung der physischen Gesundheitsressourcen, vor allem im Bereich des Herz-Kreislauf-Systems. (DEUTSCHER TISCHTENNIS BUND: *Gesundheitssport.*)

Nicht nur bei Männern und Frauen, die sich im Alter fit halten möchten, ist Tischtennis eine gern gewählte Sportart. Auch für Menschen mit Behinderungen stellt der Sport mit dem kleinen weißen Ball eine reizvolle Herausforderung dar. Der Behinderten-Tischtennissport wird in zwei große Gruppen gegliedert. Die erste Gruppe wird von Athleten gebildet, die trotz ihrer Behinderung im Stehen spielen können. Die zweite Gruppe umfasst alle Spieler die nur im Rollstuhl Tischtennis spielen können. Beide Gruppen werden in der

Bundesrepublik durch den Deutschen Behindertensportverband e.V. (DBS) verwaltet und organisiert. Dieser Dachverband regelt, in Kooperation mit seinen 17 Landesbehindertensportverbänden, zwei Fachverbänden und sechs Organisationen als außerordentliche Mitglieder, den Sport für Menschen mit Behinderungen. Neben dem Deutschen Schwerhörigen Sportverband (DSSV) ist der Deutsche Rollstuhl-Sportverband e.V. (DRS) der zweite Fachverband innerhalb der DBS. (DEUTSCHER BEHINDERTENSPORTVERBAND E.V.: *Struktur des Deutschen Behindertensportverbandes*.) Die nachfolgende Abbildung zeigt alle wichtigen Strukturebenen des DBS. Dieses Schema ist jedoch dahingehend veraltet, weil unterhalb des Deutschen Rollstuhl-Sportverbandes der Deutsche Schwerhörigen Sportverband als zweiter Fachverband noch nicht angefügt ist.

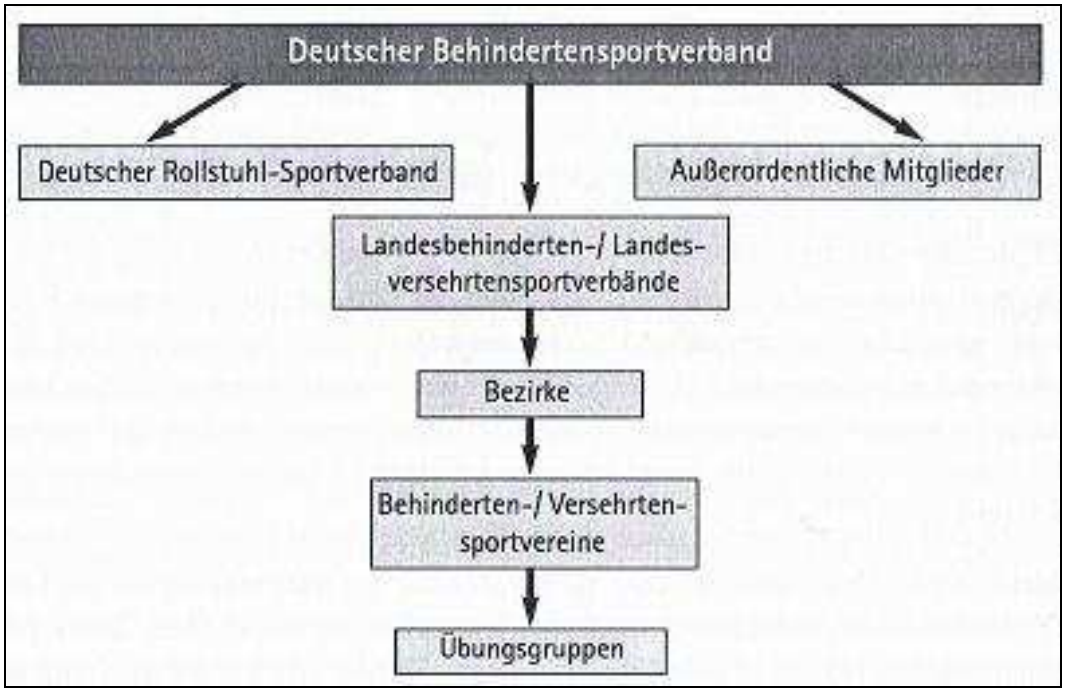


Abb. 1. Struktur des Deutschen Behindertensportverbandes

Der DRS hat es sich zur Aufgabe gemacht, den Rollstuhlsport flächendeckend in der Bundesrepublik zu fördern und weiterzuentwickeln. Seit dem 29./30. Oktober 1977 wird dieses Ziel von den Verantwortlichen verfolgt. Aktuell sind in mehr als 300 Vereine über 9.000 aktive Rollstuhlsportler angemeldet. (DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V.: *Aufgaben und Ziele*) Unter den 26 Sportarten, die sich in 20 Fachverbände und sechs Arbeitsgemeinschaften aufteilen, ist auch Tischtennis zu finden. (DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V: *Vielfältiges Sportangebot*) Für Rollstuhlfahrer[1] stellt Tischtennis, neben Basketball, die beliebteste Sportart dar. (DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V: *Tischtennis*) Wer in Deutschland Rollstuhltischtennis spielen möchte, kann sich in einem von über 30 Vereinen anmelden. Jeder Verein ist Mitglied des Fachbereichs Tischtennis (FB-TT) innerhalb der DRS. Der FB-TT gliedert sich in 16 Landesverbände und fünf Regionalbereiche (Nord, West, Mitte, Südost, Südwest). (FACHBEREICH TISCHTENNIS DES DEUTSCHEN ROLLSTUHL-SPORTVERBANDES E.V.: *Struktur*)

[1] Zur Verbesserung der Lesbarkeit der Arbeit wird ausschließlich die männliche Form für Personenbezeichnungen verwendet. Jedoch sind immer Frauen und Männer gemeint.

Um faire Wettkämpfe im Rollstuhltischtennis zu garantieren, werden die Sportlerinnen und Sportler in unterschiedliche Wettkampfklassen eingeteilt. Im FB-TT sind es fünf Klassen. Darunter sind zwei Klassen für Tetraplegiker und drei für Paraplegiker. (DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V: *Tischtennis*) Bei Menschen mit Tetraplegie wirken sich Behinderungen der motorischen Hirnrinde, des Stammhirns und des Kleinhirns auf Arme und Beine aus. Bei einer Paraplegie weiten sich die Behinderungen nur auf die Beine aus. (LEHRBRIEF ROLLSTUHLSPORT, 2010)

Die nachstehende Abbildung zeigt den markanten Punkt für die Trennung zwischen Tetra- und Paraplegie. Der Übergang liegt am Wirbelkörper Thoracic vertebra 1 (Th1) der Brustwirbelsäule. Alle Nervenbahnen oberhalb von Th1 innervieren Kopf und Hals, Schulter und Teile der Arme und Hände. Die Nervenbahnen, die unterhalb von Th1 aus der Wirbelsäule austreten sind für Teile der Arme, die Brust und alle darunter liegenden Körperpartien verantwortlich.

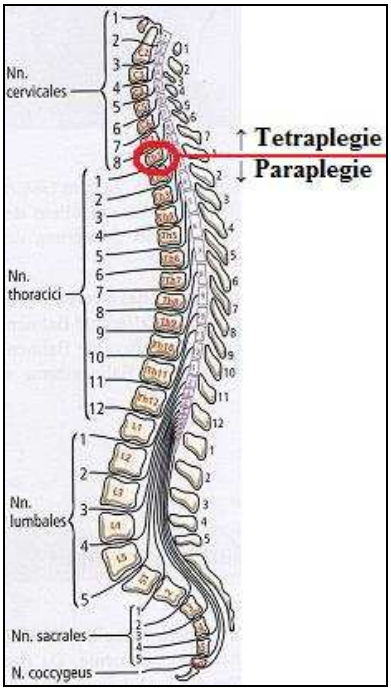


Abb. 2. Rückenmark und Wirbelsäule im Medianschnitt

Je nach Stadium ihrer Behinderung werden die Athleten in eine dieser fünf Wettkampfklassen eingestuft. Dies geschieht auf der Basis einer ärztlichen Diagnose und motorischen Tests unter der Aufsicht von ausgebildeten Klassifizierern. (SCHEID et al., 2003; PRONDZINSKI)

An diesem Punkt der Klassifikation setzen die Überlegungen für die vorliegende Arbeit an. Es wird untersucht, ob es signifikante feststellbare Unterschiede in den Bewegungsabläufen von Rollstuhltischtennisspielern ausgewählter Wettkampfklassen gibt. Dies wird anhand einer vorgeschriebenen Schlagtechnik untersucht. Die vorliegende Arbeit stellt dafür eine Pilotstudie dar, um erste Ergebnisse zu sichern, aber auch um Anregungen für weitere Untersuchungen geben zu können.

In den folgenden Gliederungspunkten dieses Kapitels wird auf die theoretischen Grundlagen, die sich auf die Fragestellung beziehen, eingegangen.

2.2 Behindertensport

Im Laufe der Weltgeschichte sind behinderte Menschen in den unterschiedlichsten Kulturen und Religionen verfolgt und verstoßen worden. Auch heute sind Menschen mit körperlichen oder geistigen Beeinträchtigungen noch nicht vollständig in die Gesellschaft integriert. Über die vielen Jahrhunderte hinweg haben sich diverse Vorurteile gegenüber Personen mit Behinderungen hartnäckig in den Köpfen unzähliger Menschen gehalten. Diese Vorurteile sorgen für Ängste bei Nichtbehinderten, die diese Ängste auf Behinderte übertragen und somit eine Behinderung als ungewünschten Zustand zum Ausdruck bringen. Der ehemalige Präsident des Internationalen Paralympischen Komitees STEADWARD drückte diese Ängste in einer Rede mit folgenden Worten aus: *„Behinderte werden als unfähig und unproduktiv, als konsumierend statt produzierend, als abhängig statt unabhängig, als lästig statt wertvoll angesehen und als Schutzbedürftige, die einen Vormund benötigen und keine autonomen Entscheidungen treffen können."* (2000, S. 987) Diese angesprochenen Probleme spiegeln sich auch in großen Teilen des Lebens von Behinderten wieder. Sei es auf persönlicher Ebene, wo die Benachteiligungen wohl am schwerwiegendsten sind oder bei der politischen Unterstützung, in der Ausbildung (z.B. Schule) oder bei der Suche nach einem Arbeitsplatz. All diese Negativerfahrungen drängen Menschen mit Behinderungen in eine Rolle, die sie vermutlich oftmals nicht übernehmen wollen. Da aber Eigeninitiative dieser Personen oftmals fehlschlägt, setzt sich häufig die Parole *„Spiele die Rolle, erfülle die Erwartungen, erhalte die nötige Unterstützung"* (STEADWARD, 2000, S. 989) durch.

Eine Chance diesen Kreislauf zu durchbrechen bietet unter anderem der Sport. Der DBS formuliert diese Möglichkeit, innerhalb seines Positionspapiers aus dem Jahr 2009, als einen seiner wichtigsten Werte: *„Wir leben die Teilhabe von Menschen mit Behinderungen und wollen allen Menschen mit Behinderung über den Sport die Teilhabe am Leben in der Gesellschaft ermöglichen."* (DEUTSCHER BEHINDERTENSPORTVERBAND E.V.: *Positionspapier des Deutschen Behindertensportverbandes (DBS) e.V. und Nationalen Paralympischen Komitees für Deutschland (NPC),* S. 2). Neben drei anderen Hauptzielen und -aufgaben wird die Integration auch unter diesem Punkt wieder aufgegriffen: *„Zu den Zielen und Aufgaben des DBS gehört es […]Sozialisationsprozesse in Spiel und Sport anzubahnen und zu fördern."* (DEUTSCHER BEHINDERTENSPORTVERBAND E.V.: *Grundsätze des Behindertensports,* S. 1). Dank regelmäßiger Treffen im Sportverein kann sich die Sportgruppe zu einem bedeutenden sozialen Treffpunkt entwickeln. Hier können Kontakte hergestellt und Freundschaften geschlossen werden. Durch den Freizeit- und Breitensport wird nicht nur das Leben der Menschen mit Behinderungen bereichert, sondern es bietet sich auch die Chance die eigene Leistungsfähigkeit zu erhalten und Sekundärschäden vorzubeugen. (KOSEL & FROBÖSE, 1999) Über den Freizeit- und Breitensport hinaus hat sich im Laufe der letzten Jahrzehnte auch ein großer Leistungssportbereich für Menschen mit Behinderungen entwickelt. Eng mit dieser Entwicklung verbunden ist der Name Sir Ludwig Guttmann. Er realisierte früh die positiven Effekte des Sports für Behinderte und gründete ein Zentrum für Querschnittsgelähmte in Stoke-Mandeville (Großbritannien). In diesem Zentrum fanden in Jahr 1952 die ersten „Stoke-Mandeville-Games" statt. Diese Spiele waren eine Begegnung von englischen und holländischen Behindertensportlern. Der große Erfolg dieser Veranstaltung in den folgenden Jahren erhielt seinen Höhepunkt mit den ersten Paralympics 1960 in Rom. (SCHEID et al., 2003)

Innerhalb weniger Jahre entwickelte sich die paralympische Bewegung zu einem sportlichen Großereignis. Im diesem Zuge bildete sich auch der Leistungssport von behinderten Menschen aus. In seinem 1997 verabschiedeten Positionspapier definiert der DBS den Leistungssport mit folgenden Worten:

„Unter Leistungssport versteht man den mit dem Ziel der Erreichung einer persönlichen Höchstleistung betriebenen Sport. Leistungssport kann, je nachdem, ob Leistung als absoluter oder relativer Wert aufgefasst wird, einen engen oder weiten Bedeutungsspielraum erhalten.

Im weiteren Sinne ist jedes Sporttreiben Leistungssport, da der Leistungsvollzug einen Grundbestand des Bewegungsverhaltens darstellt, das sich in verschiedenen Sportarten (und Sportformen) konkretisiert. Das entscheidende Kriterium für den Leistungssport im weitesten Sinn ist das an persönlichen und damit an relativen Grenzen orientierte Anspruchsniveau der Leistungssport treibenden Menschen.

Im engeren Sinne wird Leistungssport behinderter Athleten dann zu Spitzen- bzw. Hochleistungssport, wenn ein Höchstmaß an persönlichem Einsatz (Zeit, Leistungsvermögen, Leistungswille) notwendig ist, um den vorgegebenen absoluten Normen des Rekords, erzielt in den jeweils international gültigen Startklassen/Wettkampfklassen und der Meisterschaft (in den jeweils gültigen Startklassen/ Wettkampfklassen), möglichst nahe zu kommen bzw. neue derartige Normen zu setzen.“ (SCHEID et al., 2003, S. 17)

Wie es die Definition beschreibt, so setzt der DBS den Leistungssport organisatorisch um. Auf Grundlage von Nominierungskriterien für internationale Veranstaltungen haben die verantwortlichen Trainer ein Vorschlagsrecht zur Athletennominierung. Dieses basiert vordergründig auf sportlichen Leistungen. Die Erfolgschancen für die internationalen Wettkampfkämpfe werden zusätzlich berücksichtigt. Der Sportler muss sich einer Gesundheitsprüfung unterziehen und sich für internationale Veranstaltungen in eine Wettkampfklasse einordnen lassen. Weiterhin ist er zur Teilnahme an offiziellen Leistungslehrgängen verpflichtet. Erreicht der Sportler auf nationaler und internationaler Ebene (z.B. Europa-, Weltmeisterschaften oder Paralympics) gute Resultate kann er durch den verantwortlichen Cheftrainer für den Bundeskader nominiert werden. Er muss die Kriterien, die eine Aufnahme rechtfertigen, in jedem Jahr erneut erfüllen, um im Bundeskader zu verbleiben. Die Zugehörigkeit zum Bundeskader sichert die Förderung durch die Stiftung Deutsche Sporthilfe ab. Alle Kadermitglieder haben Anspruch auf einen Rahmentrainingsplan, physiotherapeutische Betreuung und auf eine Grundversorgung an ausgewählten Olympiastützpunkten. Im Gegenzug verpflichten sich die Sportler zur Teilnahme an Landes- und Deutschen Meisterschaften, sowie an Lehrgängen der Nationalmannschaft. Dieser Bereich der leistungssportlichen Förderung entspricht der Definition im engeren Sinn. (SCHEID et al., 2003)

Unter Leistungssport im weiteren Sinne sind Athleten einzuordnen, die regelmäßig für sich und/oder in Vereinen trainieren und an ausgewählten Wettkämpfen teilnehmen. Jedoch nicht an Veranstaltungen wie zum Beispiel Europa- oder Weltmeisterschaften. Neben den Turnieren, an denen sie teilnehmen sind viele Sportlerinnen und Sportler auch Teil einer Vereinsmannschaft. In manchen Sportarten, z.B. im Rollstuhltischtennis, gibt es ein Ligaspielsystem, in dem von der 1. Bundesliga bis in die Oberliga über eine gesamte Saison hinweg Meisterschaftsspiele ausgetragen werden. Im Tischtennis gibt es auch die Möglichkeit als Rollstuhlsportler in Mannschaften von Nichtbehinderten mitzuspielen.

2.3 Klassifikation im Rollstuhltischtennis

„Der Zweck der Klassifizierung ist auch diejenigen zur aktiven Teilnahme am Wettkampfsport zu motivieren, die aufgrund körperlicher Nachteile keine Chance auf eine erfolgreiche Teilnahme hätten." (BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT, 2008, S. 2) So definiert das Bundesinstitut für Sportwissenschaft den Zweck einer Klassifikation im Behindertensport. Ein Klassifikationssystem kann aber nur erfolgreich funktionieren, wenn gewährleistet ist, dass alle Teilnehmer *„in ähnliche Gruppen zusammen* (-gefasst werden /Einf. T. M.)*, so dass die Leistungen untereinander vergleichbar sind und sich die Chance vergrößert, gleichwertige und spannende Wettkämpfe zu erleben."* (BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT, 2008, S. 2)

Das Wettkampfsystem im Behindertentischtennis umfasst zehn Klassen für körperlich und eine Klasse für geistig behinderte Sportler. Innerhalb der zehn Klassen für körperlich behinderte Athleten sind fünf Wettkampfklassen für Rollstuhlsportler und fünf weitere für stehende Spieler definiert.

Bevor ein körperlich oder geistig behinderter Sportler an Tischtenniswettkämpfen teilnehmen darf, muss er sich verschiedenen Tests zur Eingliederung in die bestehenden Wettkampfklassen unterziehen. Die Zahl von körperlich und zusätzlich geistig behinderten Tischtennisspielern ist sehr gering, ca. 60. Die verschiedenen Krankheitstypen machen eine einheitliche Klassifizierung schwer. Aktuell gibt es weder national noch international eine genaue Klassifizierungsverordnung. (PRONDZINSKI) Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher ausschließlich auf körperlich behinderten Athleten. Auf Grund der Spezialisierung für die Rollstuhlklassen, werden die im Stehen spielenden Sportler ebenfalls aus der Bearbeitung ausgeklammert.

Jede Klassifikation bedarf zunächst der Diagnose eines Arztes, der die körperlichen Behinderungen ermittelt und schriftlich festhält. Wenn der Arzt eine allgemeine Sporttauglichkeit des Sportlers feststellt, erhält der Sportler eine Lizenz zum Sporttreiben im DRS. Der Verein, in den der Sportler eintreten möchte, nimmt eine Vorklassifikation vor. Diese Vorklassifikation geschieht auf der Basis der Einteilung des DEUTSCHEN ROLLSTUHL-SPORTVERBANDES (2009, *Das Handbuch des DRS zum Herunterladen*, 7.42f). Die fünf Rollstuhlklassen im Tischtennis definiert er wie folgt:

- *„Klasse 1*

  Hand- und Ellenbogenstreckung sind nur möglich durch eine Schleuderbewegung, die von der Schulter ausgeht. Die Koordination von Armbewegungen unterscheidet sich auch deutlich von der bei einem normalen Arm. Alle Bewegungen des Rumpfes werden gesichert durch Abstützen mit den Armen am Oberschenkel. Auch das Festklammern an der Lehne des Rollstuhls mit dem in der Ellenbeuge angewinkelten Arm zählt dazu.

  CP[2]

  Asymmetrische oder symmetrische Quadraplegie. Erhebliche Störungen der Rumpfbalance. Starke Spastizität der oberen Extremitäten.

[2] CP = Cerebralparese

- *Klasse 2*

  Die Streckung im Ellenbogen ist ausreichend und die Handbewegungen sind gut koordiniert. Die normale Kraft fehlt bei den Handfunktionen, so daß in der Regel der Schläger angebunden wird. Die Rumpffunktion unterscheidet sich nicht funktionell von der Klasse 1.

  CP

  Erhebliche Störungen der Rumpfbalance.

  Spastizität der oberen Extremitäten.

- *Klasse 3*

  Bei der weitestgehenden Lähmung in dieser Klasse sind nur minimale motorische Störungen in der Spielhand zu sehen. Diese Funktionsverluste sind so minimal, daß diese motorischen Einschränkungen keinen wesentlichen Effekt haben auf die spieltechnischen Möglichkeiten beim Tischtennis. Leichte Änderungen der Rumpfposition werden gesichert durch Abstoßen oder Abstützen mit der freien Hand am Rollstuhl oder Oberschenkel. Die unteren Rumpfpartien sind stets in Kontakt zur Rückenlehne des Rollstuhls. Rückwärtsbewegungen des Arms sind dadurch eingeschränkt, daß eine ausreichende, unterstützende Rumpfrotation fehlt. Bewegungen des Rollstuhls (während des Spiels) sind in der Regel unvorteilhaft.

  CP

  Geringe funktionelle Einschränkungen in der Kontrolle der oberen Extremitäten. Störungen der Rumpfbalance. Erhebliche Spastizität der unteren Extremitäten.

- *Klasse 4*

  Ein aufrechter Sitz im Rollstuhl kennzeichnet diese Klasse. Normale Rumpf- und Armbewegungen sind vorhanden. Allerdings sind Rumpfbewegungen zur Reichweitenverlängerung der Spielhand nur möglich, indem der freie Arm am Rollstuhl oder Oberschenkel festgehalten, abgestützt oder abgestoßen wird. Bewegungen mit dem Rollstuhl sind möglich (und nicht unbedingt von Nachteil). Beim Start mit einer Hand kann der Oberkörper nicht optimal nach vorne geneigt werden. Seitliche Bewegungen sind ohne Unterstützung des freien Armes nicht möglich.

  Gemäßigte Diplegie

  Mäßige funktionelle Störungen der Rumpfbalance. Spastizität der unteren Extremitäten

- *Klasse 5*

  Der Rumpf kann bewußt vor- bzw. zurückgebeugt werden ohne Zuhilfenahme des Armes. Deutliche Abstützbewegungen mit den Oberschenkeln oder sogar mit den Füßen werden beobachtet. Die Benutzung des Rollstuhls (während des Spiels) ist optimal, insbesondere wegen der guten Rumpfpositionierung bei Vor- und Rückwärtsbewegungen. Seitliche Rumpfbewegungen sind zu beobachten.

  Geringe Diplegie
  Geringe Störungen der Rumpfbalance.
  Leichte Spastizität der untern Extremitäten. Spiel im Stehen unmöglich oder nicht zumutbar.

  Andere Behinderungen (Les Autres)
  Spieler mit Hüftendoprothesen, Knie- oder Sprunggelenksprothesen, die nicht mehr stehend spielen dürfen, werden in die Klasse 5 eingestuft."

Das Ergebnis der Vorklassifikation des Vereines, wird anschießend durch nationale Klassifizierer geprüft. Diese Klassifizierer, die sich durch Absolvierung der vorgeschriebenen Kurse und Lizenzen dafür qualifiziert haben, kontrollieren die Vorklassifikation. Mittels verschiedener sportmotorischer Tests und dem Beobachten des Verhaltens des Spielers beim Tischtennisspielen versuchen sie alle Bewegungsmöglichkeiten offen zu legen. Die Ergebnisse der Tests und der Beobachtung nutzen die Klassifizierer für ihre abschließende Eingliederung in die bestehenden Wettkampfklassen im Rollstuhltischtennis. Die ermittelte Wettkampfklasse des Sportlers wird auf einem Spielerpass festgehalten, den er zu jeder sportlichen Veranstaltung bei sich führen muss.

Die Funktionäre des deutschen und internationalen Rollstuhltischtennis verlassen sich aber nicht nur auf die Einschätzungen dieser einen Klassifikation. Daher stehen alle Spieler während jedes Turniers unter ständiger Aufsicht mehrerer Klassifizierer. Sie beobachten das Verhalten der Teilnehmer im Wettkampf mit prüfendem Blick und versuchen falsch klassifizierte Sportler zu entlarven. Diese falsche Eingliederung kann zwei Gründe haben. Erstens kann sich der gesundheitliche Zustand der Sportler jeder Zeit in positive wie in negative Richtung verändern. Dadurch muss der jeweilige Spieler in die nächst höhere bzw. tiefere Wettkampfklasse eingegliedert werden. Zweitens nutzen manche Athleten die Gelegenheit der sportmotorischen Tests um sich in eine tiefere, stärker behinderte, Klasse einstufen zu lassen. Der wahre mögliche Bewegungsumfang wird unterdrückt und ein eingeschränkteres Bewegungsfeld wird vorgetäuscht. Da die Erfolgsaussichten in den tieferen Wettkampfklassen höher sind, lassen sich manche Teilnehmer zu solch einem Betrug hinreißen.

Sollte sich ein Spieler auf Grund seiner guten Ergebnisse auf nationaler Ebene für ein internationales Turnier qualifizieren, muss er eine erneute Klassifikation über sich ergehen lassen. Das bedeutet er muss funktionelle sportmotorische Tests absolvieren und die Klassifizierer beobachten ihn beim Spielen. Der Unterschied ist aber, dass er nun von mehreren internationalen Klassifizierern begutachtet wird, die selbst höher qualifiziert sind als ein Klassifizierer, der nur auf deutscher Ebene bewerten darf. Nach Abschluss der erneuten Eingliederung erhält der Spieler einen internationalen Pass. Auf diesem werden neben der Wettkampfklasse auch alle persönlichen Besonderheiten des Sportlers eingetragen. Dies kann zum Beispiel sein, dass er auf Grund seiner Behinderung nicht in der Lage ist, den eigenen Aufschlag nach dem bestehenden Regelwerk ordnungsgemäß auszuführen. (PRONDZINSKI)

Natürlich kommt es im Verlauf einer sportlichen Karriere zu Veränderungen des Gesundheitszustandes eines Sportlers. Im Behindertensport trifft dies ebenso zu, wie bei allen anderen Sportlern auch. Sollte sich der gesundheitliche Zustand eines Rollstuhltischtennisspielers verändern, sei es durch Verschlechterung der Bewegungsfreiheit oder die Verbesserung durch eine erfolgreiche Physiotherapie, muss der Athlet neuklassifiziert werden. Auf der internationalen Ebene geschieht dies nach einem streng vorgeschriebenen Ablauf. Am Beginn einer Neuklassifizierung muss immer ein Antrag stehen. Dieser wird zum Beispiel von Spielern und Trainern an den einen Nationalverband (z.B. DBS) gestellt. Damit wird die Vermutung ausgedrückt, dass ein Spieler nicht in der für ihn richtigen Wettkampfklasse antritt. Der Verband leitet diesen Antrag an die ITTF weiter und muss im Gleichschritt eine bestimmte Summe Geld an die ITTF zahlen, damit der Antrag bearbeitet wird. Wenige Tage vor dem nächsten internationalen Turnier werden alle Spieler, für die ein Antrag auf Umklassifizierung gestellt worden ist, zu einer Untersuchung bei einer Gruppe von internationalen Klassifizierern eingeladen. Innerhalb der Untersuchung werden funktionelle sportmotorische Tests durchgeführt und die Sportler müssen vorspielen. Nach der Untersuchung stehen die Athleten unter strenger Beobachtung durch mindestens zwei Klassifizierer. Sollte die Untersuchung und

die Beobachtung eine abweichende Wettkampfklasse zur Folge haben, wird der Sportler neuklassifiziert und muss bei dem folgenden Turnier in der neuen Wettkampfklasse starten. (PRONDZINSKI)

Durch ihre gesamten Abläufe und Begutachtungsvorgänge ist die Klassifikation im Rollstuhltischtennis nur in einem geringen Maß empirisch und normativ. Vielmehr ist die tatsächliche Eingliederung in eine Wettkampfklasse von den geübten und neutralen Augen der Klassifizierer abhängig. Nur durch ihr möglichst objektives, an den bestehenden Kriterien festhaltendes Vorgehen wird die Zusammensetzung einer Wettkampfklasse nahezu gleichwertig und sportlich fair.

2.4 Funktionelle Unterschiede zwischen den Wettkampfklassen im Rollstuhltischtennis

Die Klassifikationsgrundlage des DRS beinhaltet die Mindestanforderungen, die erfüllt sein müssen, um in einer Wettkampfklasse starten zu dürfen. Durch diese Rahmenvorgaben werden gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Rollstuhlklassen deutlich. Jedoch können auch innerhalb einer Klasse große anatomische und motorische Unterschiede vorhanden sein. Dies kann sich durch fehlende Muskelinnervation oder Gelenkversteifungen ausdrücken. Ebenso verhält es sich mit dem Feststellen der Bremsen am Rollstuhl während eines Ballwechsels. Dies ist immer abhängig von persönlichen Faktoren und dem Spielsystem des Athleten. Daher kann es durchaus sein, dass ein Teilnehmer der Wettkampfklasse fünf mit festgestellten Bremsen spielt, ein Spieler der Wettkampfklasse vier hingegen ohne Feststellbremse.

Aufgrund all dieser Faktoren ist es schwer eine einheitliche Beschreibung der Klassen zu tätigen. Die folgende Übersicht mit den funktionellen Unterschieden zwischen den fünf Wettkampfklassen ist daher nur eine grobe Zusammenfassung und dient lediglich der Orientierung. Die Darstellung bezieht sich auf die Klassifikation im Handbuch des DRS aus dem Jahr 2009.

Tab. 1. Übersicht über die funktionellen Unterschiede der Spieler der Wettkampfklassen 1 bis 5 im Rollstuhltischtennis (+: volle Funktion; +/-: eingeschränkte Funktion; -: keine Funktion)

	Hand	**Ellenbogen**	**Arm**	**Schultergürtel**	**Rumpf**	**Beine**
WK 1	+/-	+/-	+/-	+/-	-	-
WK 2	+	+/-	+/-	+/-	-	-
WK 3	+	+	+/-	+/-	+/-	-
WK 4	+	+	+	+	+/-	+/-
WK 5	+	+	+	+	+	+/-

2.5 Leistungsfaktoren im Tischtennis

Eine sportliche Leistung ist nach THIEß und SCHNABEL (1986, 95) die *„Leistung bei einer sportlichen Tätigkeit, d.h. Einheit von Vollzug und Ergebnis einer sportlichen Handlung oder einer komplexen Handlungsfolge, gemessen bzw. bewertet an bestimmten gesellschaftlich determinierten, vereinbarten Normen."*

Dass sich die sportliche Leistung aus mehreren einzelnen Fähigkeitsbereichen, Faktoren und Bedingungen zusammensetzt, beschrieben unter anderem EHLENZ, GROSSER, ZIMMERMANN und ZINTL (1995). Sie verdeutlichen in diesem Kontext auch, dass alle Teilaspekte sich wechselseitig beeinflussen. Dies verdeutlicht ihr Schema zur sportlichen Leistung.

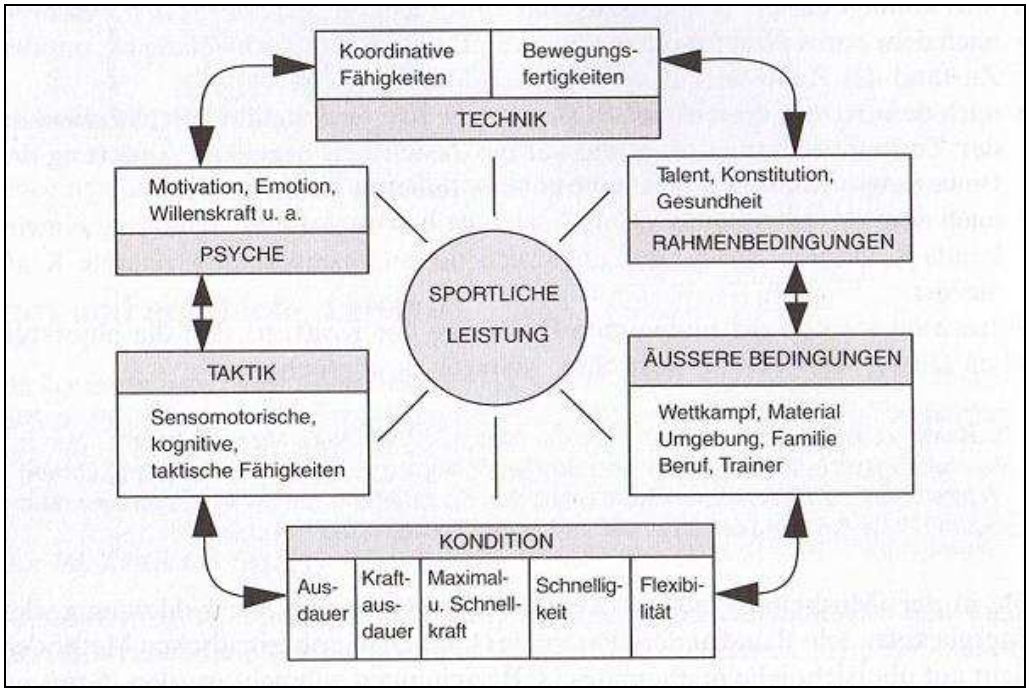


Abb. 3. Mögliche Komponente der sportlichen Leistung

Die Sportwissenschaft beschäftigt sich bereits sehr lange mit dem Thema der sportlichen Leistung und ihrer bestimmenden Komponenten. So wurde die Entwicklung unter anderem von SCHNABEL, THIEß, LETZELTER, HARRE, BAUERSFELD, SCHRÖTER und FRIEDRICH immer weiter vorangetragen. Jeder erkannte neue Zusammenhänge, fügte Leistungsfaktoren hinzu oder gliederte die bestehenden neu und half somit, die sportlichen Leistungen besser zu verstehen. Aus allgemeinen Übersichten formten sich spezielle Diagramme und aus unspezifischen Theorien entwickelten sich sportartspezifische Definitionen.

So geschah es auch im Tischtennissport. Zu Beginn der 1990er Jahre haben WOHLGEFAHRT (1992) sowie FRIEDRICH (1992) versucht das bekannte System der Entstehung von sportlicher Leistung auf den Tischtennissport anzuwenden. Ziel war es ein spezifisches Leistungssystem zu bestimmen. Beide Systeme haben Gemeinsamkeiten, unterscheiden sich jedoch in gewissen Punkten erheblich. Während WOHLGEFAHRT die Leistungsfaktoren Technik und Koordination voneinander trennt, bilden sie bei FRIEDRICH einen gemeinsamen Faktor (siehe Abb. 4). Hingegen unterscheidet FRIEDRICH explizit zwischen der Psychologie, dem sozialen Umfeld und der Sportlerpersönlichkeit als Leistungsfaktoren, die WOHLGEFAHRT unter dem

Punkt Charaktereigenschaften/ Psychische Verhaltens- und Steuereigenschaften zusammenfasst. Ebenso wird deutlich, dass WOHLGEFAHRT die Gliederung in personelle und äußere Faktoren beibehalten hat, FRIEDRICH dagegen diese Trennung aufhebt.

Abb. 4. Leistungsstruktur des TT-Sportspiels

Im Folgenden wird der Leistungsfaktor Technik genauer betrachtet, da zwischen den Rollstuhltischtennisspielern mit verschiedenen Behinderungsgraden Unterschiede in den motorischen Fähigkeiten erwartet werden und die bestehende Klassifikation daraufhin untersucht wird.

Eine sportliche Technik ist ein *„in der Praxis erprobtes, aufgrund der allgemeinen Voraussetzungen der Menschen realisierbares charakteristisches Verfahren der Lösung einer sportlichen Bewegungsaufgabe."* (THIEß & SCHNABEL 1986, S. 150).

Die besondere Bedeutung und Wichtigkeit des Leistungsfaktors Technik im Tischtennissport heben immer wieder Wissenschaftler und Trainer heraus. So schrieben bereits GOTTLÖBER und OELSCHLÄGEL (1980, S. 19), dass *„das wettkampfstabile Beherrschen der technischen Fertigkeiten hinsichtlich ihrer motorischen Ablaufgenauigkeit und der nach Spielsituation variablen Anwendung […] Bedingung für den Erfolg im Wettkampf* (ist /Einf. T. M.)*, da die Mehrzahl aller spieltaktischen Maßnahmen auf dem zweckmäßigen Einsatz individueller technischer Fertigkeiten beruht."* Kurz und prägnant drücken es HOTZ und MUSTER (1993) mit der Formel *„Gestaltungsqualität verlangt Strukturqualität"* (in: WOHLGEFAHRT 2004, S. 59) aus. Für den Lehrausschuss des Deutschen Tischtennis Bundes (DTTB) kommt der *„Technik von Schlagbewegungen in einer so komplexen Sportart wie Tischtennis eine besondere Bedeutung zu. Gerade in der Anfängerschulung müssen Grundlagen geschaffen werden, die Basis für ein erfolgreiches Spiel als Jugendlicher und Erwachsener sind. Dabei sind biomechanische und taktische Aspekte ebenso zu beachten wie eine solide Schlagsicherheit und die Möglichkeit zu Schlagvariationen."* (DTTB 2000, in: WOHLGEFAHRT 2004, S. 59)

Für die Strukturierung des Leistungsfaktors Technik unternahm GROß (1987) einen ersten Versuch. In seiner Übersicht unterscheidet er Technik mit und ohne Ball und versucht *„Schlagbewegungsfamilien"* (GROß 1987, S. 32) zu verdeutlichen.

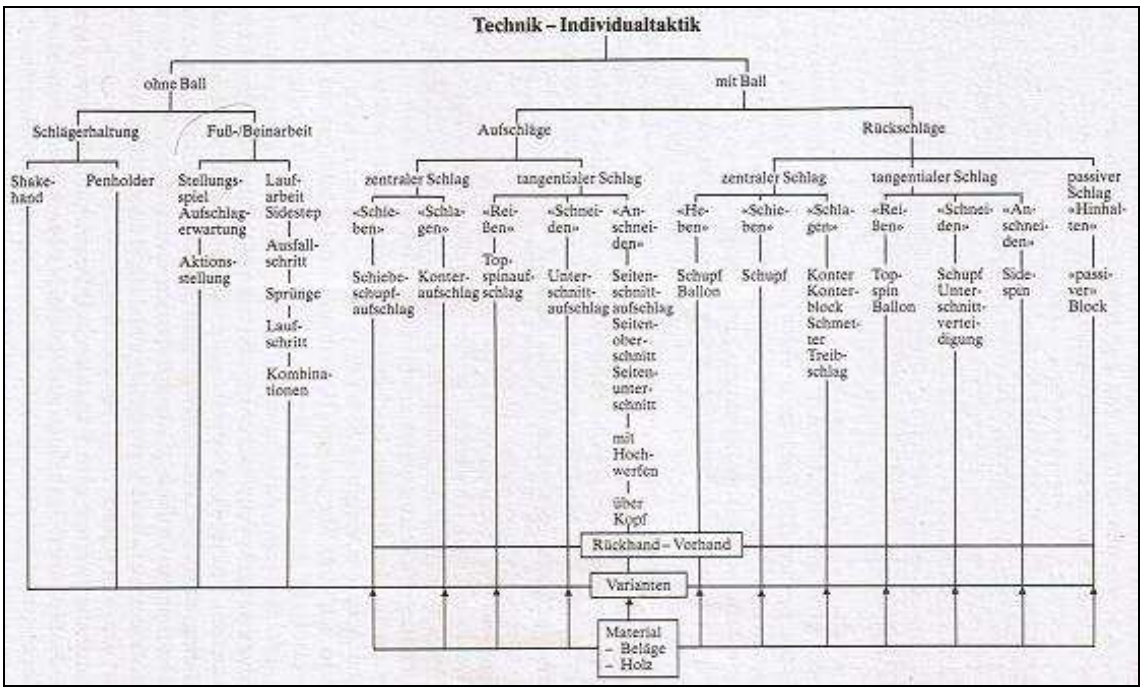


Abb. 5. Technik/Individualtaktik im Tischtennis

Während jedoch der Begriff „Technik“ ein abstraktes Verfahren beschreibt, wird das „sporttechnische Können“ von individuellen Leistungsvoraussetzungen gekennzeichnet. Es entwickeln sich *„aus ursprünglich willkürlichen Handlungsformen durch Übung automatisierte und stabilisierte Systeme sensomotorischer Kopplungen zur Steuerung umgrenzter Handlungsabläufe.“* (CLAUS 1976, in: WOHLGEFAHRT 2004, S. 62) Daraus resultiert, dass sporttechnische Fertigkeiten Produkte der Erlernung von sportlichen Techniken und ebenso koordinative Voraussetzungen für deren Realisierung in sportlichen Handlungen sind. (WOHLGEFAHRT 2004)

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang der Techniken und des sporttechnischen Könnens im Tischtennis.

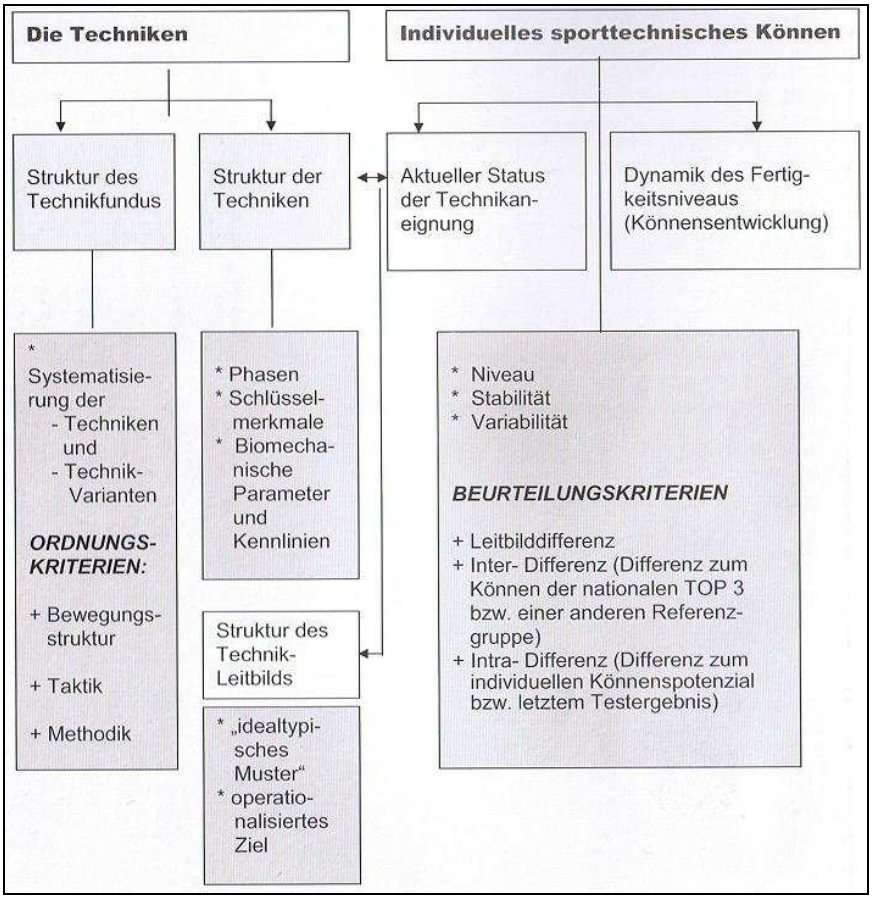


Abb. 6. Strukturelemente des Leistungsfaktors Technik und deren Verknüpfung

Der Leistungsfaktor Technik ist sehr eng mit dem Leistungsfaktor der Koordination verbunden. Für WOHLGEFAHRT (2004) sind die koordinativen Fähigkeiten Voraussetzung für die Realisierung von sporttechnischen Fertigkeiten. Diese Erkenntnis lässt sich auch in seiner Forderung, nach einer zentralen Rolle der elementartechnischen und koordinativen Vorbereitung der Nachwuchsathleten im TT-ABC, erkennen.

Eine kurze, aber treffende Definition von Koordination hat HOLLMANN entwickelt: *„Koordination ist das Zusammenwirken von Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufs“* (in: DTTB 2008, S. 1). Die Benennung und Zugehörigkeit der einzelnen koordinativen Fähigkeiten hat sich im Lauf der letzten Jahrzehnte ständig verändert und weiterentwickelt. Der DTTB (2008) hat folgende Gliederung der Fähigkeiten vorgenommen.

Abb. 7. Die koordinativen Fähigkeiten

Eine Pilotbefragung von sieben Bundes- und Landestrainern im Tischtennis hat folgende Rangfolge unten den koordinativen Fähigkeiten für den Tischtennissport ergeben.[3]

Tab. 2. Einflussstärke der koordinativen Fähigkeiten auf die Spielleistung im Tischtennis (Maximalpunktzahl 7)

Rangfolge	Koordinative Fähigkeit	Durchschnittliche Punktzahl
1.	Differenzierungsfähigkeit	6,8
2.	Kopplungsfähigkeit	6,3
3.	Antizipationsfähigkeit	6,2
4.	Anpassungs-/ und Umstellungsfähigkeit	5,8
5.	Gleichgewichtsfähigkeit	5,7
6.	Orientierungsfähigkeit	5,3
7.	Reaktionsfähigkeit	4,8
8.	Rhythmisierungsfähigkeit	4,2

2.6 Bedeutung, Eigenschaften und Technikbeschreibung des Vorhand-Topspins

Innerhalb einer Befragung von Bundes- und Landestrainern im Jahr 2000, wurden die Teilnehmer gebeten die Bedeutung der einzelnen Techniken für ein erfolgreiches Spiel zu bewerten. Wie aus Abbildung 5 deutlich hervorgeht, wird der Vorhand-Topspin einheitlich als wichtigste Technik gekennzeichnet.

[3] *„Antizipation ist keine koordinative Fähigkeit. Sie soll dennoch mit aufgenommen werden, da sie eine entscheidende Rolle bei der Orientierungs- und Reaktionsfähigkeit spielt.“* (DTTB 2008, S. 2)

Schlagtechniken	Vorhand		Rückhand	
Schupf	4,83	(1-7)	5,34	(2-7)
Topspin	7,00	(7)	6,50	(5-7)
Block	5,34	(3-7)	6,17	(5-7)
Flip	5,50	(4-7)	5,50	(4-7)
Konter	2,17	(1-3)	4,00	(1-6)
Ballon	1,50	(1-2)	1,50	(1-3)
Schmetter	2,83/1e	(0-5)	2,33/1e	(0-5)
Abwehr	0,83/2e	(0-2)	0,83/2e	(0-2)
Beinarbeit	6,67	(6-7)		

Abb. 8. Bedeutung ausgewählter Techniken – Orientierungswerte
(7 Pkte.= höchste Bedeutung; e – ohne Wertung; in Klammern: Variation der Expertenurteile)

Da der Vorhand-Topspin diese herausgehobene Bedeutung für den Erfolg im Tischtennis besitzt und keine vergleichbaren Daten für das Rollstuhltischtennis vorhanden sind, wurde diese Technik als Untersuchungsgegenstand gewählt.

Der DTTB (2007, S. 20) unterscheidet zwischen zwei Arten des Vorhand-Topspins.

- *„Der Vorhand-Topspin auf Unterschnitt*

  Die Rotation spielt hier gegenüber der Geschwindigkeit eine dominierende Rolle. Es ist aber auch möglich, diesem Ball viel Tempo zu verleihen.
- *Der Vorhand-Topspin auf Überschnitt*[4]

  Diese Variante des Topspin hat die Geschwindigkeit als dominante Komponente des Ballfluges. Die Rotation des Balles spielt aber trotzdem eine große Rolle.“

Diese Definitionen lassen erkennen, dass einmal die Rotation und einmal die Geschwindigkeit als entscheidende Komponente gesehen wird. Auf Grund des vorhandenen Geschwindigkeitsunterschiedes spricht man auch von einem langsamen (gegen Unterschnitt) und einem schnellen (gegen Oberschnitt) Vorhand-Topspin. Die größten Unterschiede eines schnellen gegenüber einem langsamen Vorhand-Topspin sind:

- *„Die Bewegung erfolgt mehr von hinten nach vorne. Der Schläger ist etwas mehr geschlossen.*
- *Der Ball wird etwas früher getroffen, am höchsten Punkt oder bereits in der aufsteigenden Phase des Ballfluges.*
- *Der Schlagansatz ist höher als beim Topspin mit viel Rotation.*
- *Die Ballflugkurve ist flacher.*
- *Der schnelle Vorhand-Topspin sollte, insbesondere im Wettkampf, als Endschlag eingesetzt werden.“* (DTTB 2007, S. 25)

Durch seinen Rotationsgehalt bringt der Vorhand-Tospin als Angriffsschlag mehrere Vorteile mit sich:

- *„Er ermöglicht dem Spieler, auf Unterschnittbälle die Initiative zu ergreifen – die Balldrehung erfolgt in gleicher Richtung.*

[4] Im Folgenden wird Überschnitt immer durch Oberschnitt ersetzt. Beide Begriffe beschreiben denselben Sachverhalt.

- *Der Spieler hat selbst die Möglichkeit, den Spin des Balles zu variieren. Er stellt den Gegner vor das Problem, diese unterschiedlichen Rotationsstärken erkennen und kontrollieren zu müssen.*
- *Die deutlich gekrümmte Flugbahn des Balles führt dazu, dass der Ball trotz hoher horizontaler Geschwindigkeit noch die Tischhälfte des Gegners trifft (Magnuseffekt).“* (DTTB 2007, S. 20)

Aus diesen diversen Vorteilen, die der Vorhand-Topspin einem Spieler bietet, ergibt sich auch das Hauptziel dieser Schlagtechnik.

- *„Der Vorhand-Topspin hat das Ziel, über Rotation, Platzierung und Tempo des geschlagenen Balles den Punkt zu erzielen oder einen Punktgewinn unmittelbar vorzubereiten.“* (DTTB 2007, S. 20)

Zunächst können alle Schläge im Tischtennis in eine Vierphasenstruktur gegliedert werden. Diese Phasen sind erstens die Ausgangsposition, zweitens die Ausholphase, drittens die Schlagphase und Balltreffpunkt und viertens die Ausschwungphase.

Die Ausgangsposition orientiert sich im Verlauf eines Ballwechsels hauptsächlich am ankommenden Ball. Somit ist sie als eine Zwischenposition zwischen Ausschwungphase des letzten und Ausholphase des nächsten Schlages zu verstehen. Lediglich vor dem Rückschlag des gegnerischen Aufschlages ist diese Position nahezu statisch.

Die Aufgabe der Ausholphase ist es die Bedingungen für einen optimalen und ökonomischen Schlag herzustellen. Bei Techniken mit einer großen Bewegungsamplitude ist es charakteristisch, dass die Ausholbewegung der vorzubereitenden Schlagtechnik entgegengesetzt ist. So wird der Schlagarm z.B. vor einem Topspin nach hinten unten geführt, der Rumpf durch eine Drehbewegung nach hinten gedreht, das Bein der Schlagarmseite nach hinten versetzt und das Körpergewicht zu einem Großteil darauf verlagert. Während des Zurückführens des Schlagarms werden zeitgleich auch die Höhe des Schlagansatzes und die Schlägerblattstellung gewählt.

Die Schlagphase fordert den gesamten Körper. Durch die Rotation des Rumpfes, die Schulter- und Armbewegung und die unterstützende Gewichtsverlagerung werden alle Partien des Körpers beansprucht.

Im Balltreffpunkt gibt es keine Möglichkeiten mehr die begonnene Bewegung zu verändern. Daher sollten bereits vorher alle Teilbereiche auf das Ziel der Bewegung abgestimmt sein.

Nach dem Treffen des Balles wird der Körper durch die Ausschwungphase in einen Gleichgewichtszustand gebracht. Die Schlagbewegung wir abgefangen und eine Orientierungs-/Übergangsphase zur Vorbereitung des nächsten Schlages schließt sich an. (DTTB 2007)

Vor der folgenden Technikbeschreibung muss aufgrund der verschiedenen Quellen auf einen wichtigen Punkt hingewiesen werden. Die Bilderreihe zum Vorhand-Topspin aus WOHLGEFAHRT (2004) zeigt vier markante Eckpunkte der Bewegung (Ausgangsstellung, Umkehrpunkt, Balltreffpunkt und Ausschwung). Die Übersicht aus der Lehrplanreihe des DTTB (2007) beschreibt hingegen drei Bewegungsphasen zwischen den einzelnen Bildern. Jedoch können alle Teilaspekte der Bewegung gut nachvollzogen werden.

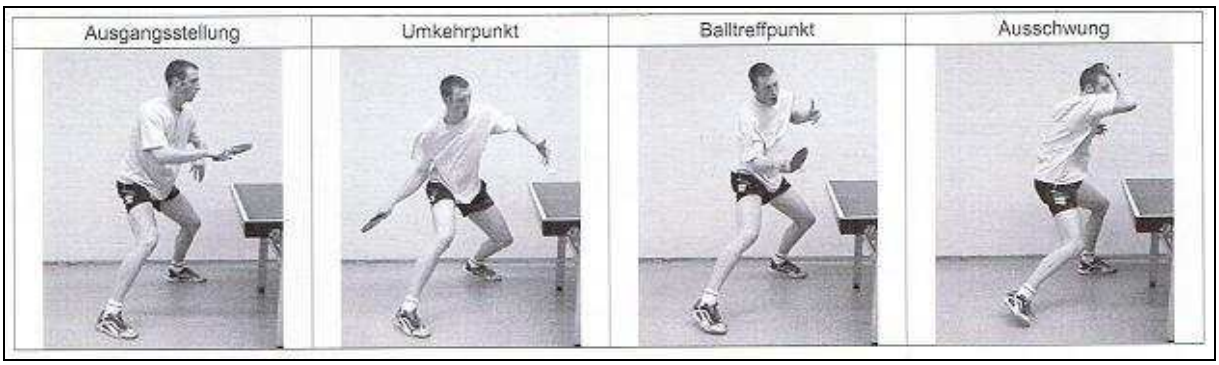


Abb. 9.1. Vorhand-Topspin gegen Oberschnitt

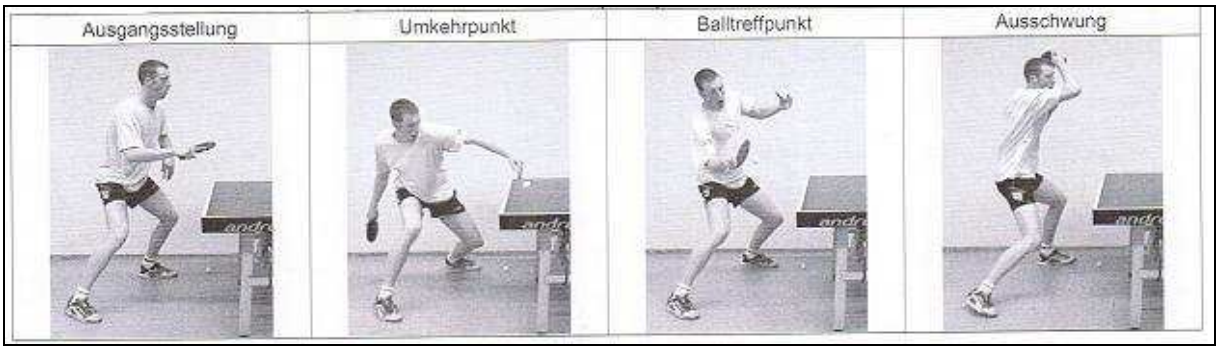


Abb. 9.2. Vorhand-Topspin gegen Unterschnitt

Tab. 3. Technikbeschreibung zum Vorhand-Topspin gegen Ober- und Unterschnitt

Vorhand-Topspin	Stellung und Bewegung der Beine	Stellung und Bewegung des Rumpfes	Stellung und Bewegung von Arm und Schläger
Ausholphase	• Füße schräg zur Grundlinie des Tisches • Rechtes Bein hinten • Körpergewicht wird auf das hintere Bein verlagert	• Die rechte Schulter und die rechte Hüfte werden nach hinten gedreht • Die rechte Schulter wird mit der Drehung leicht nach hinten unten abgesenkt	<u>Auf Unterschnitt:</u> • Schläger wird durch ein Strecken des Unterarmes nach unten höchstens auf Höhe des rechten Knies zurückgeführt • Schläger gerade bis leicht geschlossen <u>Auf Überschnitt:</u> • Schläger wird durch ein Strecken des Unterarmes in Höhe der rechten Hüfte zurückgeführt • Schläger ist stark geschlossen • Mit fast gestrecktem Arm ist der Ellbogen vom Körper entfernt

Vorhand-Topspin	Stellung und Bewegung der Beine	Stellung und Bewegung des Rumpfes	Stellung und Bewegung von Arm und Schläger
Schlagphase und Ball-treffpunkt	• Gewichtsverlagerung vom hinteren auf das vordere Bein	• Gewichtsverlagerung durch eine aktive Rumpfdrehung (Schulter- und Hüftdrehung) in Schlagrichtung	• Schläger und Unterarm werden durch ein Beugen im Ellbogengelenk und Handgelenkeinsatz explosiv nach vorne oben beschleunigt • Der Schläger bleibt auf einer Ebene • Der Ball wird tangential seitlich vor dem Körper getroffen
Ausschwung-phase	• Körpergewicht auf dem linken Bein	• Die rechte Schulter und die rechte Hüfte drehen weiter nach vorne bis der Rumpf etwa parallel zur Grundlinie des Tisches steht	• Der Unterarm wird angewinkelt bis der Schläger in Stirnhöhe ausschwingt • Der Ellbogen befindet sich etwa in Schulterhöhe

Aus der eingangs zitierten Definition des DTTB zum Vorhand-Topspin ergibt sich, dass die Geschwindigkeit des Balles eine entscheidende Rolle für den Erfolg des Schlages einnimmt. Daraus ergibt sich, dass auch die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Schlagarms des Spielers wichtige Faktoren darstellen. Jedoch kann dieser Teilaspekt des Gesamtschlages aus diversen Gründen nicht in Richtzahlen ausgedrückt werden. Auswirkungen auf die Ausführung des Vorhand-Topspins können

- die individuelle technische Ausbildung des einzelnen Spielers,
- der taktische Einsatz des Schlages im Spielverlauf und
- die mentale, sowie konditionelle Verfassung des Spielers haben.

Auf Grund all dieser Faktoren muss der Vorhand-Topspin immer der aktuellen Spielsituation angepasst und variiert werden. Daher ist die Angabe von einer Richtgeschwindigkeit bzw. -beschleunigung für die Ausführung nicht sinnvoll.

2.7 Aktueller Forschungsstand

Im Laufe des letzen Jahrzehnts ist das wissenschaftliche Interesse am Tischtennis deutlich gestiegen. Vor allem aus dem asiatischen Raum sind in den vergangenen Jahren mehrere Arbeiten hervorgegangen, die sich mit der wissenschaftlichen Analyse von Schlagtechniken befassen. So haben zum Beispiel IINO und KOJIMA 2009 eine Arbeit zum Thema *„Kinematics of table tennis topspin forehands: effects of performance level and ball spin“* publiziert. IINO, MORI und KOJIMA veröffentlichten 2008 einen Artikel, in dem sie den Beitrag der Rotationen der oberen Extremitäten zur Schlägergeschwindigkeit beim Rückhandschlag gegen Ober- und Unterschnitt untersuchten *(„Contributions of upper limb rotations to racket velocity in table tennis backhands against topspin and backspin“).*

Aber auch in Russland entstanden wissenschaftliche Publikationen zum Tischtennis. Hier hat zum Beispiel INDIN mit zwei Arbeiten auf sich aufmerksam gemacht. Er veröffentlichte 2001 eine Studie zu möglichen technischen Veränderungen durch die Einführung des 40mm Balles unter dem Titel *„РЕЗЕРВЫ СКОРОСТИ УДАРНОГО ДВИЖЕНИЯ В НАСТОЛЬНОМ ТЕННИСЕ“*. Fünf Jahre später verfasste er seine Arbeit zum Thema *„АТАКУЮЩЕЕ УДАРНОЕ ДЕЙСТВИЕ В НАСТОЛЬНОМ ТЕННИСЕ“*, in der er sich mit Auswirkungen von Angriffsschlägen auseinander setzte.

Mit der Analyse des Vorhand-Flips haben sich YOSHIDA, ANDO, HIRUTA und IMOTO 2001 intensiv beschäftigt. Für ihre Untersuchung *„Three-dimensional analysis of the forehand flick stroke in top Japanese table tennis players“* konnten sie drei japanische Spitzenspieler gewinnen und diese mittels elektromagnetischer Bewegungssensoren sehr genau mit 3D-Technik analysieren.

In Deutschland hat WOHLGEFAHRT (2004) in seinem Buch *„Spezielle Trainingslehre. Tischtennis“* eine Pilotstudie veröffentlicht, in der er das Niveau des sporttechnischen Könnens und die Stabilität der Technikausführung zwischen Athleten im Grundlagen- und Aufbautraining untersuchte.

Das Robot Learning Lab des Department for Empirical Inference & Machine Learning am Max-Planck-Institute for Biological Cybernetics in Tübingen verfolgt das Ziel Robotern menschenähnliche Leistungen durch ein allgemeines Konzept des motorischen Lernens zu vermitteln. Eine spezielle Forschungsgruppe befasst sich damit einem Roboter Tischtennisspielen beizubringen. Auf Grundlage von einfachen motorischen Informationen des Menschen, soll der Roboter komplexe Bewegungsabläufe (z.B. für Tischtennis) selbst finden.

Die Auflistung dieser Arbeiten stellt nur einen Teil der wissenschaftlichen Arbeit im Tischtennis dar. Die Auswahl soll das wachsende Interesse und die Internationalität der Autoren aufzeigen.

Für den Arbeitsbereich des Behindertentischtennis gibt es deutlich weniger wissenschaftliche Veröffentlichungen. Die Literaturrecherche zu diesem Kapitel hat lediglich zwei Arbeiten zum Ergebnis gehabt, wobei sich eine mit geistig behinderten Tischtennisspielern und die andere mit Rollstuhltischtennis beschäftigt. Die Gruppe VAN BIESEN, VERELLEN, MEYER, MACTAVISH, VAN DE VLIET und VANLANDEWIJCK präsentierte 2010 die Ergebnisse ihrer Arbeit, in der sie sich mit der Anpassungsfähigkeit an Rotationsvariationen des Auf- und Rückschlages von Spitzenspielern im Tischtennis von Geistigbehinderten (*„The ability of elite table tennis players with intellectual disabilities to adapt their service/return*“) befassten. Im Bereich des Rollstuhltischtennis hat DOESSELER im Jahr 2008 seine Hausarbeit zur Erlangung der Trainer A-Lizenz des DTTB zum Thema *„Unterschiede in der Schlagtechnikausführung und Rotationsentwicklung im Spitzensport in den Wettkampfklassen 1, 2 und 3“* geschrieben. DOESSELER bearbeitet in dieser Hausarbeit jedoch nicht das Themengebiet der vorliegenden Arbeit.

3 Hypothesen

Nach einer ärztlichen Diagnose entscheiden ausgebildete Klassifizierer über die Eingliederung der Sportler in die aktuell bestehenden Wettkampfklassen im Rollstuhltischtennis. Die Funktionalität von wichtigen Muskelgruppen und der damit verbundene willentliche Einsatz von Körperteilen sind dafür ausschlaggebend. Für diese Klassifikation wird die kinematische Analyse von sportartspezifischen Schlagarten nicht berücksichtigt.

Meine Arbeit greift diese Lücke in der Klassifikation auf und untersucht bestehende Wettkampfklassen im Rollstuhltischtennis hinsichtlich einiger sporttechnischer Items. Auf Grund mangelnder wissenschaftlicher Vorleistungen wird sich diese Pilotstudie dem Themenfeld nähern.

Die Untersuchungen für diese Arbeit werden sich auf die Wettkampfklassen 3, 4 und 5 im Rollstuhltischtennis konzentrieren. Diese drei Klassen wurden nicht willkürlich gewählt. Im Gegensatz zu den Wettkampfklassen 1 und 2 liegen bei allen Spielern dieser drei Klassen nur geringe oder keine funktionellen Einschränkungen des Schlagarmes vor. Auf Grund der nahezu gleichen Behinderungen des Schlagarmes und der geringen Aktivenanzahl (im Rollstuhl-Tischtennis Sport) fasst auch der FB-TT diese drei Wettkampfklassen bei Ranglistenturnieren, der Deutschland-Pokal Serie und im nationalen Liga-System in einer Leistungsklasse zusammen. Dabei kommt es jedoch nicht zu einer Bevorteilung von stärker behinderten gegenüber leichter behinderten Spielern.

Als Vergleichsgegenstand wurde der Vorhand-Topspin gegen Oberschnitt bestimmt. Der Topspinschlag wird unter Bundes- und Landestrainern als wichtigster Schlag angesehen (siehe 2.6).

Auf der Basis der vorangegangenen Literaturrecherche und den vorliegenden Forschungsergebnissen wurde die Kernthese (KT) dieser Arbeit erstellt.

- KT: „Es wird erwartet, dass Unterschiede in der technischen Ausführung des Vorhand-Topspins im Rollstuhltischtennis zwischen den untersuchten Wettkampfklassen deutlich werden.“

Um diese Kernthese zu bearbeiten wird der Vorhand-Topspin, mit Hilfe von zwei verschiedenen Gruppen von Items untersucht. Die Strukturierung der Items spiegelt sich in den Teilthesen (TT) wider.

- TT-1: „Der Behinderungsgrad der Probanden, entsprechend der Wettkampfklassen 3, 4 und 5, lässt sich anhand der Winkelstellung in Umkehrpunkten zwischen der Aushol- und Schlagbewegung bestätigen. Dabei wird erwartet, dass die Probanden der Wettkampfklasse 5 die größten und die Probanden der Wettkampfklasse 3 die kleinsten Winkelstellungen aufweisen.“

- TT-2: „Die Probanden werden sich, entsprechend der Wettkampfklassen 3, 4 und 5, anhand der Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte des Schlagarmes in der Schlagphase voneinander abheben. Es wird erwartet, dass Sportler der Wettkampfklasse 3 die niedrigsten und Sportler der Wettkampfklasse 5 die höchsten Werte aufweisen.“

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Auswahl der Untersuchungsmethode

Die Sportwissenschaft ist ein Teil der Sozial- und Verhaltenswissenschaften. Diese Einordnung bringt ein sehr breites Spektrum an wissenschaftlichen Arbeitsmethoden mit sich. Die Sozialforschung unterscheidet vier Hauptmethoden für die Erhebung von empirischen Daten.

- Die Beobachtung

  „Unter Beobachtung verstehen wir das systematische Erfassen, Festhalten und Deuten sinnlich wahrnehmbaren Verhaltens zum Zeitpunkt seines Geschehens." (ATTESLANDER, 2003, S. 79)

- Die Befragung

  „Befragung bedeutet Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Personen. Durch verbale Stimuli (Fragen) werden verbale Reaktionen (Antworten) hervorgerufen: Dies geschieht in bestimmten Situationen und wird geprägt durch gegenseitige Erwartungen. Die Antworten beziehen sich auf erlebte und erinnerte soziale Ereignisse, stellen Meinungen und Bewertungen dar." (ATTESLANDER, 2003, S. 120)

- Das Experiment

  Als Experiment wird eine *„wiederholbare Beobachtung unter kontrollierten Bedingungen, wobei eine (oder mehrere) unabhängige Variable(n) derartige manipuliert wird (werden), daß eine Überprüfungsmöglichkeit der zugrunde liegenden Hypothese (Behauptung eine s Kausalzusammenhangs) in unterschiedlichen Situationen gegeben ist"* (ZIMMERMANN, 1972, S. 37), verstanden.

- Die Inhaltsanalyse

  „Inhaltsanalyse ist eine Methode der Datenerhebung zur Aufdeckung sozialer Sachverhalte, bei der durch die Analyse eines vorgegebenen Inhalts (z.B. Text, Bild, Film) Aussagen über den Zusammenhang seiner Entstehung, über die Absicht seines Senders, über die Wirkung auf den Empfänger und/oder auf die soziale Situation gemacht werden.." (ATTESLANDER, 2003, S. 225)

Jede dieser Methoden kann in zwei verschiedenen Richtungen durchgeführt werden. Zum einen die quantitative und zum anderen die qualitative Forschungsrichtung. Beide Formen der Datenerhebung haben das Ziel *„Ausschnitte der Realität, die in einer Untersuchung interessieren, möglichst genau zu beschreiben oder abzubilden."* (BORTZ & DÖRING, 1995, S. 127) Auf unterschiedlichen Wegen versuchen beide Formen dieses Ziel zu erreichen. Sie bringen einen bestimmten, eigenen Informationsgehalt mit sich und haben eine gewisse Aussagekraft. Natürlich gibt es Vor- und Nachteile und einen Grad von Fehleranfälligkeit auf beiden Seiten.

Grundlage der quantitativen Forschung ist die empirische Überprüfung von Hypothesen mit Daten, die nach mathematischen Regeln be- und verarbeitet werden können. Theoretische Begriffe werden über Operationalisierungen in Variablen überführt, die numerisch erhoben werden. Die Variablen können

mittels metrisch (z.B. Alter, Körpergröße, Verdienst), ordinal (Rangordnungen, z.B. Vergabe von Schulnoten) und nominal skalierten (Klassifizierungen, z.B. männlichen – weiblich) Daten Informationen in sich tragen. Zur Auswertung der Daten bzw. Überprüfung der Hypothesen wird nahezu immer auf die mathematischen Grundlagen der Statistik zurückgegriffen. (ERZBERGER, 1998) Die quantitative Forschung hebt sich unter anderem noch durch die Standardisierung der Abläufe von der qualitativen Forschung ab (z.B. durch standardisierte Fragebögen für Befragungen). (HOPF & WEINGARTEN, 1984)

„Besteht das Ausgangsmaterial aus Beobachtungen, Erhebungen, Registrierungen, Beschreibungen etc., die nicht-numerischer Arten sind, dann wird von qualitativer Ausgangsinformation gesprochen." (ROGGE, 1995, S. 243) Dies können Beobachtungsprotokolle und Interviewtexte, Briefe, Zeitungsartikel, aber auch Fotos und Zeichnungen, Filme und Kleidungsstücke sein. Dieses Ausgangsmaterial muss eine oder mehrere Transformationen durchlaufen, damit sie als qualitative Daten nutzbar sind. (ROGGE 1995, 243) Um qualitative Daten zu erheben ist es also nicht oder in geringem Maße notwendig, den Untersuchungsvorgang zu standardisieren. (BORTZ & DÖRING, 1995, S. 272)

Der Unterschied zwischen quantitativer und qualitativer Forschung soll nun kurz am Beispiel Beobachtung verdeutlicht werden.

„Qualitative Beobachtungen arbeiten mit offenen Kategorien bzw. Fragestellungen, erfassen größere Einheiten des Verhaltens und Erlebens und finden im natürlichen Lebensumfeld bei meist aktiver Teilnahme des Beobachters statt. Im Unterschied dazu operieren quantitative Beobachtungen mit einem standardisierten Beobachtungsplan, fordern Angaben auf Variablenebene und finden im Labor oder im Feld statt, wobei sich der Beobachter meist nicht am Geschehen beteiligt." (BORTZ & DÖRING, 1995, S. 297)

Egal für welche Forschungsmethode und Forschungsrichtung man sich entscheidet, es müssen stets grundlegende Kriterien der empirischen Forschung erfüllt sein. Die Objektivität, die Reliabilität und Validität seien hier als Hauptkriterien genannt, wobei die Validität (Gültigkeit) das wichtigste Kriterium darstellt.

- Validität

  „Die Validität eines Tests gibt an, wie gut der Test in der Lage ist, genau das zu messen, was er zu messen vorgibt." (BORTZ & DÖRING, 1995, S. 185) Die Validität kann auf drei Teilbereiche bezogen werden:

  - Inhaltsvalidität
  - Kriteriumsvalidität
  - Konstruktvalidität

- Objektivität

  „Die Objektivität eines Tests gibt an, in welchem Ausmaß die Testergebnisse vom Testanwender unabhängig sind." (BORTZ & DÖRING, 1995, S. 180) Es liegen drei Formen der Objektivität vor:

  - Durchführungsobjektivität
  - Auswertungsobjektivität
  - Interpretationsobjektivität

- Reliabilität

  „Die Reliabilität eines Tests kennzeichnet den Grad der Genauigkeit, mit dem das geprüfte Merkmal gemessen wird." (BORTZ & DÖRING, 1995, S. 181) Es stehen vier Methoden zur Untersuchung der Genauigkeit zur Verfügung:

  - Retest-Reliabilität
  - Paralleltest-Reliabilität
  - Testhalbierungs-Reliabilität
  - Interne Konsistenz

Jeder Test kann in so viele Testteile zerlegt werden, wie er Items enthält. Die Korrelation zwischen den einzelnen Items zeigt die tatsächliche Varianz an. (BORTZ & DÖRING, 1995)

Die sportwissenschaftliche Forschung teilt sich in verschiedene Forschungsgebiete auf. Eine dieser Teilwissenschaften ist die Biomechanik. Sie ist für die Beschreibung und die Erklärung der Erscheinungen und Ursachen von menschlichen Bewegungen eine wissenschaftliche Grundlage. In der biomechanischen Forschung werden drei Untersuchungsziele unterschieden: Die Anthropometrische Biomechanik, die Leistungsbiomechanik und die Präventive Biomechanik. Die nachstehende Abbildung vertieft diese Grobeinteilung nochmals.

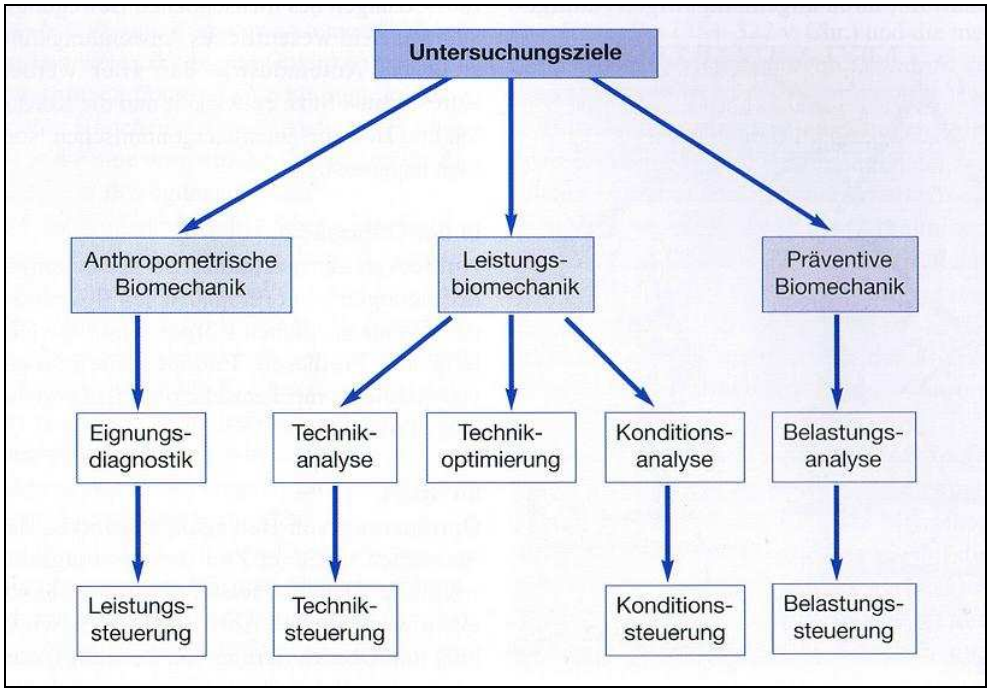


Abb. 10. Untersuchungsziele der Sportbiomechanik

Um diese Ziele erreichen zu können, wurden spezielle biomechanische Untersuchungsmethoden entwickelt. Abbildung 11 zeigt einen Überblick über diese Methoden.

	Sichtbarmachen (-skopie)	Aufzeichnen (-grafie)	Messen (-metrie)
	Bewegungs-sichtbarmachung (Kinegrafie, Video)	**Bewegungs-(Kinegrafie)**	**Bewegungs-(Kinemetrie)**
Kinematik	Zeit (Choro-) Winkel (Gonio-) Geschwindigkeit (Speedo-) Winkelgeschwindigkeit Beschleunigung (Accelero-) Winkelbeschleunigung Frequenz	Weg, Länge (Longi-) Zeit (Choro-) Winkel (Gonio-) Geschwindigkeit (Speedo-) Winkelgeschwindigkeit Beschleunigung (Accelero-) Winkelbeschleunigung Frequenz	Weg, Länge (Longi-) Zeit (Choro-) Winkel (Gonio-) Geschwindigkeit (Speedo-) Winkelgeschwindigkeit Beschleunigung (Accelero-) Winkelbeschleunigung Frequenz Körperschwerpunkt
Dynamik	Kraft (Dynamo-) Arbeit (Ergo-) Leistung Drehmoment Impuls Muskeltonus	Kraft (Dynamo-) Standfestigkeit (Stabilo-) Drehmoment Muskelpotenziale (Elektomyo-)	Kraft (Dynamo-) Arbeit (Ergometrie) Leistung Drehmoment Impuls Muskeltonus Masse Trägheitsmoment

Abb. 11. Biomechanische Untersuchungsmethoden

Aus der vorangegangenen Abbildung geht hervor, dass das Messen eine spezielle Methode der Biomechanik ist. Eine *„Messung ist das Abbilden der Ausprägung objektiver Eigenschaften oder Relationen auf einer Messskala. Dabei wird die zu messende Größe mit einer bekannten, als Maßeinheit dienenden Größe verglichen und in ihrem Skalenwert genau festgelegt."* (WICK, 2009, S. 132) Unter anderem hat das Messen folgende Vorteile:

- *„Messungen liefern genaue Informationen und verarbeitungsfähige Daten.*
- *Auf Grundlage von Messungen können allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden bzw. funktionale Beziehungen und allgemeine Gesetzmäßigkeiten formuliert werden.*
- *Es lassen sich präzise Kriterien für Objektivität, Reliabilität und Validität der Daten angeben."* (WICK, 2009, S. 133)

Eine biomechanische Messung muss einige Anforderungen zur Gewinnung von empirischem Wissen erfüllen. Ein wichtiger Punkt dabei ist:

- *„Die benötigten Wissensinhalte sind in einer Form zu erfassen, die ihre Speicherung für eine weitere Bearbeitung, Auswertung und für Vergleiche möglich macht. (Schrift-, Tonband-, Video-, fotografische, analoge und digitale Aufzeichnungen)."* (WICK, 2009, S. 132)

Für die Auswertung einer biomechanischen Messung sind verschiedene spezifische Messverfahren entwickelt worden. Als Beispiele können dafür dynamische Plattformen, Kraftaufnehmer, Lichtschranken, Lasergatter und die Videobildanalyse genannt werden. (WICK, 2009)

Für den Untersuchungsteil der vorliegenden Arbeit wurde entschieden eine biomechanische Messung durchzuführen. Diese wird von mehreren Kameras festgehalten und dokumentiert. Für die Auswertung

dieser erhobenen und digital gespeicherten Daten wird eine Videobildanalyse durchgeführt. Die Videobildanalyse erlaubt es, kinematische Parameter zu berechnen. Auf diesem Weg können alle Items für die Analyse der Teilthesen untersucht werden. Die Bearbeitung der Kernthese erfolgt anschließend auf den Ergebnissen der Teilthesen.

Mess-verfahren	Sportart	Mess-bedingungen	Messgröße	Biomech. Ergebnisse
Videobild-analyse	möglich in allen Sportarten	berührungslose Messungen	Koordinaten, Wege, Geschwindig-keiten, Beschleuni-gungen von Körperpunkten bzw. Sportgeräten, Gelenkwinkel	Eindrucks-analysen, Differenzen zu Modell-vorgaben, kinematische Parameter (s, v_0, a, Winkel etc.)

Abb. 12. Videobildanalyse als biomechanisches Messverfahren

Der theoretische Teil dieser Arbeit ist durch eine Literaturrecherche erarbeitet worden.

4.2 Realisierung der Untersuchung

4.2.1 Rahmenbedingungen

Nach mehrmaliger Rücksprache mit dem Vorsitzenden des FB-TT im DRS Winfried Prondzinski wurde die Erlaubnis für die Datenerhebung im Rahmen des Bundesranglistenturniers 2010 erteilt. Dieses Turnier fand am 17. Juli in Aalen-Unterkochen statt.

Die Bundesrangliste ist das höchste Ranglistenturnier auf Bundesebene. An einem Spieltag werden vier Spielklassen im Modus „Jeder gegen Jeden“ ausgetragen. Alle Spielklassen sind auf ein Teilnehmerfeld mit zwölf Athletinnen bzw. Athleten ausgelegt.

Für die Bundesrangliste werden die fünf Wettkampfklassen, die es laut Klassifikationssystem im Rollstuhltischtennis gibt, bei den Herren zu zwei, bei den Damen zu einer Spielklasse zusammengefasst. So spielen bei den Herren alle Sportler der Wettkampfklassen[5] eins und zwei in einer gemeinsamen Klasse und alle Sportler der WK drei, vier und fünf in einer zweiten Klasse. Aufgrund der größeren Teilnehmerzahl gibt es für die Spielklasse der WK drei, vier und fünf zwei Leistungsklassen. Die beiden Leistungsklassen setzen sich wie folgt zusammen: Leistungsklasse eins besteht aus den zehn bestplatzierten Spielern des Vorjahres, sowie dem Sieger und dem Zweitplatzierten der Leistungsklasse zwei des Vorjahres. Somit besteht die zweite Leistungsklasse aus den beiden Letzten (Platz elf und zwölf) des Vorjahres der ersten Leistungsklasse, den Dritt- bis Zehntplazierten des Vorjahres und zwei Aufsteigern. Die Aufsteiger in die Leistungsklasse zwei müssen sich über ein Qualifikationsturnier für die Bundesrangliste qualifizieren. Zu diesem Turnier können alle Vereine in Deutschland ihre Spieler anmelden, außer sie sind bereits für die Bundesrangliste qualifiziert.

[5] Im Folgenden immer durch WK abgekürzt.

Die für die Untersuchung relevante Gruppe der WK 3, 4 und 5 hätte somit in diesem Turnier mit 24 Athleten vertreten sein müssen. Leider sind jedoch fünf Spitzenspieler für ein Internationales Turnier in Taipeh nominiert worden, sodass sie nicht an der Bundesrangliste teilnehmen konnten.

Die Turnierleitung stellt einen separaten Tischtennistisch in einer Hallenecke für die Datenerhebung zur Verfügung. An diesem Tisch konnten alle technischen Hilfsmittel aufgebaut werden, ohne in den Spielbetrieb eingreifen zu müssen oder die laufenden Spiele zu stören.

Der enge Zeitplan des Turniers hatte zur Folge, dass sich alle Teilnehmer, die sich freiwillig für die Untersuchung bereiterklärt hatten, erst nach Beendigung des Spielbetriebs die Zeit für die Datenerhebung nehmen konnten. Jedoch fielen bereits einige Sportler während der Probandensuche als Teilnehmer aus. Manche planten ihre Heimreise unmittelbar nach Turnierende, sodass sie aus zeitlichen Gründen nicht zur Verfügung standen. Die Ausrichtung des Aufbaus auf Rechtshänder hatte zur Folge, dass einige Linkshänder nicht zur Datenerhebung herangezogen werden konnten. Ein weiterer Grund für den Ausfall mancher Athleten war die fehlende Motivation für eine Teilnahme. All diese Gründe führten schlussendlich dazu, dass nicht genügend männliche Probanden der WK 4 aufgenommen werden konnten. Alternativ konnte kurzfristige eine weibliche Sportlerin zur Teilnahme an der Untersuchung gewonnen werden.

Alle teilnehmenden Athleten zeigten sich sehr kooperativ und entgegenkommend. Des Weiteren begrüßten sie das wissenschaftliche Interesse am Rollstuhltischtennis, das, ihrer Meinung nach, dem Sport nur helfen kann.

4.2.2 Untersuchungsablauf

Vor dem Beginn der eigentlichen Datenerhebung wurden alle Probanden gebeten einen Personalbogen (siehe Anhang III) auszufüllen. Die meisten Teilnehmer erfüllten diese Aufgabe selbstständig und bereits während des laufenden Turniers. Nach Beendigung des Turniers kam jeder Proband einzeln an den Untersuchungstisch und bekam eine detaillierte Einweisung in und über den Ablauf der Untersuchung. Anschließend wurden letzte Fragen des Probanden beantwortet.

Zur Eingewöhnung an das neue Umfeld (Kameras, Licht, Ballroboter) am Untersuchungstisch bekam jeder Proband die Möglichkeit sich nach eigenem Ermessen am Tisch gegen den Ballroboter einzuspielen und die Untersuchungsbedingungen zu testen. Im Anschluss daran wurde der Teilnehmer an den relevanten Körperpunkten mit Markern, die zur Verbesserung des Auswertungsverfahrens dienen sollen, beklebt. Diese Marker wurden vermessen und die gewonnenen Daten im Personalbogen schriftlich festgehalten. Nun folgte der Hauptteil der Datenerhebung. Die beiden Videokameras wurden auf Aufnahme gestellt und es folgte ein Blitz der Digitalkamera, der im Nachgang eine Synchronisierung der beiden Videokameras ermöglichen soll. Der Teilnehmer wurde gebeten 15 Bälle nacheinander mit der Technik des Vorhand-Topspins gegen den Ballroboter zu spielen. Bei der Absolvierung dieser Aufgabe war es ihm freigestellt wie schnell er den Vorhand-Topspin spielt und welche Platzierung er für die einzelnen Schläge wählt. Nach Beendigung dieser Aufgabe wurden die Kameras ausgeschaltet, die Marker vom Teilnehmer entfernt und die Datenerhebung war für diesen Teilnehmer beendet.

Der Aufbau des Untersuchungsmaterials und die Einstellung aller Geräte geschahen während des laufenden Wettkampfgeschehens. Bevor der erste Teilnehmer aufgenommen wurde, ist der Eichwürfel, für die Kalibrierung der Auswertungssoftware, mit beiden Kameras aufgezeichnet worden.

4.2.3 Probandengruppe

Die untersuchten Teilnehmer gehören alle zu den besten Rollstuhltischtennisspielern Deutschlands. Die Gruppe von Probanden setzt sich aus je zwei Vertretern der WK drei, vier und fünf zusammen. Aufgrund der unter dem Gliederungspunkt 4.2.1 genannten Schwierigkeiten der Teilnehmergewinnung konnte die angestrebte Einheitlichkeit des Geschlechts nicht erreicht werden. Daher befinden sich fünf männliche und eine weibliche Probandin in der Untersuchungsgruppe.

Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die wichtigsten Daten, die aus den Personalbögen gewonnen wurden.

Tab. 4. Übersicht über Probandengruppe (BL: Bundesliga; RL: Regionalliga; k. A.: keine Angabe)

	Proband 1	**Proband 2**	**Proband 3**	**Proband 4**	**Proband 5**	**Proband 6**
Wettkampf-klasse	3	3	4	4	5	5
Geschlecht	männlich	männlich	männlich	weiblich	männlich	männlich
Alter (Jahre)	34	47	47	13	31	38
Trainingsalter (Jahre)	10	15	5	4	16	7
Training/Woche	3	3-4	2	4	2	1
Spielklasse	1. BL	k. A.	2. BL	RL	1. BL	1 BL
Verein	BSG-Duisburg-Buchholz	BSG-Duisburg-Buchholz	BSG Bielefeld	TTC Halle	RSV Bayreuth	RSC Frankfurt
Aktueller Kaderstatus	k. A.	kein Kader	kein Kader	Nach-wuchskader	kein Kader	k. A.

Die Probanden, die sich für eine Teilnahme an der Studie bereiterklärt hatten, sind der Leistungssportdefinition nach dem DBS im weiteren Sinne zuzuordnen. Bei einem wöchentlichen Trainingsaufwand zwischen einer und vier Trainingseinheiten, keiner Zugehörigkeit zum Bundeskader, abgesehen von einmal Nachwuchskader, und dem teilweise fortgeschrittenen Alter mancher Probanden muss diese Einteilung getroffen werden.

Das Bundesranglistenturnier stellte den einzig möglichen Termin für die Datenerhebung dar. Auf Grund des späten Zeitpunktes im Saisonverlauf und der geringen Anzahl an Wettkämpfen auf nationaler Ebene ergab sich keine zweite Chance, um die Qualität und Quantität der Probandengruppe zu verbessern.

4.2.4 Arbeitsmaterial

Während der Datenerhebung wurden mehrere technische Geräte und diverse Hilfsmittel verwendet. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über das verwendete Material.

Tab. 5. Übersicht über das verwendete Arbeitsmaterial

Material	Hersteller	Modell	Aufgabe
2x Videokamera	Panasonic	HDC-SM20	Aufnahme der Probanden
Digitalkamera	Kodak	EasyShare C613	Blitz zur Synchronisierung der Videokameras
Ballroboter	Donic	Newgy Donic Robo-Pong	Zuspielen der Bälle
2x Zusatzbeleuchtung			Ausleuchten des Messfeldes
Tischtennistisch	Joola	Rollomat	Grundinhalt des Tischtennisspiels
Tischtennisbälle	Andro	PX	Grundinhalt des Tischtennisspiels
Eichwürfel	Eigenbau des Instituts für Sportwissenschaft Jena		Kalibrierung der Auswertungssoftware

4.2.5 Aufbau

Zu Beginn des Versuchsaufbaus wurde der Tischtennistisch aufgestellt, mit einem Netz versehen und der Ballroboter hinter einer Grundlinie installiert. Die Einstellungen, die am Steuerpult des Roboters zur Verfügung stehen wurden wie folgt gewählt:

- Ball Speed: 5
- Ball Frequency: 3
- Oscillator Speed: 0

Hinter der gegenüberliegenden Grundlinie wurde der Eichwürfel aufgebaut. Dieser hat eine Seitenlänge vom 150cm, sowie einen Sockel mit einer Höhe von 50cm und wurde im Verhältnis zum Tisch um 45° gedreht, sodass eine Seitenkante des Würfels auf die Mittellinie der Tischhälfte zeigte.

Aus dem Blickwinkel des Roboters gesehen wurden nun die beiden linken Seitenflächen des Eichwürfels zur Bestimmung der Kamerapositionen genutzt. Genau von der Mitte beider Seiten wurde im 90° Winkel eine Strecke von 400cm ausgemessen und somit die Position des hinteren Fußes des Kamerastativs bestimmt. Durch diesen Aufbau hatten die Videokameras eine orthogonale Stellung zu einander und die Teilnehmer konnten von seitlich vorn und seitlich hinten aufgenommen werden. Die folgenden Einstellungen wurden an beiden Videokameras vorgenommen:

- 25^{-1} Vollbilder bzw. 50^{-1} Halbbilder
- Belichtungszeit: 1/1000s
- Zoom: minimal
- Höhe (Aufsteckplatte): Kamera 1 – 130cm

  Kamera 2 – 130,9cm

Direkt neben den Videokameras wurden die Zusatzbeleuchtungen installiert. Leuchte 1, neben Kamera 1, wurde in einer Höhe von 225cm platziert, um die Teilnehmer nicht zu blenden. Die zweite Leuchte hatte eine Höhe von 132,5cm, da hier keine Blendungsgefahr bestand.

Der Blitz der Digitalkamera, für die Synchronisierung der Kameras, wurde vor jedem Aufnahmedurchgang neu abgegeben. Dies geschah von einer Markierung aus, die 100cm neben der rechten Ecke (Blickwinkel hinter dem Roboter) des Eichwürfels auf dem Boden geklebt wurde. Die Digitalkamera befand sich dabei in einer Höhe von ca. 180cm. Da die Digitalkamera von einem Mitarbeiter bedient wurde und nicht auf einem Stativ befestigt war, kann die Höhe zwischen den einzelnen Aufnahmedurchgängen variieren.

Der gewählte Untersuchungsaufbau hat sich auf Grundlage eines Tests in Jena mit einer freiwilligen Rollstuhltischtennisspielerin ergeben. Der innerhalb dieses Tests gewählte Aufbau mit drei Kameras (Aufnahme von vorn, hinten und seitlich) stellte sich als unvorteilhaft heraus, sodass Verbesserungen an den Kamerapositionen und der Beleuchtung, sowie ein Wechsel der eingesetzten Kameras vorgenommen wurden.

Abb. 13. Versuchsaufbau

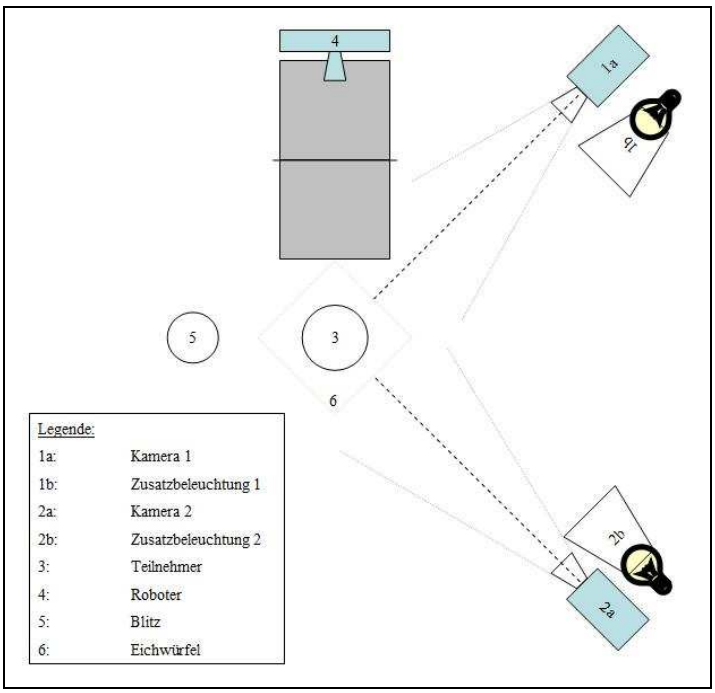


Abb. 14. Skizze des Versuchsaufbaus

4.2.6 Vorbereitung der Probanden

Jeder einzelne Teilnehmer musste vor den Aufnahmen an bestimmten Punkten des Schlagarms und des Schultergürtels mit Markern beklebt werden. Diese Marker sind notwendig, um die gekennzeichneten Punkte später mit Auswertungssoftware verfolgen zu können. Insgesamt sind fünf Marker gesetzt worden. Um einen besseren Kontrast zu erhalten, wurden die Probanden an den relevanten Punkten mit einem Stück dicken Klebeband versehen, worauf anschließend ein großer schwarzer Punkt die anatomische Stelle markierte.

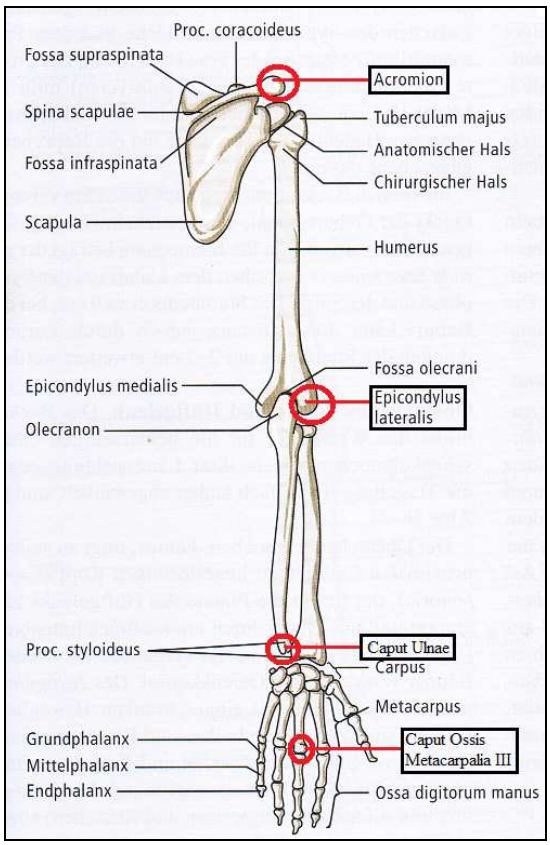


Abb. 15. Dorsalansicht des rechten Arms

Abb. 16. Proband mit Markern

Vier der fünf markierten Punkte befinden sich auf dem Schlagarm des Probanden (siehe Abb. 16). Der fünfte Marker wurde auf dem linken Acromion gesetzt, um in der Auswertungssoftware die Schulterachse einzeichnen zu können. Dieser fünfte Marker ist auf Abbildung 16 auf Grund der Perspektive nicht zu sehen.

4.2.7 Parameterliste

WOHLGEFAHRT (2004) sieht alle Fundamentalfähigkeiten für das Tischtennisspiel als sportartspezifisch an. Da den Probanden die Untersuchungssituation bekannt ist und immer der gleiche Schlag wiederholt wird, sinkt die Wertigkeit einiger koordinativen Fähigkeiten innerhalb dieser Untersuchung, z.B. Anpassungsfähigkeit und Gleichgewichtsfähigkeit. Das bedeutet nicht, dass sie keine Rolle spielen, sondern, dass sie lediglich, durch die gewohnten Bedingungen, für die Analyse an Bedeutung verlieren. Die einflussstarken Fähigkeiten beziehen sich auf die Teilbewegungen um die Gesamtbewegung des Vorhand-Topspins zu realisieren.

Eine kinematische Untersuchung kann unter anderem Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, sowie Winkel und Rotationen berechnen. Die sporttechnischen Items, die für diese Pilotstudie gewählt wurden, sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Zu jedem Item sind die Fähigkeiten, die dieses Item maßgeblich beeinflussen, zugeordnet und die Einheit der Ergebnisse angegeben.

Tab. 6.1. Parameterliste

Fähigkeit/Eigenschaft	Item	Einheit
KF, k. DF, OF	Winkelstellung des Ellenbogens und des Handgelenks im Umkehrpunkt	°
KF, k. DF, OF	Winkelstellung zwischen der Schulterachse und der Tischkante im Umkehrpunkt	°
KF, k. DF, RF	Position des Schlagarmes im Umkehrpunkt im Bezug zur Schulterspitze	–
KF, k. DF, RF, Rhy. F	Geschwindigkeit des Ellenbogen- und Handgelenkwinkels	°/s
	Beschleunigung des Ellenbogen- und Handgelenkwinkels	°/s²
KF, k. DF, RF, Rhy. F	Geschwindigkeit der einzelnen Markierungspunkte am Schlagarm	m/s
	Beschleunigung der einzelnen Markierungspunkte am Schlagarm	m/s²

Tab. 6.2. Abkürzungen für die Parameterliste (Tab. 6.1)

Abkürzung	Bedeutung
KF	Kopplungsfähigkeit
k. DF	Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit
OF	Orientierungsfähigkeit
RF	Reaktionsfähigkeit
Rhy. F	Rhythmisierungsfähigkeit

4.3 Auswertungssoftware

Bevor das Videomaterial in die Auswertungssoftware importiert werden konnte, musste es in ein anderes Format umgewandelt werden. Die Panasonic HDC-SM20 Kamera speichert ihre Aufnahmen als MTS-Datei (AVCHD Format) auf einer SD-Speicherkarte. Dieses Format wird nicht von allen Wiedergabeprogrammen unterstützt, daher wurden die Videodaten in das AVI-Format umgewandelt. Diese Arbeit hat ein Mitarbeiter der Medientechnik der Friedrich-Schiller-Universität Jena übernommen. Leider sind während des Umwandlungsprozesses bei fünf von sechs Spielern Daten verloren gegangen. Warum dies passiert ist, ist nicht bekannt. Durch diesen Verlust standen nach der Überspielung in das AVI-Format nur noch zwischen acht bis zehn Schläge bei diesen fünf Teilnehmern für die Auswertung zur Verfügung. Daher wurde der Umfang der Auswertung für alle Spieler auf acht Schläge festgesetzt.

Das AVI-Format ermöglichte es jedoch, die Aufnahmen in die Auswertungssoftware WINanalyze zu importieren. WINanalyze ist eine Software zur Analyse von Videodaten. Es kann gewünschte Punkte automatisch verfolgen und die Ergebnisse in diversen Möglichkeiten ausgeben. Unter anderem können die Geschwindigkeit und die Beschleunigung eines Punktes im Verlauf seiner Bewegung berechnet werden. Aber auch die Winkelstellungen zwischen zwei Achsen können bestimmt und verfolgt werden. Die Darstellung, der von WINanalyze ausgegebenen Ergebnisse, wurde mit dem Programm Origin 6.0 durchgeführt. Dieses Programm bietet die Möglichkeit verschiedenste Diagramme zu erstellen, zu bearbeiten und problemlos in eine Microsoft Word-Datei einzufügen. Spezielle Rechenvorgänge (z.B. Mittelwertbestimmung) wurden mit Microsoft Excel durchgeführt.

Alle Daten und Diagramme in der vorliegenden Arbeit sind mit diesen beiden Programmen erhoben und erstellt worden. Die einzelnen Bilder der Probanden sind entweder mit der Digitalkamera während der Datenerhebung aufgenommen oder im Verlauf der Auswertung mit der Screenshot-Funktion aus der WINanalyze-Software herauskopiert worden. Die Bearbeitung dieser Bilder erfolgte mit dem Zeichenprogramm Paint.

5 Darstellung der Ergebnisse der untersuchten Items und Verifizierung der Teilthesen

5.1 Einführende Bemerkungen zu den Ergebnissen und deren Darstellung

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung darstellt. Dafür werden die, für die Teilthesen untersuchten Items nacheinander aufgegriffen und mit den gewonnenen Ergebnissen versehen. Zusätzlich werden die Bearbeitungsweise und die speziellen Anforderungen an die einzelnen Items erläutert. Hierzu gehören unter anderem die Herangehensweise an die verschiedenen Untersuchungspunkte und deren Realisierung. Dabei werden die Items der Teilthese 1, die sich mit statischen Items befasst, am Beginn der Darstellung stehen. Daran wird sich die Gruppe der dynamischen Items für die Teilthese 2 anschließen. Nach der Darstellung der Resultate werden die wichtigsten Punkte hervorgehoben, um daraufhin die Teilthese in Bezug auf das jeweilige Item zu verifizieren.

Die Ergebnisse aller Items, außer die, des vierten Items zur Teilthese 1, beruhen auf der Berechnung von Mittelwerten[6], Standardabweichungen[7] und der relativen Fehler[8].

Innerhalb dieses Kapitels werden die Ergebnisse von allen Items der beiden Teilthesen dargestellt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse können Rückschlüsse für die Betrachtung der Kernthese gezogen werden. Dies ist jedoch Aufgabe des sechsten Kapitels.

Die Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Items wird nach einem festen Ablauf erfolgen. Zu Beginn werden die errechneten Werte der Probanden tabellarisch aufgeführt. Die sich daraus ergebenden Mittelwerte, Standardabweichungen und relativen Fehler sind Bestandteil der nächsten Tabelle. Die Resultate der drei WK bilden den Inhalt der letzten tabellarischen Übersicht. Für eine bessere Übersicht werden abschließend die gewonnenen Mittelwerte und Standardabweichungen der WK in einer Abbildung darstellt.

An den darstellenden Teil schließt sich die Verifizierung der jeweiligen Teilthese durch das untersuchte Item an. Im ersten Schritt werden die Mittelwerte der drei untersuchten WK betrachtet. Mittels der Rangfolge dieser Werte kann anschließend jedes Item einzeln in Bezug auf die dazugehörige Teilthese verifiziert werden.

Anschließend wird kurz auf die Ergebnisse der sechs Probanden eingegangen und die wichtigsten Punkte benannt.

Für eine Beurteilung der Stabilität der WK und der einzelnen Probanden in Bezug auf die Items, wird der relativen Fehler zwischen dem Mittelwert und der Standardabweichung betrachtet. Der relative Fehler zeigt an, wie stark die berechneten Werte voneinander abweichen. Dabei werden alle Angaben zwischen 0,0 und 10,0% als sehr gut (sehr stabil) und zwischen 10,1 und 20,0% als gut (stabil) betrachtet. Ein Item mit einem relativen Fehler von über 20,0% besitzt eine sehr schwache innere Stabilität. Da für diese Pilotstudie

[6] Berechnet mit Microsoft Excel XP. Formel: =MITTELWERT(…)
[7] Berechnet mit Microsoft Excel XP. Formel: =STABW(…)
[8] Berechnet mit Microsoft Excel XP. Formel: =STABW/MITTELWERT*100

nur zwei Probanden pro Wettkampfklasse untersucht wurden sind, ist ein relativer Fehlerwert von über 20% relativ wahrscheinlich. Daher werden alle Daten in diese Auswertung mit aufgenommen. Jedoch wird darauf hinweisen, dass diese Werte ausschließlich als Richtwerte angesehen werden können. Als strenge Vergleichsdaten können sie nicht dienen.

Bevor mit der Darstellung der Ergebnisse begonnen wird, soll auf einige Punkte eingegangen werden, die die Auswertung der Daten beeinflusst haben.

Der im Vorfeld gewählt Versuchsaufbau konnte nicht gewährleisten, dass alle markierten Untersuchungspunkte zu jedem Zeitpunkt der Schläge von beiden Kameras erfasst wurden. In manchen Situationen kam es sogar dazu, dass ein Punkt überhaupt nicht gefilmt werden konnte. Dies hatte zur Folge, dass mit der Auswertungssoftware WINanaylze keine 3D-Auswertung möglich war.

Abb. 17. Beispiel für nicht sichtbare Marker (Proband 2, Schlag 7)

Daher basieren alle gewonnenen Daten dieser Arbeit auf einer 2D-Analyse mittels WINanalyze. Da die Kameras jeweils in einem 45° Winkel zum Tisch standen, sind die Bewegungen in den Aufnahmen durch eine starke Verzerrung zur Realität gekennzeichnet. Dies führt unweigerlich zu Ungenauigkeiten und Messfehlern. Da während der gesamten Datenerhebung jedoch weder die Kameras noch der Tischtennistisch verrückt worden sind, ist der Fehlerwert für alle Aufnahmen konstant. Durch diesen Fakt sind die Ergebnisse, mit ihrem unbestimmten Fehlerwert, untereinander vergleichbar. Jedoch wird aus diesem Grund auf einen Vergleich mit anderen Daten verzichtet.

Für die Auswertung wurde, außer für die Berechnung der Winkel zwischen Schulterachse der Probanden und der Tischkante, immer die Aufnahmen von Kamera 2 verwendet. Die, aus Sicht der Probanden, nach

hinten rechts versetzte Position der Kamera hatte zur Folge, dass bei manchen Schlägen, wenn der Spieler die Schlaghand vor den Kopf oder die Brust führte, nicht alle Markierungspunkte bis zum Ende des Schlages verfolgt werden konnten. Damit waren weitere Ungenauigkeiten und Datenverlust verbunden. Eine Übersicht mit allen Bildnummern (Framenummern) der Schlagphasen in den einzelnen Schlägen und den Synchronisationszeitpunkten befindet sich in Anhang IV.

In mehreren Bildern kam es durch die hohen Geschwindigkeiten des Arms dazu, dass ein Markierungspunkt doppelt zu sehen war. In diesem Fall wurde für die Auswertung immer der aus Bewegungsrichtung hintere Punkt als Messpunkt genommen.

Abb. 18. Beispiel für die Auswertung mit doppelten Markern (Proband 3, Schlag 2)

Des Weiteren kam es im Verlauf der Datenerhebung bei zwei Probanden zum Verlust von einem Markierungspunkt. Dies war bei Proband 3 nach dem siebten Schlag (Acromion des Schlagarms) und bei Proband 5 nach dem dritten Schlag (Ellenbogen) der Fall. Dadurch konnten ab diesem Zeitpunkt bestimmte Werte nicht mehr erhoben werden.

Für das einheitliche Rechnen sind alle Werte und Ergebnisse im Folgenden auf eine Dezimalstelle nach dem Komma gerundet worden. Die Winkelgrößen sind durchgängig in Grad (°), die Geschwindigkeit in Meter bzw. Grad pro Sekunde (m/s bzw. °/s) und die Beschleunigung in Meter bzw. Grad pro Quadratsekunde (m/s^2 bzw. $°/s^2$) angegeben.

5.2 Ergebnisse der Items zur Teilthese 1

5.2.1 Winkelstellung des Ellenbogens im Umkehrpunkt

Die Teilthese 1 beschäftigt sich mit verschiedenen Winkelstellungen am Schlagarm und der Schulterachse der Probanden. Um diese These zu bearbeiten sind mehrere Items bestimmt und untersucht worden. In diesem Zusammenhang ist die Winkelstellung des Ellenbogengelenks in der Bewegungsumkehr zwischen Aushol- und Schlagphase das erste Item.

Abb. 19. Beispiel für die Messung der Winkelstellung im Ellenbogen im Umkehrpunkt (Proband 6, Schlag 4)

Um dieses Item zu bearbeitet, wurden zu Beginn von den sechs Teilnehmern die Winkelstellungen des Ellenbogens im Umkehrpunkt in allen acht Schlägen gemessen. Aus diesen Messungen wurden der Mittelwert und die dazugehörigen Standardabweichungen und der relative Fehler errechnet.

Tab. 7.1. Übersicht der Winkelstellung im Ellenbogen der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	56,4°	95,0°	119,0°	48,6°	112,7°	110,5°
2. Schlag	91,0°	103,2°	107,8°	42,0°	87,7°	104,1°
3. Schlag	54,9°	–	112,2°	37,4°	93,4°	116,4°
4. Schlag	68,0°	–	120,6°	58,5°	–	123,9°
5. Schlag	57,5°	93,0°	126,6°	44,9°	–	144,1°
6. Schlag	75,0°	92,7°	112,4°	55,0°	–	120,0°
7. Schlag	73,2°	–	108,7°	60,4°	–	138,6°
8. Schlag	89,6°	100,8°	–	53,7°	–	104,3°

Tab. 7.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Winkelstellung im Ellenbogen der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	70,7°	97,0°	115,3°	50,1°	97,9°	120,2°
Standardabw.	14,3°	4,8°	6,9°	8,2°	13,1°	14,8°
relat. Fehler	20,2 %	4,9 %	6,0 %	16,4 %	13,4 %	12,3 %

Anschließend wurden die Mittelwerte der Probanden, die dieselbe WK repräsentieren, zu einem Mittelwert für die entsprechende WK zusammengefasst und mit ihrer Standardabweichung und ihrem relativen Fehlerwert versehen.

Tab. 7.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Winkelstellung im Ellenbogen der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	83,8°	82,7°	109,1°
Standardabw.	18,6°	46,1°	15,8°
relat. Fehler	22,1 %	55,8 %	14,5 %

Die folgende Graphik verdeutlicht die Unterschiede der gewonnenen Ergebnisse noch einmal. Dabei symbolisiert der Punkt in der Mitte der drei Graphen den jeweiligen Mittelwert der WK und die obere sowie die untere Grenze der Standardabweichung.

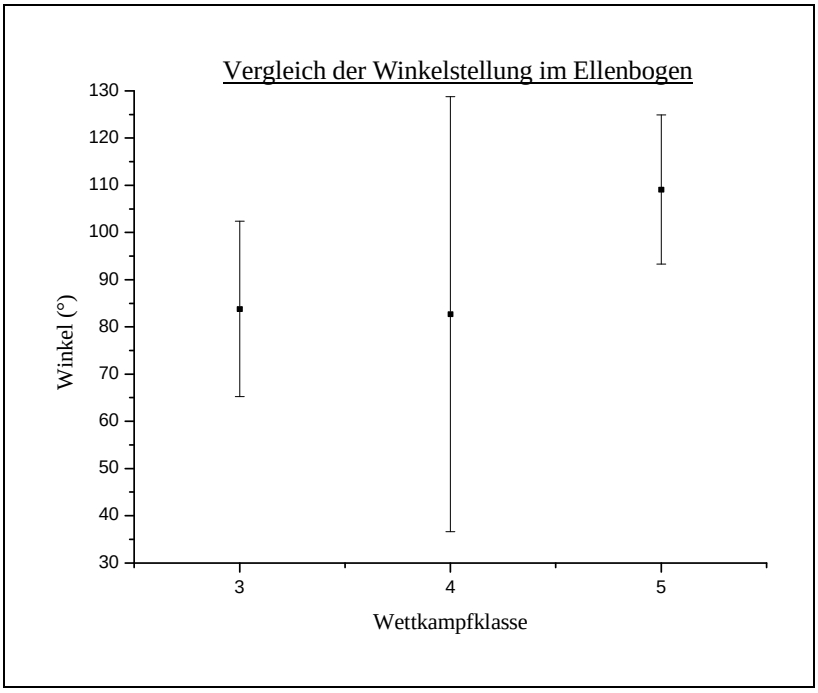


Abb. 20. Vergleich der Winkelstellung im Ellenbogen

Aus den Ergebnissen des ersten Items geht hervor, dass die WK 5 mit 109,1° im Durchschnitt die größten Winkelstellungen aufweist. Mit 83,8° (WK 3) und 82,7° (WK 4) liegen die anderen beiden Klassen sehr nah beieinander. Die drei Klassen zeigen große Unterschiede für die Werte des relativen Fehlers. Während WK 5 mit 14,5% die stabilste Klasse ist, verweist die 55,8% von WK 4 auf deutliche Schwankungen innerhalb dieser Klasse. Anhand dieser Ergebnisse ist festzuhalten, dass die, in Teilthese 1 formulierte Reihenfolge nicht erreicht wird.

Die Mittelwerte der sechs Probanden liegen sehr verteilt vor und ohne erkennbare Zuordnung zu den aktuell bestehenden WK. Positiv ist festzuhalten, dass fünf Teilnehmer einen relativen Fehlerwert von unter 20% erreicht haben.

5.2.2 Winkelstellung des Handgelenks im Umkehrpunkt

Nach der Bearbeitung der Daten des Ellenbogens wurde der Ablauf mit den Werten für das zweite Item, der Winkelstellung des Handgelenks zum selben Zeitpunkt wiederholt.

Abb. 21. Beispiel für die Messung der Winkelstellung im Handgelenk im Umkehrpunkt (Proband 6, Schlag 4)

Tab. 8.1. Übersicht der Winkelstellung im Handgelenk der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	168,9°	157,6°	149,3°	171,3°	196,8°	217,7°
2. Schlag	165,9°	156,9°	145,0°	176,6°	200,2°	213,3°
3. Schlag	171,7°	–	156,1°	185,4°	213,6°	225,3°
4. Schlag	167,5°	–	158,2°	185,7°	–	212,4°
5. Schlag	163,7°	163,7°	155,5°	178,5°	–	205,7°
6. Schlag	169,5°	172,6°	148,7°	177,1°	–	227,8°
7. Schlag	168,4°	–	150,6°	178,7°	–	213,9°
8. Schlag	150,4°	159,9°	155,2°	179,8°	–	218,7°

Tab. 8.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Winkelstellung im Handgelenk der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	165,7°	162,1°	152,3°	179,1°	203,5°	216,9 °
Standardabw.	6,6°	6,4°	4,6°	4,7°	8,9°	7,2°
relat. Fehler	4,0 %	4,0 %	3,0 %	2,6 %	4,4 %	3,3 %

Tab. 8.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Winkelstellung im Handgelenk der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	163,9°	165,7°	210,2°
Standardabw.	2,6°	19,0°	9,4°
relat. Fehler	1,6 %	11,4 %	4,5 %

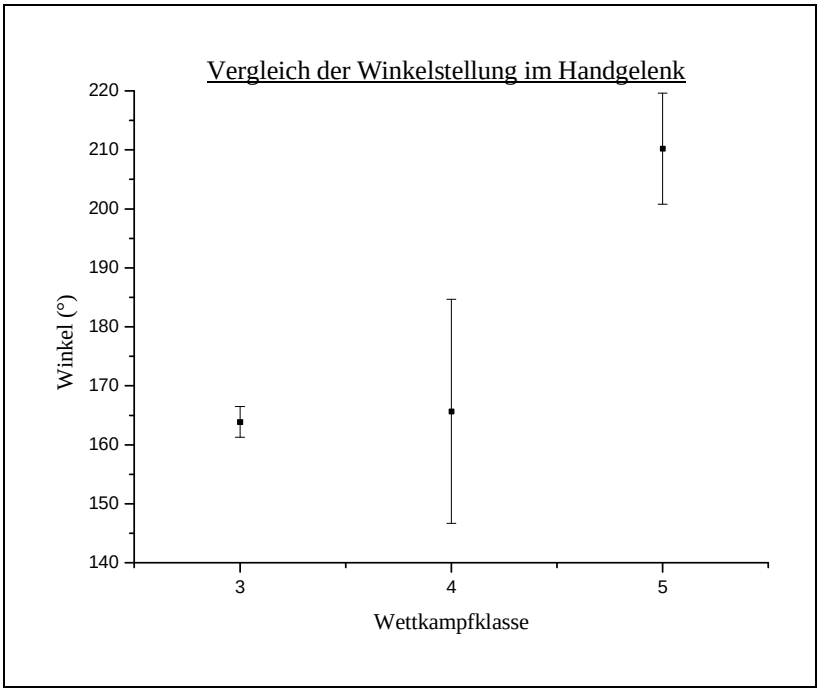


Abb. 22. Vergleich der Winkelstellung im Handgelenk

Die Ergebnisse der drei WK können die erwartete Reihenfolge für das zweite Item, die Winkelstellung des Handgelenks im Umkehrpunkt, bestätigen. Mit Mittelwerten von 163,9°, 165,7° und 210,2° liegen die WK 3, 4 und 5 wie erhofft in aufsteigender Rangfolge. Hinzukommt, dass zwei WK einen relativen Fehler von unter 5% aufweisen und die dritte mit 11,4% auch im positiven Bereich liegt. Dies spricht für eine hohe Stabilität der WK für dieses Item.

Die einzelnen Werte der Probanden bestätigen diese Stabilität nochmals. Alle sechs Teilnehmer besitzen einen Fehlerwert von unter 5%.

5.2.3 Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante im Umkehrpunkt

Das dritte Item untersucht die Winkelstellung zwischen der Schulterachse des Probanden und der Tischkante des Tischtennistisches. Während der Bearbeitung traten zwei Probleme auf. Das erste bestand darin, dass im Bild des Umkehrpunktes beide Markierungen (rechte und linke Schulter) des Acromions zu sehen seien müssen, um die Schulterachse konstruieren zu können (siehe Abb. 28). Jedoch war dies leider nicht immer der Fall. Aufgrund der verschiedenen Techniken und physiologischen Möglichkeiten der Teilnehmer erreichten nicht alle Spieler in jedem Schlag genau im Umkehrpunkt die ideale Position, um Daten für dieses Item mit Kamera 1 festzuhalten. Insgesamt konnten lediglich 19 Schläge, die sich auf vier Probanden verteilen, ausgewertet werden. Jedoch konnten durch diese vier Probanden Daten für jede Wettkampfklasse gesammelt werden.

Das zweite Problem ergab sich bei der Berechnung der Winkel mit WINanalyze. Wenn der Winkel zwischen Schulterachse und Tischkante konstruiert werden konnte, gab das Programm stets einen utopischen Wert für die 2D-Analyse an. Um dieses Problem zu lösen wurde von WINanalyze, in den 19 Fällen, die Koordinaten der markierten Tischecken und beider Schulterspitzen ausgegeben. Für die Berechnung wurde zwischen den beiden Koordinaten der Tischecken und der Schulterspitzen jeweils einen Vektor gebildet und für diesen der Anstieg berechnet. Somit konnte abschließend der Winkel zwischen den beiden Vektoren berechnet werden.

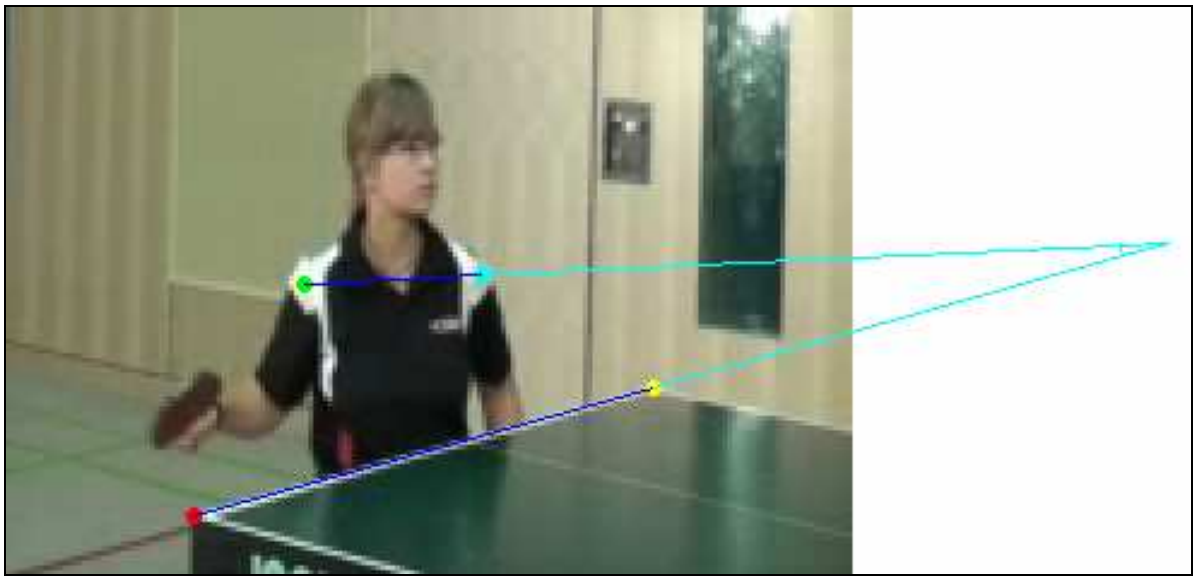


Abb. 23. Beispiel für die Messung der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante im Umkehrpunkt (Proband 4, Schlag 1)

Die Ergebnisse der Auswertung sind in den folgenden Tabellen aufgelistet.

Tab. 9.1. Übersicht der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 3	Proband 4	Proband 6
1. Schlag	15,4°	8,5°	9,1°	9,1°
2. Schlag	17,6°	11,4°	9,1°	11,4°
3. Schlag	–	9,1°	8,5°	–
4. Schlag	–	9,7°	9,1°	–
5. Schlag	–	9,7°	7,9°	–
6. Schlag	–	10,8°	9,7°	–
7. Schlag	–	8,5°	10,2°	–
8. Schlag	–	–	10,8°	–

Tab. 9.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 3	Proband 4	Proband 6
Mittelwert	16,5°	9,7°	9,3°	10,2°
Standardabw.	1,6°	1,1°	0,9°	1,6°
relat. Fehler	9,6 %	11,3 %	9,9 %	15,8 %

Tab. 9.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	16,5°	9,5°	10,2°
Standardabw.	1,6°	0,3°	1,6°
relat. Fehler	9,6 %	2,7 %	15,8 %

Um die gewonnenen Daten zu veranschaulichen, wurde auch für dieses Item eine Graphik mit den Mittelwerten und Standardabweichungen der WK angefertigt.

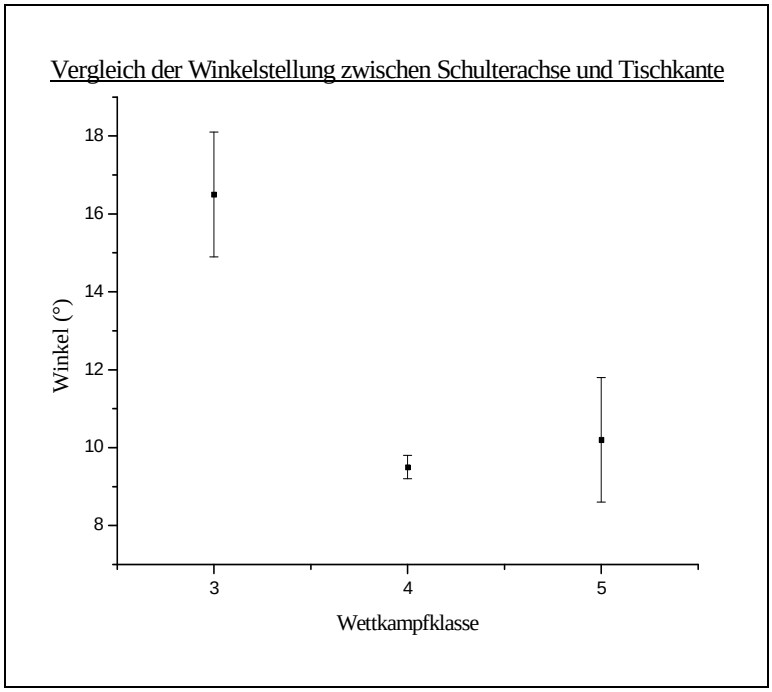


Abb. 24. Vergleich der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante

Die Mittelwerte der WK machen deutlich, dass WK 3 die größte Winkelstellung (16,5°) zwischen der Schulterachse des Probanden und der Tischkante aufweist. Die beiden anderen WK liegen mit 9,5° (WK4) und 10,2° (WK 5) innerhalb eines Grades. Die drei Standardabweichungen sind gering, sodass die relativen Fehler gute bis sehr gute Stabilität bezeugen. Aber es muss hervorgehoben werden, dass die in den Thesen formulierte Reihenfolge der WK nicht eingetreten ist.

Die oben erläuterte Verteilung der Ergebnisse trifft auch auf die einzelnen Probanden zu. Proband 1 erreicht die größte Winkelstellung, während die anderen drei Probanden im Bereich eines Grades verteilt liegen. Die relativen Fehler liegen zwischen 9 und 16%.

5.2.4 Die Position des Schlagarms im Umkehrpunkt

Das vierte Item, für die Bearbeitung dieser Teilthese, prüft die Position des Schlagarms im Umkehrpunkt. Es wird untersucht welche Teile des Schlagarms die Probanden hinter die Schulter zurückführen, bevor sie die Bewegungsrichtung umkehren. Als Orientierungspunkt dient die Schulterspitze (Acromion) jedes jeweiligen Spielers.

Untersucht wurde diese These mit Hilfe des Verlaufs der vier Markierungspunkte am Schlagarm in x-Richtung. Weil aus der Technikbeschreibung (siehe 2.6) hervorgeht, dass die Ausholbewegung rückwärts-abwärts gerichtet ist und eine Öffnung des Handgelenkwinkels erfolgen muss, wurden die y-Koordinaten der Markierungspunkte außer Acht gelassen.

Die Markierungspunkte wurden über die gesamte Schlagdauer mit WINanalyze verfolgt. In jedem einzelnen Bild speicherte das Programm die genaue Position der Punkte, berechnete ihren Abstand zum linken Bildrand und gab somit ihre Position auf der x-Achse an. Diese Abstandsmessungen der Punkte wurden anschließend in Origin 6.0 eingegeben und der graphische Verlauf der Untersuchungspunkte konnte dargestellt werden. Abschließend wurde der Umkehrpunkt zur Verdeutlichung des Zeitpunktes eingezeichnet.

Durch die graphische Auflösung aller untersuchten Schläge konnte eindeutig untersucht werden, welche Punkte des Schlagarms sich im Umkehrpunkt hinter der Schulter des Spielers befinden.

Für die bildliche Auflösung wurde beispielhaft für jeden Spieler ein Screenshot während der Arbeit mit WINanalyze geschossen. Diese Bilder zeigen den jeweiligen Athleten mit den farbigen Untersuchungspunkten im Umkehrpunkt. Zusätzlich wurde, um die senkrechte Verlängerung der Schulterspitze zu verdeutlichen, ein Lot vom Acromion des Athleten bis zum unteren Bildrand gefällt.

Die Auswertung der gewonnenen Daten wurde für jeden einzelnen Schlag vermerkt, wie viele der drei Markierungspunkte sich hinter dem Acromion des Spielers befinden.

Tab. 10. Zugehörigkeit von der Anzahl der Markierungspunkte zu den anatomischen Punkten des Schlagarms

Anzahl	Markierungspunkte hinter dem Acromion
0	kein Punkt
1	Ellenbogen
2	Ellenbogen und Handgelenk
3	Ellenbogen, Handgelenk und Hand

In der Auswertung zeigte sich, dass Proband 5 nie in der Lage war mehr als einen Markierungspunkt hinter die Schulter zurückzuführen. Allerdings konnten nur drei Schläge ausgewertet werden, da sich zwischen Schlag drei und vier die Markierung am Ellenbogen gelöst hat. Betrachtet man die Graphiken der restlichen Schläge (siehe Anhang V), so ist ein ähnlicher Verlauf zu den ersten drei Schlägen erkennbar, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich die Ergebnisse nicht gravierend verändert hätte.[9]

Abb. 25. Beispiel für Proband 5 (Schlag 2)

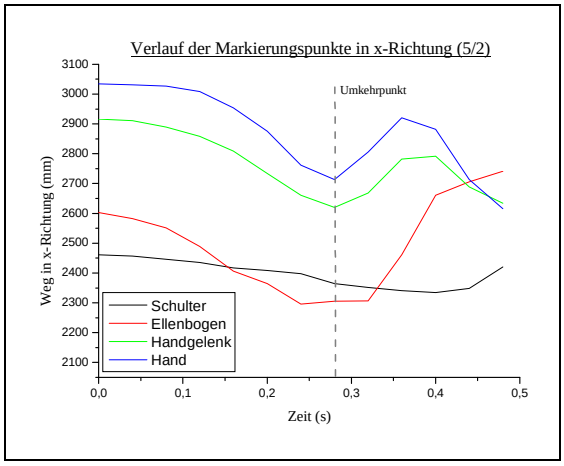


Abb. 26. Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 5, Schlag 2)

Ein ähnliches Bild ergab sich bei Proband 4. Bei sechs von acht Schlägen befand sich nur der Ellenbogen hinter der Schulterspitze. In zwei Fälle kam noch das Handgelenk hinzu.

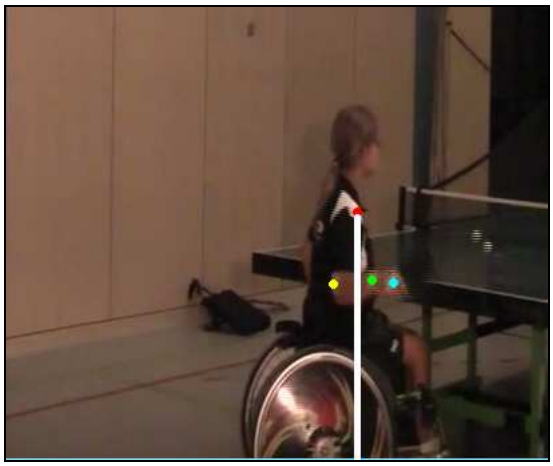


Abb. 27. Beispiel für Proband 4 (Schlag 4)

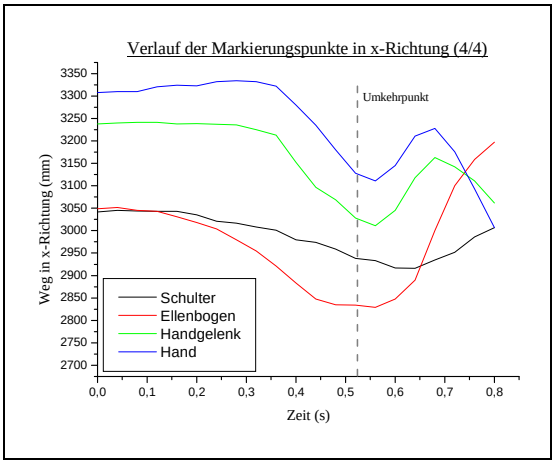


Abb. 28. Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 4, Schlag 4)

[9] Es wird darauf hingewiesen, dass die farbliche Zuordnung der Markierungspunkte zwischen den Screenshots und den Verlaufsgraphiken in den folgenden Abbildungen nicht übereinstimmt. Dies konnte auf Grund der verschiedenen Softwares nicht realisiert werden.

Proband 1 verharrte im Umkehrpunkt bei vier von acht Schlägen mit zwei Punkten hinter dem Acromion. In den anderen vier Versuchen erreichte er jeweils zweimal nur einen, aber auch zweimal drei Markierungspunkte.

Abb. 29. Beispiel für Proband 1 (Schlag 6)

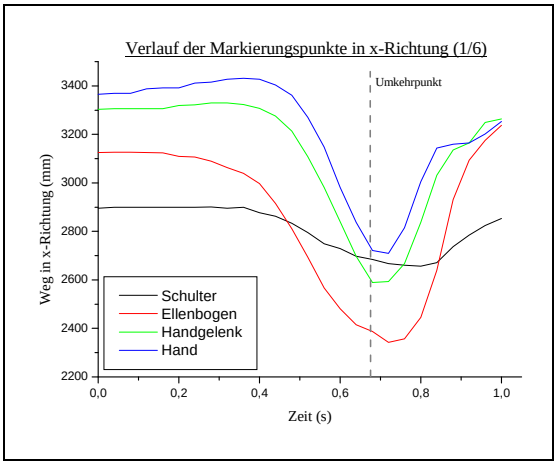


Abb. 30. Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 1, Schlag 6)

Die fünf auswertbaren Schläge von Proband 2 zeigten, dass er dreimal zwei und zweimal drei Markierungen hinter die Schulterspitze zurückführen konnte.

Abb. 31. Beispiel für Proband 2 (Schlag 5

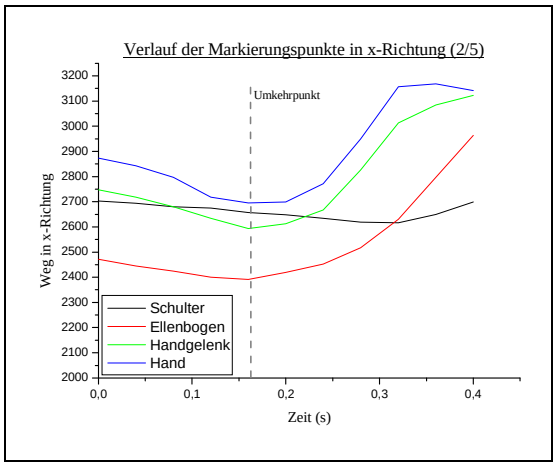


Abb. 32. Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 2, Schlag 5)

In sechs von sieben Versuchen konnte Proband 3 alle Markierungspunkte hinter das Acromion führen. Innerhalb des verbleibenden Schlages waren es zwei Punkte.

Abb. 33. Beispiel für Proband 3 (Schlag 6)

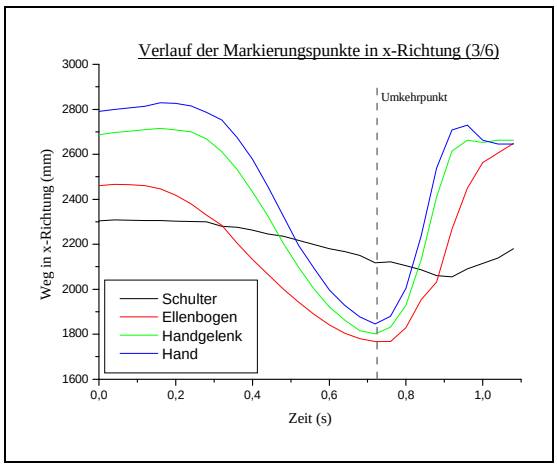


Abb. 34. Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 3, Schlag 6)

Proband 6 schaffte es als einziger Teilnehmer in allen acht Versuchen den gesamten Schlagarm hinter die Schulterspitze zu bringen.

Abb. 35. Beispiel für Proband 6 (Schlag 2)

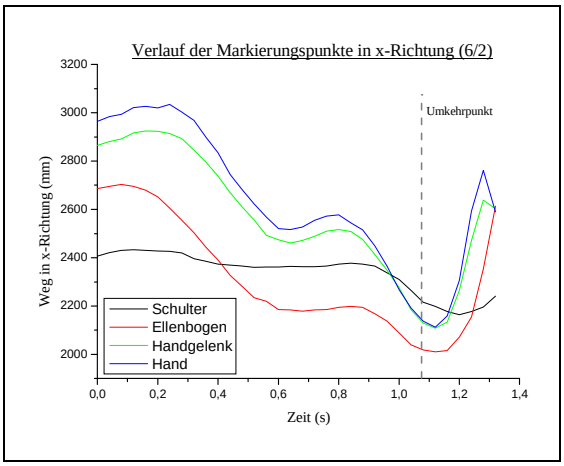


Abb. 36. Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 6, Schlag 2)

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse nochmals übersichtlich zusammen.

Tab. 11. Übersicht über die Anzahl der hinter der Schulter liegenden Markierungspunkte (Probanden)

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	2	2	3	1	1	3
2. Schlag	3	3	2	1	1	3
3. Schlag	1	–	3	2	1	3
4. Schlag	2	–	3	1	–	3
5. Schlag	2	2	3	2	–	3
6. Schlag	2	2	3	1	–	3
7. Schlag	1	–	3	1	–	3
8. Schlag	3	3	–	1	–	3

Zieht man die Ergebnisse der einzelnen Probanden nun zu den WK zusammen, ergibt sich folgende Übersicht der Resultate.

Tab. 12. Übersicht über die Anzahl der hinter der Schulter liegenden Markierungspunkte (Wettkampfklassen)

Anzahl	WK 3	WK 4	WK 5
0	–	–	–
1	2	6	3
2	7	3	–
3	4	6	8

Zu Beginn ist festzuhalten, dass alle Probanden in jedem analysierten Versuch mindestens den Ellenbogen hinter das Acromion geführt haben. Die weitere Auszählung ist auf zwei verschiedenen Wegen erfolgt. Für die erste Betrachtungsweise wurde der prozentuale Anteil der Schläge errechnet, bei denen die Probanden mit allen drei Untersuchungspunkten hinter der Schulterspitze verharrten. Für die zweite Betrachtungsweise wurden die absoluten Werte betrachtet.

1. Die prozentuale Auszählung ergab für WK 5, dass WK 5 bei insgesamt 11 Schlägen achtmal mit allen drei Markierungspunkten hinter dem gedachten Lot der Schulterspitze, in der Bewegungsumkehr verharrte. Dies entspricht einem prozentualen Wert von 72,7 %. WK 4 erreichte diese Position sechsmal bei insgesamt 15 untersuchten Schlägen. Damit erzielt sie einen Wert von 40,0 %. Bei 30,8 % (vier Schläge) der 13 analysierten Schläge verharrte WK 3 mit allen drei Untersuchungspunkten der dem gedachten Lot des Acromions. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Erwartungen der TT-1 erfüllt werden konnten. Die prozentualen Angaben verteilen sich so, dass WK 3 den niedrigsten und WK 5 den höchsten Wert erreicht.

2. Die Betrachtung der absoluten Werte führt zu einem leicht veränderten Ergebnis. Die Verteilung der Versuche von WK 5 zeigt, dass bei acht Schlägen drei Untersuchungspunkte hinter das Lot gebracht worden und dreimal ein Untersuchungspunkt. Für WK 4 verteilen sich die 15 bewerteten Schläge zu gleichen Teilen um den Wert von zwei Untersuchungspunkten. Jeweils sechs Schläge sind mit einem bzw. drei Markern hinter dem gedachten Lot gemessen worden. In drei Schlägen verharrten die Probanden der WK 4 mit zwei Markern in der Bewegungsumkehr. Für die WK 3 konnte die Position, dass zwei Untersuchungspunkte hinter dem Lot zur Ruhe kamen, am häufigsten notiert werden (siebenmal). Von den restlichen sechs Schlägen konnten viermal drei und zweimal ein Marker hinter dem Lot gemessen werden. Die Verteilung der analysierten Schläge innerhalb der WK zeigt, dass WK 4 durchschnittlich mit zwei Untersuchungspunkten gemessen wurde. WK 3 liegt leicht darüber und die Werte von WK 5 tendiert stark zu einer Position von drei Markern. Somit können die in TT-1 formulierten Erwartungen nicht bestätigt werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Probanden wird deutlich, dass nur zwei Probanden in jedem Schlag in der gleichen Position verharrten. Proband 6 führte stets alle drei Untersuchungspunkte hinter das Acromion. Proband 5 hingegen immer nur einen. Dass diese beiden Probanden gemeinsam die WK 5 bilden zeigt, dass die Messwerte der WK sehr heterogen sind. Ebenso gestalten sich die Verhältnisse innerhalb der WK 4. Proband 3 konnte in sieben Versuchen sechsmal mit drei und einmal mit zwei Markern hinter der Schulterspitze gemessen werden. Dies spricht für eine hohe Konstanz des Athleten. Ähnlich

konstant ist auch Proband 4. Jedoch verharrte er innerhalb von acht Schlägen sechsmal mit nur einem und zweimal mit zwei Markern in der Bewegungsumkehr hinter dem gefällten Lot. Somit sind auch diese beiden Probanden für sich selbst stabil, aber die WK 4, die diese beiden Athleten repräsentieren, wirkt daher sehr instabil. Die Probanden 1 und 2 schwanken in ihren Ergebnissen am stärksten. Während für Proband 2, fast zu gleichen Teilen, zwei und drei Untersuchungspunkte in der Unkehrposition gemessen werden konnten, schwankt Proband 1 stetig zwischen einem, zwei und drei Untersuchungspunkten.

5.3 Ergebnisse der Items zur Teilthese 2

5.3.1 Maximale Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogengelenks

Die Berechnungen der maximalen Winkelgeschwindigkeit und der maximalen Winkelbeschleunigung, die einen Teil der Items dieser Teilthese bilden, brachten einige Probleme mit sich. Die Beschränkung auf eine 2D-Analyse impliziert, dass die gewonnenen Daten nicht realitätsnah sind. Daher spiegeln die Ergebnisse auch nicht die absolute Geschwindigkeit und nicht die absolute Beschleunigung wider. Um dieses Item trotzdem untersuchen und vergleichen zu können, wurde eine 2D-Analyse durchgeführt und die maximale Geschwindigkeit und maximale Beschleunigung berechnet. Da sich, wie bei allen Thesen zuvor, derselbe Fehlerwert auf alle Probanden auswirkt, sind diese schlussendlich untereinander vergleichbar.

Für die Berechnung der Werte ist nur die Schlagphase des Topspins betrachtet worden. Um die Maximalwerte für die Winkelbewegung zu erhalten, wurden die Winkel am Ellenbogen und Handgelenk von allen Probanden während jedes Schlages vom Umkehrpunkt bis zum Schlagende (bzw. bis zur Erkennbarkeit) mit WINanaylze verfolgt. Daraufhin konnte das Programm die Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte innerhalb dieses Zeitraumes ausgeben. Für jeden Schlag wurden anschließend der maximale Geschwindigkeits- und der maximale Beschleunigungswert herausgesucht. Mit diesen Werten konnte der Mittelwert der maximalen Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung errechnet werden. Abschließend folgte die Berechnung der Mittelwerte für die WK auf der Basis der Mittelwerte der Probanden.

Am Beginn der Analyse stand die maximale Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens.

Abb. 37. Beispiel für die Messung der maximalen Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung des Ellenbogens (Proband 3, Schlag 2)

Die Messungen haben folgende Werte für die einzelnen Probanden hervorgebracht.

Tab. 13.1. Übersicht über die maximale Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	268,4 °/s	444,5 °/s	61,8 °/s	4,4 °/s	105, 0 °/s	30,2 °/s
2. Schlag	76,3 °/s	603,7 °/s	251,6 °/s	98,8 °/s	88, 2 °/s	103,6 °/s
3. Schlag	258,9 °/s	–	123,1 °/s	126,5 °/s	–	68,7 °/ s
4. Schlag	280,1 °/s	–	118,6 °/s	21,6 °/s	–	92,7 °/s
5. Schlag	341,9 °/s	409,5 °/s	210,6 °/s	141,4 °/s	–	242,2 °/s
6. Schlag	183,1 °/s	307,9 °/s	246,4 °/s	98,2 °/s	–	98,9 °/s
7. Schlag	274,8 °/s	–	120,5 °/s	79,3 °/s	–	154,1 °/ s
8. Schlag	245,7 °/s	140,0 °/s	–	62,5 °/s	–	125,8 °/ s

Daraus haben sich nachstehende Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Probanden und der drei einzelnen WK ergeben.

Tab. 13.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	241,2 °/s	381,1 °/s	161,8 °/s	79,1 °/s	9 6,6 °/s	114,5 °/s
Standardabw.	79,7 °/s	171,7 °/s	73,8 °/s	47,9 °/s	1 1,9 °/s	63,3 °/s
relat. Fehler	33,0 %	45,0 %	45,6 %	60,5 %	12,3 %	55,3 %

Tab. 13.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	311,1 °/s	120,4 °/s	105,6 °/s
Standardabw.	99,0 °/s	58,5 °/s	12,7 °/s
relat. Fehler	31,8 %	48,6 %	12,0 %

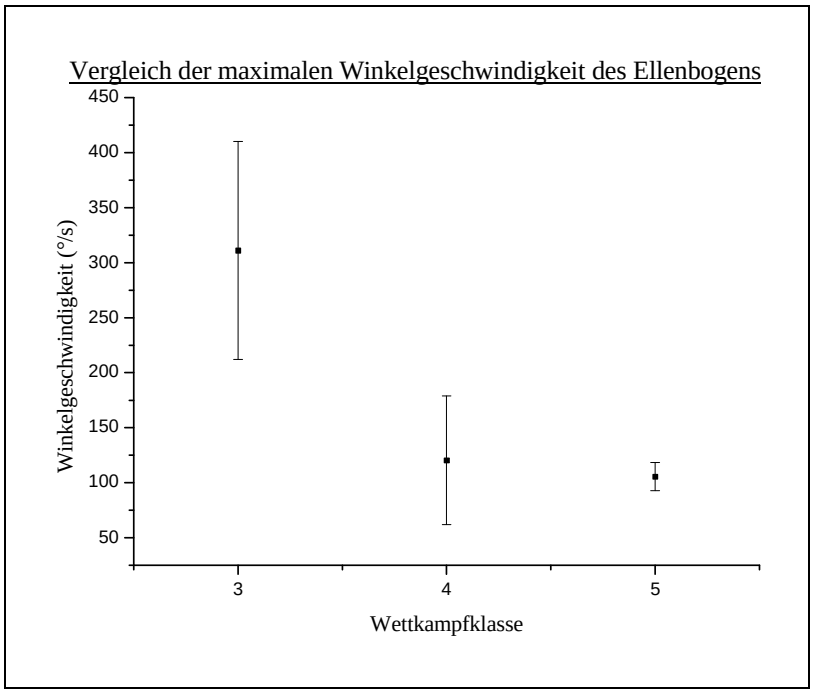


Abb. 38. Vergleich der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens

Aus den Ergebnissen dieses Items wird ein Punkt sehr deutlich. WK 3 erreichte mit großem Abstand den höchsten Wert in dieser Untersuchung. Mit einer Winkelgeschwindigkeit von 311,1°/s ist sie fast dreimal schneller als WK 5 (105,5°/s). WK4 ist unwesendlich schneller als WK 5 (120,4°/s) gemessen worden.

Für dieses Item wird ein weiterer Punkt erkennbar. WK 5 ist die einzige Klasse, die für die Winkelgeschwindigkeit einen relativen Fehlerwert aufweist, der eine hohe Stabilität bezeugt. Mit 12,0% wird eine hohe Konstanz innerhalb dieser WK deutlich. Die anderen untersuchten Klassen liegen weit über der 20%-Marke des relativen Fehlers und deuten damit an, dass große Schwankungen vorliegen. Zusammenfassend muss gesagt werden, dass die in der Teilthese 2 erwartete Reihenfolge nicht festgestellt werden konnte. Die errechnete Reihenfolge verhält sich entgegengesetzt zu der Reihenfolge, die in der TT-2 aufstellt wurde.

Die Werte der sechs Probanden weisen ebenfalls zwei signifikante Erscheinungen auf. Die erste zeigt sich darin, dass die Höchstwerte von beiden Probanden der WK 3 erreicht werden. Das zweite Merkmal bezieht sich auf die relativen Fehler. Hierbei liegen alle Probanden, außer Proband 5, über der 20%-Marke. Dieser Punkt zeigt, dass für alle Probanden, bei der Durchführung des Vorhand-Topspins, große Schwankungen nachgewiesen werden konnten.

5.3.2 Maximale Winkelbeschleunigung des Ellenbogengelenks

Die Auswertung der maximalen Winkelbeschleunigung des Ellenbogens führte zu nachstehenden Werten für die einzelnen Probanden und die sich daraus ergebenden Werte für die WK.

Tab. 14.1. Übersicht über die maximale Winkelbeschleunigung des Ellenbogens der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	3255,5 °/s²	13650,3 °/s²	2983,7 °/s²	2,1 °/s²	1591,4 °/s²	392,0 °/s²
2. Schlag	860,7 °/s²	20259,1 °/s²	4457,0 °/s²	962,6 °/s²	615,2 °/s²	1353,8 °/s²
3. Schlag	3551,5 °/s²	–	2824,3 °/s²	1278,6 °/s²	141 4,3 °/s²	713,6 °/s²
4. Schlag	3523,8 °/s²	–	3591,9 °/s²	296,6 °/s²	–	19 24,0 °/s²
5. Schlag	4662,3 °/s²	11267,5 °/s²	4723,6 °/s²	1501 ,1 °/s²	–	1878,7 °/s²
6. Schlag	3277,2 °/s²	9847,3 °/s²	4396,5 °/s²	1193, 9 °/s²	–	670,4 °/s²
7. Schlag	4240,9 °/s²	–	3351,0 °/s²	1638,1 °/s²	–	1 767,8 °/s²
8. Schlag	4364,8 °/s²	6587,4 °/s²	–	285,5 °/s²	–	11 13,0 °/s²

Tab. 14.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelbeschleunigung des Ellenbogens der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	3467,1 °/s²	12322,3 °/s²	3761,1 °/s²	894 ,8 °/s²	1207,0 °/s²	1226,7 °/s²
Standardabw.	1178,2 °/s²	5120,6 °/s²	763,0 °/s²	619 ,6 °/s²	520,1 °/s²	597,9 °/s²
relat. Fehler	34,0 %	41,6 %	20,3 %	69,2 %	43,1 %	48,7 %

Tab. 14.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelbeschleunigung des Ellenbogens der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	7894,7 °/s²	2328,0 °/s²	1216,8 °/s²
Standardabw.	6261,6 °/s²	2026,8 °/s²	13,9 °/s²
relat. Fehler	79,3 %	87,1 %	1,1 %

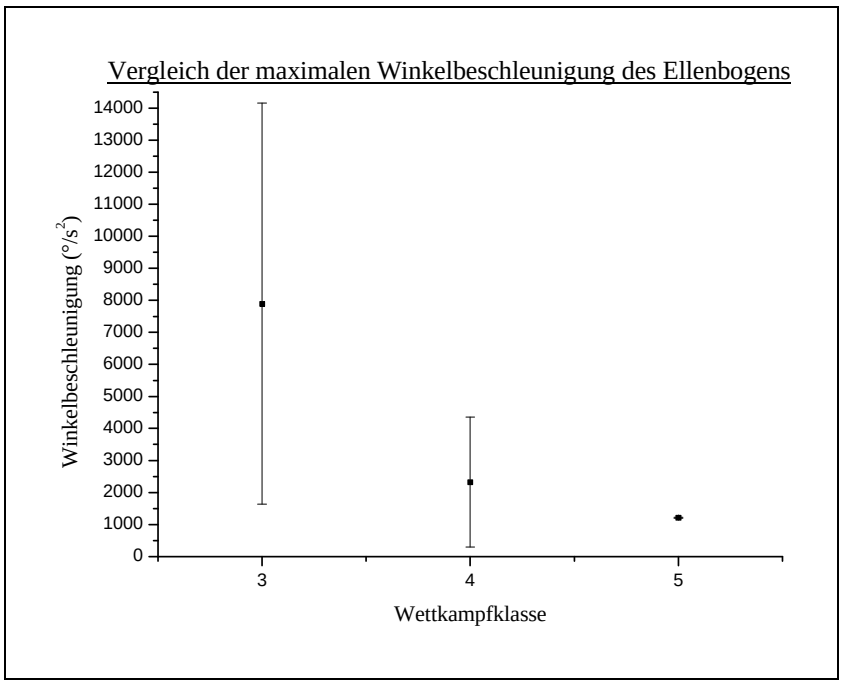


Abb. 39. Vergleich der maximalen Winkelbeschleunigung des Ellenbogens

Für die maximale Winkelbeschleunigung erreicht WK 3 den Höchstwert. Sie erreicht mit einer Beschleunigung von 7894,7°/s² mehr als das Sechsfache von WK 5 (1216,8°/s²). WK 4, 2328,0°/s², beschleunigt mit dem Doppelten von WK 5. Das bemerkenswerteste Ergebnis dieser Auswertung ist, dass WK 5 einen relativen Fehlerwert von 1,1 % ausweist. Dies spricht für eine sehr hohe Konstanz innerhalb dieser Klasse. Die anderen Klassen hingegen liegen deutlich über 75% und sind damit nicht als konstant einzuordnen. Aus der Rangfolge der Mittelwerte ergibt sich, dass die erwartete Reihenfolge nicht eingetreten ist. Wie bei dem Item zuvor verhält sich die ermittelte Reihenfolge entgegengesetzt zu den Erwartungen.

Für die Resultate der sechs Probanden ist festzuhalten, dass Proband 4 erneut den Höchstwert und Proband 2 den Tiefstwert bestimmen. Die Ergebnisse der anderen Probanden verteilen sich so, dass jeweils zwei von ihnen innerhalb eines kleinen Bereichs liegen. Alle Probanden weisen einen relativen Fehler von über 20% auf, sodass alle, in Bezug auf dieses Item, als nicht konstant bewertet werden können.

5.3.3 Maximale Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks

Nachdem das Ellenbogengelenk mittels zwei Items genauer untersucht worden ist, schließt sich das Handgelenk mit denselben Untersuchungspunkten an. Auch hier wurde mit der maximalen Winkelgeschwindigkeit begonnen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen aufgelistet.

Abb. 40. Beispiel für die Messung der maximalen Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung des Handgelenks (Proband 3, Schlag 2)

Tab. 15.1. Übersicht über die maximale Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	98,4 °/s	196,8 °/s	155,1 °/s	3,1 °/s	116, 1 °/s	75,4 °/s
2. Schlag	289,8 °/s	159,6 °/s	147,6 °/s	94,0 °/s	15 0,0 °/s	146,4 °/s
3. Schlag	22,2 °/s	–	188,7 °/s	67,7 °/s	187,3 °/s	1 14,0 °/s
4. Schlag	96,9 °/s	–	187,6 °/s	88,0 °/s	–	104,2 °/s
5. Schlag	49,0 °/s	116,9 °/s	220,3 °/s	97,0 °/s	–	1 00,7 °/s
6. Schlag	50,4 °/s	123,3 °/s	147,9 °/s	51,6 °/s	–	1 49,6 °/s
7. Schlag	57,3 °/s	–	148,0 °/s	58,9 °/s	–	101,0 °/s
8. Schlag	70,2 °/s	90,9 °/s	54,8 °/s	63,1 °/s	–	68, 7 °/s

Tab. 15.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	91,8 °/s	137,5 °/s	156,3 °/s	65,4 °/s	15 1,1 °/s	107,5 °/s
Standardabw.	83,9 °/s	41,2 °/s	48,8 °/s	30,4 °/s	35 ,6 °/s	29,2 °/s
relat. Fehler	91,5 %	30,0 %	31,2 %	46,4 %	23,6 %	27,2 %

Tab. 15.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	114,6 °/s	110,8 °/s	129,3 °/s
Standardabw.	32,3 °/s	64,2 °/s	30,9 °/s
relat. Fehler	28,2 %	57,9 %	23,9 %

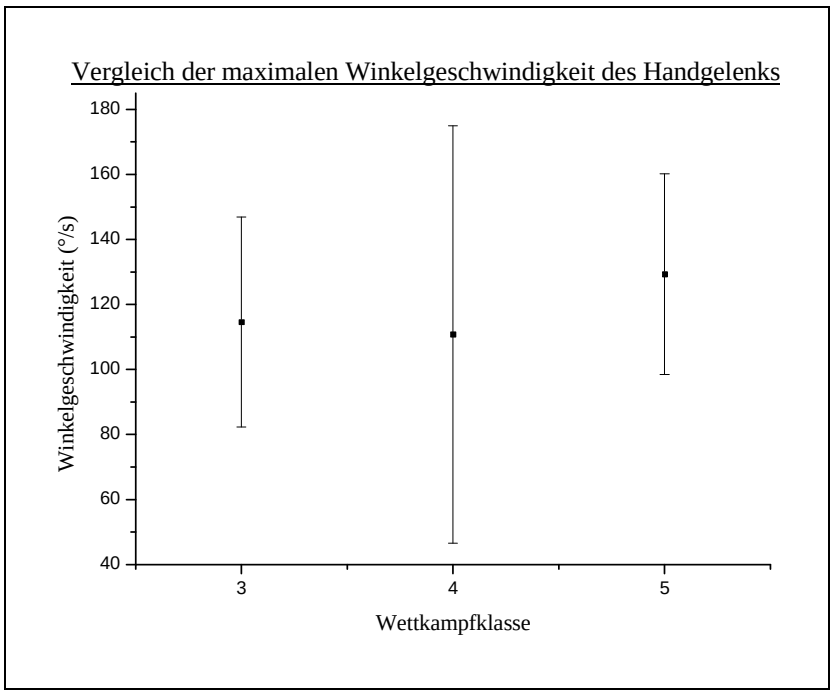


Abb. 41. Vergleich der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks

Die Analyse hat gezeigt, dass der Höchstwert für die Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks bei WK 5 (129,3°/s) zu finden ist. Mit 114,6°/s und 110,8°/s liegen die Mittelwerte der WK 3 und 4 gering verteilt vor. Es zeigt sich, dass alle Klassen eine hohe Standardabweichung haben, was auf starke Schwankungen innerhalb der WK verweist. Die Ergebnisse der Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks konnten insgesamt die, in den Thesen formulierte Reihenfolge nicht bestätigen.

Die Werte der sechs Teilnehmer zeigen, dass zwischen den Probanden 2, 3 und 5, sowie zwischen Proband 1 und 6 geringe Abweichungen zu finden sind. Proband 4 wurde mit der langsamsten Winkelgeschwindigkeit gemessen. Die relativen Fehlerwerte der Athleten offenbaren, dass alle Teilnehmer über der 20%-Grenze liegen.

5.3.4 Maximale Winkelbeschleunigung des Handgelenks

Das letzte zu berechnende Item für das Handgelenk ist die maximale Winkelbeschleunigung. Die Resultate dieser Berechnungen sind in den nächsten Übersichten dargestellt.

Tab. 16.1. Übersicht über die maximale Winkelbeschleunigung des Handgelenks der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	2027,2 °/s²	5830,0 °/s²	1018,7 °/s²	1,1 ° /s²	1430,5 °/s²	359,9 °/s²
2. Schlag	5327,4 °/s²	7002,7 °/s²	2182,5 °/s²	504,3 °/s²	890,7 °/s²	1671,9 °/s²
3. Schlag	775,6 °/s²	–	1820,9 °/s²	1092,1 °/s²	2378 ,9 °/s²	1390,7 °/s²
4. Schlag	852,4 °/s²	–	1981,2 °/s²	1235,3 °/s²	–	10 72,8 °/s²
5. Schlag	323,0 °/s²	9033,7 °/s²	3057,1 °/s²	1329,3 °/s²	–	1713,7 °/s²
6. Schlag	542,3 °/s²	7880,3 °/s²	1621,1 °/s²	928,7 °/s²	–	1571,3 °/s²
7. Schlag	719,8 °/s²	–	1352,9 °/s²	1103,5 °/s²	–	14 15,6 °/s²
8. Schlag	1256,7 °/s²	4691,4 °/s²	577,3 °/s²	493,3 °/s²	–	999,0 °/s²

Tab. 16.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelbeschleunigung des Handgelenks der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	1478,1 °/s²	6887,6 °/s²	1701,5 °/s²	836, 0 °/s²	1566,7 °/s²	1274,4 °/s²
Standardabw.	1640,5 °/s²	1699,0 °/s²	757,8 °/s²	458 ,7 °/s²	753,4 °/s²	451,3 °/s²
relat. Fehler	111,0 %	24,7 %	44,5 %	54,9 %	48,1 %	35,4 %

Tab. 16.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der maximalen Winkelbeschleunigung des Handgelenks der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	4182,8 °/s²	1268,7 °/s²	1420,5 °/s²
Standardabw.	3825,1 °/s²	612,0 °/s²	206,7 °/s²
relat. Fehler	91,4 %	48,2 %	14,6 %

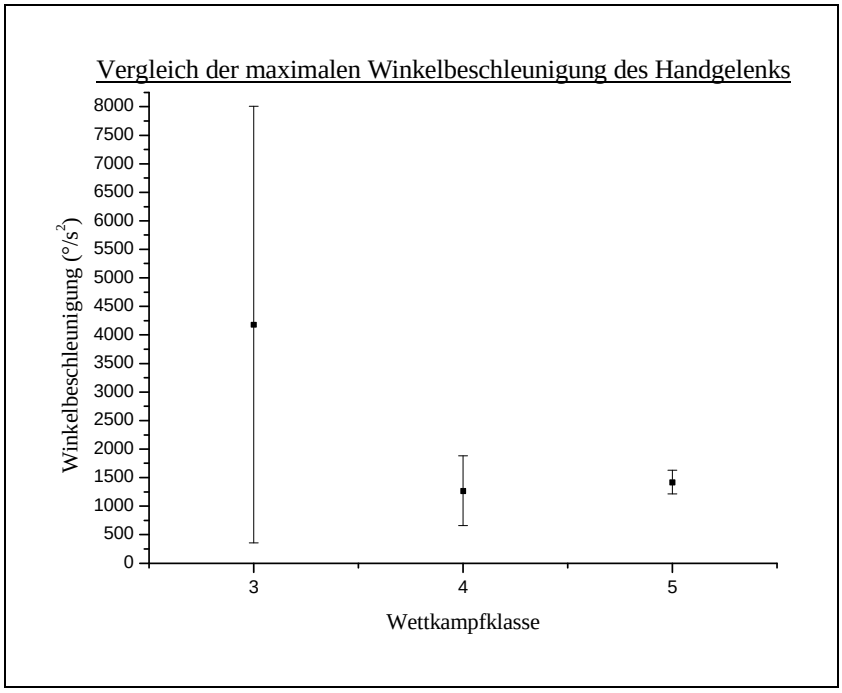


Abb. 42. Vergleich der maximalen Winkelbeschleunigung des Handgelenks

Die errechneten Resultate machen große Abstände zwischen den drei WK sichtbar. Mit 4182,8°/s² erweist sich WK 3 als die schnellste Klasse. WK 4 (1268,7°/s²) und 5 (1420,5°/s²) verteilen sich mit ihren Mittelwerten auf der Höhe eines Drittel von WK 3. So groß wie die Abstände zwischen den Beschleunigungswerten sind, so groß sich auch die Unterschiede des relativen Fehlers. Nur WK 5 (14,6%) kann als stabil eingestuft werden. Dagegen liegen WK 3 (91,4%) und WK 4 (48,2 %) sehr weit außerhalb der 20%-Marke. Die Rangfolge, die durch die ermittelten Ergebnisse entstanden ist, kann die, in den Thesen erwartete Reihenfolge nicht bestätigen.

Bei den Einzelwerten der sechs Probanden fällt auf, dass vier der sechs Werte sich in einem Bereich von 500°/s² verteilen. Lediglich Proband 4 liegt unterhalb und Proband 2, der den Bereich dieser Werte um mehr als das Vierfache übertrifft, liegt oberhalb dieser 4 Teilnehmer. Kein Proband erreicht einen relativen Fehlerwert unter 20%. Proband 1 kommt sogar auf einen Wert von 111,0%.

5.3.5 Maximalgeschwindigkeit der Hand

Nach den Untersuchungen der Winkel folgt die Betrachtung des Markierungspunktes an der Hand. Hierbei ergab sich eine Schwierigkeit. Da eine 3D-Auswertung nicht durchführbar war, konnte die absolute Geschwindigkeit und die absolute Beschleunigung nicht berechnet werden. Um trotzdem eine Vergleichsgröße zu erhalten, wurde beschlossen die maximale Geschwindigkeit und maximale Beschleunigung in x-Richtung zu untersuchen. Möglich ist dies, wenn man die Vorhand-Topspinbewegung zu einer Kreisbewegung abstrahiert. Mittelpunkt dieser Bewegung ist das Acromion des Spielers. Durch die leichte Schrägstellung der Bewegungsebene zum Tischtennistisch ergeben sich Kongruenzbeziehungen zwischen den Teilgeschwindigkeiten in x-, y- und z-Richtung. Jede Teilgeschwindigkeit ist ungleich null und leistet einen Beitrag zur Gesamtgeschwindigkeit.

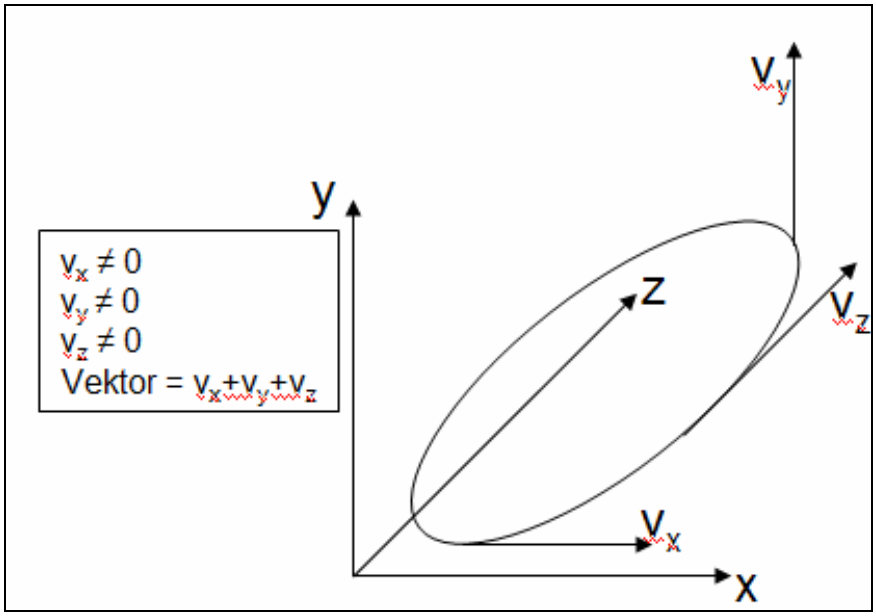


Abb. 43. Kongruenzbeziehungen der Teilgeschwindigkeiten in einer Kreisbewegung

Somit kann die Teilgeschwindigkeit in x-Richtung als Vergleichsgröße dienen.

Aus diesen Vorüberlegungen geht hervor, warum die Hand als Untersuchungspunkt gewählt wurde. Aufgrund der Mittelpunktstellung und der geringen Bewegungen im Verlauf eines Schlages kann das Acromion keine aussagekräftigen Ergebnisse liefern und fällt daher als Vergleichspunkt weg. Des Weiteren folgt aus den Überlegungen, dass für diese Teilthese die Hand den wichtigsten Bezugspunkt darstellt. Da die Hand den äußersten Punkt des Radius der Kreisbewegung darstellt, sind die größten Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte an diesem Punkt zu erwarten. Daher wird sich der folgende Abschnitt ausschließlich mit den Ergebnissen der Hand beschäftigen. Die Werte für den Ellenbogen und das Handgelenk sind im Anhang VI aufgelistet.

Ebenso wie für die Analyse der Winkel wurde auch hier nur die Schlagphase des Topspins in die Auswertung einbezogen. Die Ausholbewegung wurde aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Die Berechnung der Maximalwerte erfolgt nach dem gleichen Ablauf wie in den Items zuvor. Es wurden lediglich die neuen Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungswerte der Hand eingesetzt.

Abb. 44. Beispiel für die Auswertung der Maximalgeschwindigkeit bzw. -beschleunigung der Hand (Proband 1, Schlag 1)

Die folgenden Tabellen beinhalten nacheinander die einzelnen maximalen Höchstwerte der Maximalgeschwindigkeit der Probanden für jeden Schlag, die sich daraus ergebenden Mittelwerte mit Standardabweichungen und relativen Fehlern und die resultierenden Werte für die drei WK.

Tab. 17.1. Übersicht über die Maximalgeschwindigkeit der Hand der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	3,0 m/s	6,2 m/s	5,0 m/s	1,6 m/s	1,8 m/s	3,7 m/s
2. Schlag	4,3 m/s	7,2 m/s	4,4 m/s	1,8 m/s	1,1 m/s	4,3 m/s
3. Schlag	2,2 m/s	–	4,8 m/s	1,6 m/s	1,8 m/s	4,8 m/s
4. Schlag	2,9 m/s	–	5,2 m/s	0,8 m/s	1,2 m/s	4,7 m/s
5. Schlag	3,2 m/s	6,6 m/s	5,7 m/s	1,6 m/s	1,7 m/s	4,6 m/s
6. Schlag	3,1 m/s	7,6 m/s	5,5 m/s	1,2 m/s	2,1 m/s	4,8 m/s
7. Schlag	2,8 m/s	–	4,9 m/s	0,8 m/s	1,7 m/s	5,7 m/s
8. Schlag	4,5 m/s	8,0 m/s	5 m/s	0,8 m/s	2,1 m/s	4,2 m/s

Tab. 17.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalgeschwindigkeit der Hand der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	3,3 m/s	7,1 m/s	5,1 m/s	1,3 m/s	1,7 m/s	4,6 m/s
Standardabw.	0,8 m/s	0,7 m/s	0,4 m/s	0,4 m/s	0,4 m/s	0,6 m/s
relat. Fehler	23,8 %	10,2 %	8,0 %	33,5 %	21,8 %	12,6 %

Tab. 17.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalgeschwindigkeit der Hand der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	5,2 m/s	3,2 m/s	3,1 m/s
Standardabw.	2,7 m/s	2,7 m/s	2,1 m/s
relat. Fehler	52,8 %	84,5 %	65,5 %

Aus diesen Werten geht folgende vergleichende Graphik über die maximale Geschwindigkeit der Hand hervor.

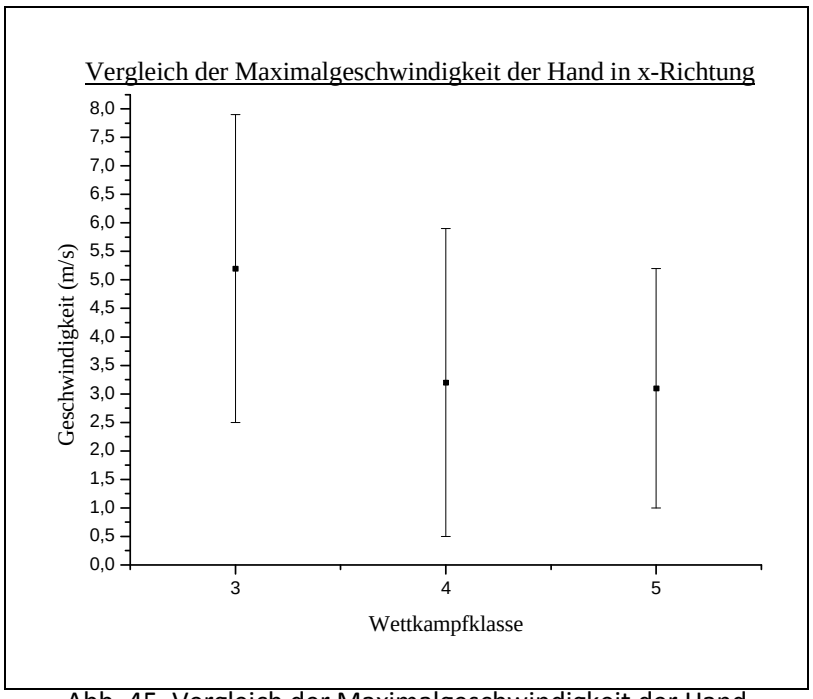


Abb. 45. Vergleich der Maximalgeschwindigkeit der Hand

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass WK 3 die höchste Geschwindigkeit, 5,2m/s, erreicht. Die beiden anderen Klassen weichen mit 3,2m/s (WK 4) und 3,1m/s (WK 5) geringfügig von einander ab. Die Standardabweichungen der WK sind so groß, dass alle Klassen einen relativen Fehlerwert von über 50% aufweisen und keinesfalls als konstant eingestuft werden können. Die resultierende Rangfolge der Mittelwerte kann die erwartete aus der Teilthese 2 nicht bestätigen.

Proband 2 (7,1m/s) und Proband 4 (1,3m/s) erreichen den höchsten bzw. niedrigsten Durchschnittswert der einzelnen Teilnehmer. Die restlichen Werte verteilen sich frei zwischen den Extremen. Positiv anzumerken ist, dass drei Probanden als konstant gewertet werden können, da sie mit relativen Fehlerwerten unter 13% gemessen werden konnten.

5.3.6 Maximalbeschleunigung der Hand

Nach den Maximalwerten für die Geschwindigkeit folgen nun die maximalen Werte für die Beschleunigung der Hand. Auch hier zuerst alle Werte im Überblick und anschließend die Berechnung der Mittelwerte, Standardabweichungen und der relativen Fehler für die Probanden und die WK.

Tab. 18.1. Übersicht über die Maximalbeschleunigung der Hand der einzelnen Probanden

Schlag	Proband 1	Proband 3	Proband 5	Proband 7	Proband 4	Proband 6
1. Schlag	37,5 m/s²	129,1 m/s²	50,4 m/s²	15,7 m/s²	42,4 m/s²	62,8 m/s²
2. Schlag	35,8 m/s²	153,0 m/s²	51,4 m/s²	15,7 m/s²	27,3 m/s²	44,2 m/s²
3. Schlag	34,8 m/s²	–	42,5 m/s²	12,6 m/s²	36,9 m/s²	72,1 m/s²
4. Schlag	50,1 m/s²	–	38,8 m/s²	15,9 m/s²	37,1 m/s²	37,8 m/s²
5. Schlag	45,8 m/s²	153,4 m/s²	61,8 m/s²	11,1 m/s²	40,2 m/s²	51,1 m/s²
6. Schlag	48,1 m/s²	163,8 m/s²	48,6 m/s²	15,9 m/s²	43,8 m/s²	67,2 m/s²
7. Schlag	46,6 m/s²	–	48,8 m/s²	18,0 m/s²	35,3 m/s²	52,8 m/s²
8. Schlag	29,0 m/s²	173,0 m/s²	57,4 m/s²	16,4 m/s²	38,3 m/s²	68,7 m/s²

Tab. 18.2. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalbeschleunigung der Hand der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	41,0 m/s²	154,5 m/s²	50,0 m/s²	15,2 m/s²	37,7 m/s²	57,1 m/s²
Standardabw.	7,6 m/s²	16,4 m/s²	7,4 m/s²	2,2 m/s²	5,1 m/s²	12,5 m/s²
relat. Fehler	18,7 %	10,6 %	14,8 %	14,6 %	13,5 %	21,8 %

Tab. 18.3. Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalbeschleunigung der Hand der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	97,7 m/s²	32,6 m/s²	47,4 m/s²
Standardabw.	80,3 m/s²	24,6 m/s²	13,7 m/s²
relat. Fehler	82,1 %	75,6 %	29,0 %

Die ermittelten Daten lassen sich in der nachstehenden Abbildung graphisch darstellen.

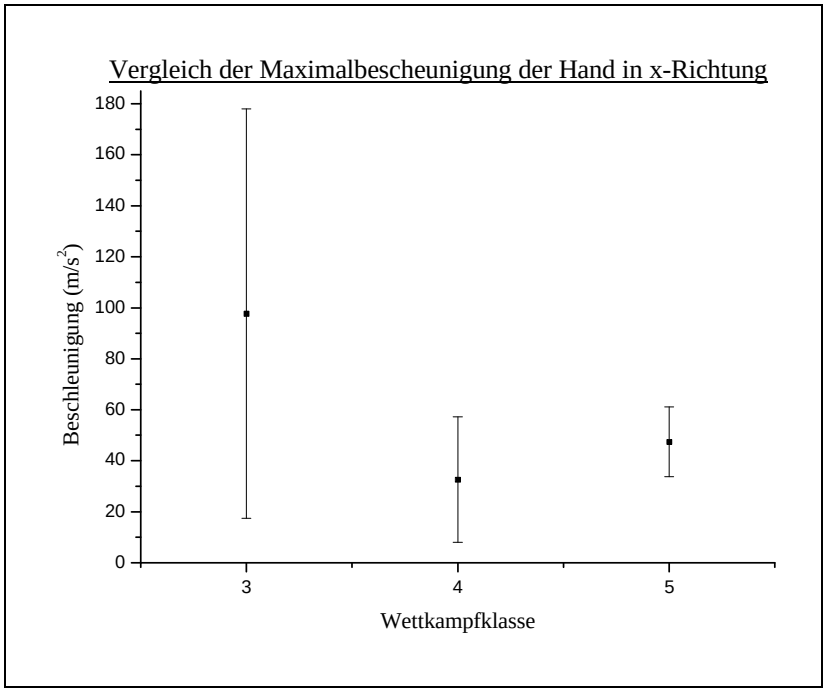


Abb. 46. Vergleich der Maximalbeschleunigung der Hand

Die Auswertung der Maximalbeschleunigung der Hand zeigt, dass, passend zur Maximalgeschwindigkeit, auch hier WK 3 den Höchstwert erreicht. Mit mehr als dem Dreifachen (32,6m/s²) von WK 4 und mehr als dem Doppelten (47,4m/s²) von WK 5 beschleunigt WK 3 (97,7m/s²) die Schlaghand in der Schlagphase. Die relativen Fehlerwerte liegen alle oberhalb der 20%-Grenze, sodass keine Klasse als stabil gelten kann. Die, in den Thesen, erwartete Reihenfolge der Mittelwerte konnte mit diesem Item nicht bestätigt werden.

Die Extremwerte der sechs Probanden werden, wie für die Maximalgeschwindigkeit, von Proband 2 und 4 erreicht. Proband 2 (154,5m/s²) erreicht die schnellste und Proband 4 (15,2m/s²) die langsamste Beschleunigung aller Probanden. Zwischen diesen beiden Werten verteilen sich die restlichen Werte in einem Bereich von 20m/s². Fünf der sechs Teilnehmer zeigen für dieses Item eine gute Stabilität, da sie alle mit ihrem relativen Fehler unter 20% liegen.

6 Interpretation der Ergebnisse

6.1 Interpretation der Teilthese 1

Die Items, die zur Untersuchung der Teilthese 1 dienten, erbrachten ein deutliches Ergebnis. Von den vier gewählten Items konnte eins, die Winkelstellung des Handgelenks im Umkehrpunkt, die Teilthese stützen. Das vierte Item, das die Position des Schlagarms im Umkehrpunkt untersucht hat und mit zwei verschiedenen Betrachtungsweisen ausgewertet wurde, konnte die TT-1 nur einmal bestätigen. Die anderen Items konnten dies nicht. Die erwartete Reihenfolge ist damit zu selten eingetreten und lag in den anderen Fällen teilweise stark abgewandelt vor. Somit muss konstatiert werden, dass die Teilthese 1 nicht bestätigt werden kann.

Es muss festgehalten werden, dass die analysierten Probanden in Bezug auf die Stabilität dieser Items sehr gute Resultate erreichten. Innerhalb der drei auf Mittelwert untersuchten Items überschritt lediglich ein Proband einmal die 20%-Marke des relativen Fehlerwertes. Auch die relativen Fehlerwerte der WK signalisieren, bis auf zwei Ausnahmen, eine hohe Stabilität innerhalb dieser Klassen. Zusammenfassend spricht dies für eine hohe Stabilität der Teilnehmer und der WK im Bezug auf die untersuchten Items.

Aus diesen Stabilitätswerten kann geschlussfolgert werden, dass die Probanden eine hohe Konstanz in der Ausführung des Vorhand-Topspins, in Bezug auf die untersuchten Items, besitzen.

Wie sind diese Ergebnisse zu erklären? Woran könnte es liegen, dass die WK 3 größere Winkelstellungen erreicht, obwohl sie aus Sportlern besteht, die laut aktuell bestehender Klassifikation in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkter sind als Sportler der WK 4 und 5?

Aus der Arbeit mit der verwendeten Literatur, dem Umgang mit den Ergebnissen der Pilotstudie und den eigenen, persönlichen Erfahrungen im aktiven Tischtennissport wird an dieser Stelle der Versuch unternommen, mögliche Gründe zu finden. Alle Punkte könnten einen Einfluss auf die Leistungen der Athleten ausgeübt haben, jedoch sind sie innerhalb dieser Arbeit nicht untersucht worden. Die folgenden Gründe stellen eine persönliche Ergänzung dar und können nicht als wissenschaftliche abgesichert angesehen werden.

- *Die geringe Größe der Stichprobe:* Durch eine größere Probandenanzahl könnten sich die Ergebnisse und die damit verbundene Reihenfolgen der WK verändern.
- *Die unterschiedliche Ausbildung*: Im Zuge derer Literaturrecherche konnte kein Ausbildungslehrgang für Rollstuhltischtennistrainer gefunden werden. Ebenso konnten keine Lehrmaterialien oder Technikbeschreibungen für Rollstuhltischtennis gesichtet werden. Daraus kann geschlossen werden, dass es aktuell keine einheitliche Ausbildung, im Speziellen keine einheitlichen Richtlinien für die Technikausbildung von Rollstuhltischtennisspielern gibt. Somit ist es durchaus möglich, dass jeder Spieler eine unterschiedliche Lehrweise (u.a. autodidaktisch) durchlebt hat.
- *Die individuelle Bewegungsfreiheit:* Es ist denkbar, dass die Beweglichkeit der Gelenke der einzelnen Probanden verschieden stark ausgeprägt oder möglich ist. Daher könnte es sein, dass ein

Spieler aus WK 4 eine größere Beweglichkeit aufweist, als ein Spieler aus WK 5. Ebenso ist es möglich, dass der verschiedenstarke Einsatz der freien Hand einen Einfluss auf die Position des Schlagarmes und der Schulter hat. Die freie Hand stabilisiert den Körper durch Ziehen und Drücken an der Greifstange am Rad des Rollstuhles. Mit diesem Einsatz können vielleicht Körperpositionen eingenommen werden, die bei weniger Kraft im freien Arm oder ungeschultem Einsatz nicht möglich sind.

- *Die individuelle Ausbildung oder Anwendung der koordinativen Fähigkeiten*: Für das Erreichen der Ausgangsposition für den jeweiligen Schlag spielen die Kopplungs- und Orientierungsfähigkeit, die Reaktionsfähigkeit sowie die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit eine große Rolle. Ist eine oder sogar mehrere dieser Fähigkeiten nur mäßig entwickelt, kann es zu großen Unterschieden in der Ausführung von Schlagbewegungen im Rollstuhltischtennis kommen.
- *Die Vorgeschichte*: Ein Sportler der bereits lange vor seiner Behinderung Tischtennis gespielt hat, hat eine andere Ausbildung genossen und somit andere Voraussetzungen im Vergleich zu Sportlern, die erst nach dem Eintreten der Behinderung zum Tischtennissport gefunden haben.
- *Das Alter:* Bei gleicher Behinderung sind junge Spieler möglicherweise in der Lage ihren Körper anders einzusetzen und in andere Positionen zu bringen als ältere Spieler.
- *Proband 4:* Sie war der einzige weibliche Proband. Dies führte dazu, dass die WK 4, im Gegensatz zu WK 3 und 5, heterogen repräsentiert wurde. Eine geschlechtsspezifische Auswertung zwischen Frauen und Männern war jedoch nicht Ziel dieser Arbeit.
- *Der Behinderungsgrad, das Vorhandensein und die Funktionalität der unteren Extremitäten, der individuelle Körperbau, sowie die individuellen Hebelverhältnisse* der Probanden könnten weitere Gründe sein.

6.2 Interpretation der Teilthese 2

Genau wie die Items zur Untersuchung der Teilthese 1, haben auch die Items für die Teilthese 2 eindeutig gezeigt, dass diese These nicht zu bestätigen ist. Kein Item konnte die erwartete Reihenfolge nachweisen. In drei Fällen verhielt sich die Reihenfolge der Ergebnisse entgegengesetzt zu der Reihenfolge, die in der Teilthese formulierte wurde. Daher muss auch für die Teilthese 2 festgehalten werden, dass die formulierten Erwartungen nicht bestätigt werden konnten.

Diese Aussagen können durch die errechneten Stabilitäten bestätigt werden. Die relativen Fehlerwerte der WK lagen lediglich dreimal, in 18 Fällen, unterhalb der 20%-Marke. Alle drei Werte wurden von WK 5 erreicht. Die anderen Fehlerwerte lagen häufig deutlich über 50%. Diese Instabilität der WK wird durch die Fehlerwerte der einzelnen Probanden bestärkt. Nur ein Viertel aller relativen Fehler konnte unterhalb der 20%-Marke festgestellt werden. Diese Zahlen sprechen dafür, dass für die Probanden keine Stabilität in der sporttechnischen Ausführung des Vorhand-Topspins, in Bezug auf die untersuchten Items, festgestellt werden konnte.

Für die folgenden Punkte gelten die analogen Bemerkungen wie für die Aufzählung zu den möglichen Gründen der Teilthese 1 (siehe 6.1).

- *Alle genannten Gründe für das Nichteintreten der Teilthese 1* können auch hier angeführt werden. Um deren Wiederholungen zu vermeiden, wird hiermit auf diese verweisen und andere, mögliche Punkten sollen im Mittelpunkt stehen.
- *Die Funktionalität des Handgelenks:* schneller und präziser Einsatz nicht möglich ist. Daher muss das Ellenbogengelenk den Großteil der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsarbeit übernehmen, während das Handgelenk passiver bleibt.
- *Proband 2:* Hier ist keine Topspin-Bewegung erkennbar. Die vollzogene Bewegung ähnelt einer Schusstechnik, die einen zentralen und keinen tangentialen (Voraussetzung einen Topspinschlag) Schläger-Ball-Kontakt zur Folge hat. Durch die horizontal gerichtete Schlagbewegung und den zentralen Ballanschlag sind höhere Geschwindigkeiten als beim Topspin möglich. Dies könnte zu Verzerrungen innerhalb der WK und der gesamten Untersuchung geführt haben.
- *Proband 4:* Sie war der einzige weibliche, sowie jüngste Proband innerhalb der Pilotstudie. Daher ist es möglich, dass es, auf Grund des anatomischen und muskulären Entwicklungsstandes, zu keinen vergleichbaren Werten, im Verhältnis zu den anderen Probanden, gekommen ist.
- *Die Aufgabenstellung:* Da die Aufgabenstellung für die Teilnehmer keine Vorgaben zur Intensität der Schläge gemacht hat, ist es möglich, dass einige Probanden ihren eigenen Focus für die Ausführung auf die Geschwindigkeit und andere Probanden auf die technische Ausführung gelegt haben.
- *Platzierung:* Die Probanden haben für die Schläge die Platzierung selbst gewählt, weil ihnen keine Trefferfläche vorgeschrieben wurde. Ein diagonal gespielter Ball kann, auf Grund der längeren Flugbahn, schneller gespielt werden, als ein paralleler Ball. Dies wirkt sich entsprechend auf die Geschwindigkeit und Beschleunigung des Schlagarms aus.

6.3 Interpretation der Kernthese

Nach der Diskussion der beiden Teilthesen kann abschließend die Kernthese diskutiert werden. Sie trifft die Aussage, dass sich Unterschiede zwischen den drei untersuchten WK im Bezug auf die technische Ausführung des Vorhand-Topspins zeigen werden. Um diese erwarteten Unterschiede darzustellen, wurden in den Teilthesen verschiedene Items untersucht und die Ergebnisse der WK, sowie der einzelnen Probanden verglichen. Diese Ergebnisse führten dazu, dass beide Teilthesen nicht bestätigt werden konnten.

Die Ergebnisse der zehn analysierten Items zeigen aber, dass es immer Abstufungen zwischen den Resultaten der WK gibt. In fünf Fällen (z.B. Winkelstellung des Ellenbogens im Umkehrpunkt) liegen zwei der drei WK eng beieinander, aber niemals alle Klassen. Die teilweise hohen relativen Fehlerwerte der WK zeigen an, dass es in diesen Fällen bereits innerhalb der WK zu erkennbaren Unterschieden gekommen ist.

Dies gilt in gleicher Weise für die Ergebnisse der einzelnen Probanden. Auch diese Resultate zeigen Abweichungen innerhalb der Teilnehmergruppe. Acht Items (z.B. maximale Beschleunigung des Handgelenks) führen zwei, drei oder sogar vier Probanden mit Werten innerhalb eines kleinen Bereiches auf, aber es tritt nie der Fall ein, dass alle sechs in einem solchen Bereich liegen.

Somit muss abschließend festgehalten werden, dass die gewonnenen Ergebnisse Unterschiede zwischen den drei analysierten WK aufzeigen, aber die, in den beiden Teilthesen formulierte Reihenfolge nicht bestätigten konnten. Die Kernthese, die sich ebenfalls auf die Ergebnisse der untersuchten Items bezieht, kann jedoch bestätigt werden. Die erwartete Strukturierung der WK ist nicht eingetreten, aber es wurden kinematische Unterschiede durch die Analyse von sporttechnischen Items zwischen den WK sichtbar, die nicht ausschließlich auf den Behinderungsgrad der Probanden zurückzuführen sind.

6.4 Ableitungen für eine Folgeuntersuchung

Die folgende Übersicht beinhaltet Ideen zur Verbesserung der durchgeführten Untersuchung in allen Bereichen. Diese Ideen haben sich aus dem Arbeitsprozess der vorliegenden Arbeit entwickelt. Sie stellen lediglich Vorschläge dar und können nicht als verbindlich gelten.

Tab. 19. Verbesserungsschläge für Folgeuntersuchungen

Teilbereich	Verbesserungsvorschlag
Probandengruppe	• Anzahl muss statistische Sicherheit gewährleisten
Untersuchungsaufbau	• Kamerapositionen wählen, die 3D-Auswertung garantiert
Untersuchungsmaterial	• Untersuchungsmarker aus anderem Material (z.B. eng anliegendes Oberteil mit Klettverschluss zur Befestigung der Marker) • Untersuchungsmarker an zusätzlichen Punkten (z.B. Rumpf, Hüfte, Knie) • Kameras mit höherer Aufnahmegeschwindigkeit
Untersuchungsgegenstand	• alle Grundschlagtechniken untersuchen • entsprechend große Wiederholungszahlen • vorgeschriebene Platzierungen für die Schläge • Untersuchung der Schläge auf Technikgenauigkeit und Geschwindigkeit

7 Fazit

Die Ergebnisse der Pilotstudie haben gezeigt, dass es bei der Ausführung des Vorhand-Topspins zu kinematisch messbaren Unterschieden zwischen den drei untersuchten WK im Rollstuhltischtennis gekommen ist. Diese Werte konnten die, in den Teilthesen, aufgestellten Erwartungen nicht bestätigen. Wären die erwarteten Reihenfolgen der Resultate der WK in Bezug auf die untersuchten Items eingetreten, so wären diese Technikstudien eine weitere Möglichkeit der Behinderungsklassifikation von Rollstuhltischtennisspielern. Eine Übersicht mit kinematischen Eckdaten, der ausgewählten sporttechnischen Items, für jede dieser drei WK könnte, nach einer Analyse von einigen Schlägen der Sportler unter einheitlichen Testbedingungen, Auskunft über die Einordnung des Untersuchten geben. Eine solche Ergänzung zu der aktuell praktizierten medizinischen Klassifikation könnte den gesamten Klassifikationsprozess noch präziser gestalten.

Da die Untersuchungen diese Ergebnisse nicht hervorgebracht haben, kann diese Schlussfolgerung nicht ohne weiteres gezogen werden. Die am Vorhand-Topspin analysierten sporttechnischen Items dienen somit nicht der Behinderungsklassifikation von Leistungssportlern in Tischtennis. Somit bleibt nach dieser Arbeit die Frage, ob eine kinematische Analyse von tischtennisspezifischen Schlägen mit sporttechnischen Items die medizinische Klassifikation unterstützen kann, weiterhin offen und die aktuell praktizierte medizinische Einteilung die beste Klassifikationsmethode.

Neben den Ansätzen in dieser Pilotstudie gibt es weitere kinematischen Auswertungsmöglichkeiten. Der Rollstuhltischtennissport bietet diverse Ansatzpunkte, um anhand von biomechanischen Analysen Sportler in Leistungsgruppen einzuteilen. Im Folgenden werden einige kinematisch messbare Untersuchungspunkte genannt, die Gegenstand einer möglichen Folgeuntersuchung seinen könnten. Die Ergebnisse einer solchen Arbeit könnten, unter Einbeziehung von vorhandenen Forschungsergebnissen über nichtbehinderte Tischtennisspieler, für einen Vergleich und eine mögliche Klassifikationsgrundlage im Rollstuhltischtennis dienen.

Die aufgezählten Ansatzpunkte stellen nur einen Teil der verbleibenden Möglichkeiten dar.

- Untersuchung aller Grundtechniken des Tischtennisspiels möglich
- Winkelamplituden der beteiligten Gelenke während eines Schlages
- Bewegungsumfang von Schlagbewegungen
- Einsatz von Bauch, Rumpf und Beinmuskulatur
- Einsatz der freien Hand
- Einsatz der Beweglichkeit des Rollstuhls
- Vermittelte Rotation an den Ball
- Vermittelte Geschwindigkeit an den Ball
- Sitzhöhe bzw. Schulterhöhe der Probanden

- Anatomische Merkmale der Spieler
- Stabilität in der Ausführung von Schlagtechniken, sowie Stabilität des Schlagerfolges (Treffergenauigkeit von vorgegebenen Zielen)

Neben der Bestimmung von kinematischen Größen ist es denkbar ausgewählte sozial relevante Daten in eine empirische Untersuchung einfließen zu lassen. Die folgende Aufzählung zeigt Beispiele für diese möglichen Parameter.

- Geschlecht der Probanden
- Kalendarisches Alter der Probanden
- Trainingsalter der Probanden
- Alter zum Zeitpunkt des Eintretens der Behinderung
- Spielerisches Niveau vor der Behinderung
- Kaderstatus der Probanden

Die Auswertung der oben genannten kinematischen Items könnte signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Sportlern aufzeigen. Die gewonnenen Ergebnisse können anhand von sozial relevanten Parametern für eine Gruppenbildung genutzt werden. Diese Gruppenbildung könnte eine mögliche Klassifikationsgrundlage darstellen.

Für einen Klassifikationsversuch durch die kinematische Analyse des Leistungsfaktors Technik muss beachtet werden, dass eine sportliche Leistung (z.B. Vorhand-Topspin) immer von mehreren leistungsbestimmenden Faktoren (siehe 2.5) abhängig ist. Diese Leistungsfaktoren liegen mit einer inneren Vernetzung und mit einer individuell unterschiedlichen Gewichtung vor. Die Bestimmung der Einflussstärke des einzelnen Leistungsfaktors stellt dabei eine Schwierigkeit dar. Die ausgeführte Technik ist ein Produkt aus der Summe von allen Leistungsfaktoren. Bei Sportlern mit Behinderungen kommt der Grad der individuellen Behinderung dazu, wie die Untersuchungen zu dieser Arbeit gezeigt haben. Auf Grund der Komplexität des Leistungsfaktors Technik und des derzeitigen Forschungsstandes, ist es momentan nicht möglich diesen Faktor in den Klassifikationsprozess einzubeziehen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

ATTESLANDER, P. (2003). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (10., neu bearbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, New York: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.

BAUERFELD, K.-H. & SCHRÖTER, G. (1986). *Grundlagen der Leichtathletik* (3., stark bearbeitete Auflage). Berlin: Sportverlag.

BORTZ, J. & DÖRING, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler* (2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

DOESSELER, H. (2008). *Unterschiede in der Schlagtechnikausführung und Rotationsentwicklung im Spitzensport in den Wettkampfklassen 1, 2 und 3.* Hausarbeit zur Erlangung der Trainer A-Lizenz des DTTB.

DTTB (Hrsg.). (2007). *Tischtennis Lehrplanreihe: Schlag- und Beinarbeitstechnik. Vorhand-Topspin, Sidejump & Co.* (3. aktualisiert Auflage). Frankfurt: DTTB.

DTTB (Hrsg.). (2008). *Tischtennis Lehrplanreihe: Koordinationstraining im Tischtennis. Wie man lernt, Körper und Tischtennisball zu beherrschen* (2. aktualisiert Auflage). Frankfurt: DTTB.

EHLENZ, H., GROSSER, M., ZIMMERMANN, E. & ZINTL, F. (1995). *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme* (5., überarb. Auflage, Neuausgabe). München, Wien, Zürich: BLV Sportwissen.

ERZBERGER, C. (1998): *Zahlen und Wörter. Die Verbindung quantitativer und qualitativer Daten und Methoden im Forschungsprozeß*. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.

GOTTLÖBER, G. & OELSCHLÄGEL, G. (1980). *Tischtennis. Technik, Taktik, Training* (5. bearbeitete Auflage). Berlin: Sportverlag.

GROß, B.-U. (1987). *Tischtennis-Praxis. Programme, Übungen, Lernhilfen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag.

HARDER, T. (1974). *Werkzeug der Sozialforschung*. München: Wilhelm Fink Verlag.

HOPF, C. & WEINGARTEN, E. (1984): *Qualitative Sozialforschung*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.

IINO, Y. & KOJIMA, T. (2009). *Kinematics of table tennis topspin forehands: effects of performance level and ball spin*. Journal of Sports Sciences 27 (12), 1311-1321.

IINO, Y., MURI, T. & KOJIMA, T. (2008). *Contributions of upper limb rotations to racket velocity in table tennis backhands against topspin and backspin.* Journal of Sports Sciences 26 (3), 287-293.

INDIN, A. A. (2001): *РЕЗЕРВЫ СКОРОСТИ УДАРНОГО ДВИЖЕНИЯ В НАСТОЛЬНОМ ТЕННИСЕ*. Теория и практика физической культуры, 8.

INDIN, A. A. (2006). *АТАКУЮЩЕЕ УДАРНОЕ ДЕЙСТВИЕ В НАСТОЛЬНОМ ТЕННИСЕ.* Научно-методический журнал Физическая культура: воспитание, образование, тренировка, 1.

KOSEL, H. & FROBÖSE, I. (1999). *Rehabilitations- und Behindertensport. Körper- und Sinnesbehinderte* (2., völlig neu überarbeitete Auflage, Neuausgabe). München: Pflaum Verlag.

LEHRBRIEF ROLLSTUHLSPORT (Hrsg. STROHKENDL, H.). (2010). *Grundlagen, Methodik und medizinische Aspekte des Rollstuhlsports*. Lohmar: Eigenverlag des DRS e.V.

LETZELTER, M. (1989). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag

ROGGE, K.-E. (1995). *Methodenatlas. Für Sozialwissenschaftler.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

SCHEID, V., RANK, M. & KUCKUCK, R. (2003). *Behindertenleistungssport. Strukturen und Anforderungen aus Athletensicht.* Aachen: Meyer & Meyer Verlag.

SCHMICKER, J. (Hrsg.). (2000). *Das große Buch vom Tischtennis*. Schwalmtal, Schweiz: Jürgen Schmicker Verlag.

THEWS, G., MUTSCHLER, E. & VAUPEL, P. (1999). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen* (5., völlig neu bearb. und erw. Auflage). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.

THIEß, G. & SCHNABEL, G. (1986). *Grundbegriffe des Trainings*. Berlin: Sportverlag.

VAN BIESEN, D., VERELLEN, J., MEYER, C., MACTAVISH, J., VAN DE VLIET, P. & VANLANDEWIJCK, Y. (2010). *The ability of elite table tennis players with intellectual disabilities to adapt their service/return.* Human kinetics journal 27 (3).

WICK, D. (2009). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegung* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage). Balingen: Spitta Verlag.

WOHLGEFAHRT, K. (Hrsg.). (2004). *Spezielle Trainingslehre. Tischtennis*. Moers, Deutschland: Brendow & Sohn Verlag.

YOSHIDA, K., ANDO, S., HIRUTA, S. & IMOTO, Y. (2001, September). *Three-dimensional analysis of the forehand flick stroke in top Japanese table tennis players*. Beitrag auf dem Pre-Olympic Congress Sports Medicine and Physical Education International Congress on Sport Science in Brisbane.

ZIMMERMANN, E. (1972). *Das Experiment in den Sozialwissenschaften*. (Hrsg.: SCHEUCH, E.K.) Stuttgart: B.G. Teubner.

Internetquellen

BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT (2008). *Das Klassifizierungssystem der paralympischen Sportarten*. Zugriff am 15.02.2010 unter http://www.bisp.de/nn_15790/SharedDocs/Downloads/Publikationen/sonstige__Publikationen__Ratgeber/Klassifizierung,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Klassifizierung.pdf

DEUTSCHER BEHINDERTENSPORTVERBAND E.V. (1998). *Grundsätze des Behindertensports*. Zugriff am 14.11.2010 unter http://www.dbs-npc.de/ourfiles/datein/woelk/HB-B-1c-Grunds%C3%A4tze_des_Behindertensports.pdf

DEUTSCHER BEHINDERTENSPORTVERBAND E.V. (2009). *Positionspapier des Deutschen Behindertensportverbandes (DBS) e.V. und Nationalen Paralympischen Komitees für Deutschland (NPC)*. Zugriff am 14.11.2010 unter http://www.dbs-npc.de/ourfiles/datein/ woelk/Handbuch/1b-Positionspapier.pdf

DEUTSCHER BEHINDERTENSPORTVERBAND E.V. (2005). *Struktur des Deutschen Behindertensportverbandes*. Zugriff am 11.11.2010 unter http://www.dbs-npc.de/ DesktopDefault.aspx?tabindex=1&tabid=182

DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V. (2010). *Aufgaben und Ziele*. Zugriff am 11.11.2010 unter http://www.drs.org/cms/index.php?id=62

DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V. (2010). *Das Handbuch des DRS (2009) zum Herunterladen – Klassifizierung im Rollstuhlsport*. Zugriff am 15.11.2010 unter http://www.drs.org/cms/index.php?id=132

DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V. (2010). *Tischtennis*. Zugriff am 11.11.2010 unter http://www.drs.org/cms/index.php?id=109

DEUTSCHER ROLLSTUHL-SPORTVERBAND E.V. (2010). *Vielfältiges Sportangebot*. Zugriff am 11.11.2010 unter http://www.drs.org/cms/index.php?id=32

DEUTSCHER TISCHTENNIS BUND (2010). *Gesundheitssport.* Zugriff am 12.11.2010 unter http://www.tischtennis.de/fuer_aktive/gesundheitssport/

DEUTSCHER TISCHTENNIS BUND (2010). *Sport und Organisation. Der Deutsche Tischtennis-Bund.* Zugriff am 10.11.2010 unter http://www.tischtennis.de/dttb/sport_und_organisation/

DONIC (o.J.): *Die Jan-Ove-Waldner Story*. Zugriff am 23.06.2010 unter http://donicext.dbap.de/fileadmin/user_upload/PDF_files/waldner.pdf

FACHBEREICH TISCHTENNIS DES DEUTSCHEN ROLLSTUHL-SPORTVERBANDES E.V.: *Struktur.*
Zugriff am 11.11.2010 unter http://www.rollstuhltischtennis.de/fachbereich/struktur/

STEADWARD, R. D. (2000). *Die Bedeutung des Sports für Behinderte. Gesellschaftliche Integration verwirklichen – Brücken bauen durch den paralympischen Sport.* Rede des Präsidenten des internationalen paralympischen Komitees anlässlich des Weltkongresses „Medicine meets Millenium“ vom 21.06. bis 31.08.2000 in Hannover. In: Der Orthopäde 2000 (29), S. 987-993. Zugriff am 11.08,2010 unter http://www.springerlink.com/content/ 19txu3etj05utd62/fulltext.pdf

Andere Quellen

PRONDZINSKI, W. (Vorsitzender des Fachbereiches Tischtennis im DRS). Notizen zur autorisierten Expertenbefragung – siehe Anhang VII.

Anhang

I Abbildungsverzeichnis

Lfd. Nr.	Seite	Quelle	Inhalt
1	7	SCHEID, V., RANK, M. & KUCKUCK, R. (2003). *Behindertenleistungssport. Strukturen und Anforderungen aus Athletensicht.* Aachen: Meyer & Meyer Verlag, S. 19)	Struktur des Deutschen Behindertensportverbandes
2	8	THEWS, G., MUTSCHLER, E. & VAUPEL, P. (1999). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen*. (5., völlig neu bearb. und erw. Auflage) Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, S. 606.	Rückenmark und Wirbelsäule im Medianschnitt
3	15	EHLENZ, H., GROSSER, ZIMMERMANN, E. & ZINTL, F. (1995). *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme.* (5., überarb. Auflage, Neuausgabe) München, Wien, Zürich: BLV Sportwissen, S. 12.	Mögliche Komponente der sportlichen Leistung
4	16	WOHLGEFAHRT, K. (Hrsg.). (2004): *Spezielle Trainingslehre. Tischtennis*. Moers, Deutschland: Brendow & Sohn Verlag, Seite 27.	Leistungsstruktur des TT-Sportspiels
5	17	GROß, B.-U. (1987). *Tischtennispraxis. Programme, Übungen, Lernhilfen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag, Seite 33.	Technik/Individualtaktik im Tischtennis
6	18	WOHLGEFAHRT, K. (Hrsg.). (2004): *Spezielle Trainingslehre. Tischtennis*. Moers, Deutschland: Brendow & Sohn Verlag, Seite 60.	Strukturelemente des Leistungsfaktors Technik und deren Verknüpfung
7	19	DTTB (Hrsg.). (2008). *Tischtennis Lehrplanreihe: Koordinationstraining im Tischtennis. Wie man lernt, Körper und Tischtennisball zu beherrschen.* (2. aktualisiert Auflage). Frankfurt: DTTB, S. 2.	Die koordinativen Fähigkeiten
8	20	WOHLGEFAHRT, K. (Hrsg.). (2004). *Spezielle Trainingslehre. Tischtennis*. Moers, Deutschland: Brendow & Sohn Verlag, S. 59.	Bedeutung ausgewählter Techniken – Orientierungswerte
9(.1, .2)	22	WOHLGEFAHRT, K. (Hrsg.). (2004): *Spezielle Trainingslehre. Tischtennis*. Moers, Deutschland: Brendow & Sohn Verlag, S. 65/66.	Vorhand-Topspin gegen Oberschnitt und Unterschnitt
10	28	WICK, D. (2009). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegung.* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage) Balingen: Spitta Verlag, S. 18.	Untersuchungsziele der Sportbiomechanik
11	29	WICK, D. (2009). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegung.* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage) Balingen: Spitta Verlag, S. 136.	Biomechanische Untersuchungsmethoden

Lfd. Nr.	Seite	Quelle	Inhalt
12	30	WICK, D. (2009). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegung.* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage) Balingen: Spitta Verlag, S. 137.	Videobildanalyse als biomechanisches Messverfahren
13	34	Photo: R. Eckardt, 17.07.2010 Aalen.	Versuchsaufbau
14	35	Eigene Darstellung	Skizze des Versuchsaufbaus
15	36	THEWS, G., MUTSCHLER, E. & VAUPEL, P. (1999). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen*. (5., völlig neu bearb. und erw. Auflage) Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, S. 557.	Dorsalansicht des rechten Arms
16	36	Photo: R. Eckardt, 17.07.2010 Aalen.	Proband mit Markern
17	39	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für nicht sichtbare Marker (Proband 2, Schlag 7)
18	40	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Auswertung mit doppelten Markern (Proband 3, Schlag 2)
19	41	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Messung der Winkelstellung im Ellenbogen im Umkehrpunkt (Proband 6, Schlag 4)
20	42	Eigene Darstellung	Vergleich der Winkelstellung im Ellenbogen
21	43	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Messung der Winkelstellung im Handgelenk im Umkehrpunkt (Proband 6, Schlag 4)
22	44	Eigene Darstellung	Vergleich der Winkelstellung im Handgelenk
23	45	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Messung der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante im Umkehrpunkt (Proband 4, Schlag 1)
24	46	Eigene Darstellung	Vergleich der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante
25	48	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für Proband 5 (Schlag 2)
26	48	Eigene Darstellung	Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 5, Schlag 2)
27	48	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für Proband 4 (Schlag 4)
28	48	Eigene Darstellung	Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 4, Schlag 4)
28	49	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für Proband 1 (Schlag 6)
30	49	Eigene Darstellung	Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 1, Schlag 6)
31	49	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für Proband 2 (Schlag 5)
32	49	Eigene Darstellung	Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 2, Schlag 5)
33	50	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für Proband 3 (Schlag 6)
34	50	Eigene Darstellung	Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 3, Schlag 6)
35	50	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für Proband 6 (Schlag 2)
36	50	Eigene Darstellung	Verlauf der Markierungspunkts in x-Richtung (Proband 6, Schlag 2)
37	53	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Messung der maximalen Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung des Ellenbogens (Proband 3, Schlag 2)

Lfd. Nr.	Seite	Quelle	Inhalt
38	53	Eigene Darstellung	Vergleich der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens
39	55	Eigene Darstellung	Vergleich der maximalen Winkelbeschleunigung des Ellenbogens
40	56	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Messung der maximalen Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung des Handgelenks (Proband 3, Schlag 2)
41	57	Eigene Darstellung	Vergleich der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks
42	58	Eigene Darstellung	Vergleich der maximalen Winkelbeschleunigung des Handgelenks
43	59	Eigene Darstellung	Kongruenzbeziehungen der Teilgeschwindigkeiten in einer Kreisbewegung
44	60	Screenshot aus WINanalyze	Beispiel für die Auswertung der Maximalgeschwindigkeit bzw. -beschleunigung der Hand (Proband 1, Schlag 1)
45	61	Eigene Darstellung	Vergleich der Maximalgeschwindigkeit der Hand
46	62	Eigene Darstellung	Vergleich der Maximalbeschleunigung der Hand

II Tabellenverzeichnis

Lfd. Nr.	Seite	Quelle	Inhalt
1	14	Eigene Darstellung	Übersicht über die funktionellen Unterschiede der Spieler der Wettkampfklassen 1 bis 5 im Rollstuhltischtennis
2	19	WOHLGEFAHRT, K. (Hrsg.). (2004). *Spezielle Trainingslehre. Tischtennis*. Moers, Deutschland: Brendow & Sohn Verlag, S. 33. (Eigene Darstellung)	Einflussstärke der koordinativen Fähigkeiten auf die Spielleistung im Tischtennis
3	22/23	DTTB (Hrsg.). (2007). *Tischtennis Lehrplanreihe: Schlag- und Beinarbeitstechnik. Vorhand-Topspin, Sidejump & Co.* (3. aktualisiert Auflage). Frankfurt: DTTB, S. 24.	Technikbeschreibung zum Vorhand-Topspin gegen Ober- und Unterschnitt
4	32	Eigene Darstellung	Übersicht über Probandengruppe
5	33	Eigene Darstellung	Übersicht über das verwendete Arbeitsmaterial
6(.1, .2)	37	Eigene Darstellung	Parameterliste und Abkürzungen
7(.1, .2, .3)	41/42	Eigene Darstellung	Ergebnisse der Winkelstellung im Ellenbogen (Probanden und Wettkampfklassen)
8(.1, .2, .3)	43/44	Eigene Darstellung	Ergebnisse der Winkelstellung im Handgelenk (Probanden und Wettkampfklassen)

Lfd. Nr.	Seite	Quelle	Inhalt
9(.1, .2, .3)	46	Eigene Darstellung	Ergebnisse der Winkelstellung zwischen Schulterachse und Tischkante (Probanden und Wettkampfklassen)
10	47	Eigene Darstellung	Zugehörigkeit von der Anzahl der Markierungspunkte zu den anatomischen Punkten des Schlagarmes
11	50	Eigene Darstellung	Übersicht über die Anzahl der hinter der Schulter liegenden Markierungspunkte (Probanden)
12	51	Eigene Darstellung	Übersicht über die Anzahl der hinter der Schulter liegenden Markierungspunkte (Wettkampfklassen)
13(.1, .2, .3)	53	Eigene Darstellung	Ergebnisse der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogens (Probanden und Wettkampfklassen)
14(.1, .2, .3)	54	Eigene Darstellung	Ergebnisse der maximalen Winkelbeschleunigung des Ellenbogens (Probanden und Wettkampfklassen)
15(.1, .2, .3)	56	Eigene Darstellung	Ergebnisse der maximalen Winkelgeschwindigkeit des Handgelenks (Probanden und Wettkampfklassen)
16(.1, .2, .3)	57/58	Eigene Darstellung	Ergebnisse der maximalen Winkelbeschleunigung des Handgelenks (Probanden und Wettkampfklassen)
17(.1, .2, .3)	60	Eigene Darstellung	Ergebnisse der Maximalgeschwindigkeit der Hand (Probanden und Wettkampfklassen)
18(.1, .2, .3)	61/62	Eigene Darstellung	Ergebnisse der Maximalbeschleunigung der Hand (Probanden und Wettkampfklassen)
19	66	Eigene Darstellung	Verbesserungsschläge für Folgeuntersuchungen

III Personalbogen zur Datenerhebung

Personalbogen zur Datenerhebung am 17.07.2010 in Aalen

Lieber Teilnehmer,

ich heiße Thilo Merrbach und bin Student an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena. Im Rahmen meiner Exsamensarbeit zum Thema *„Hypothetische sporttechnische Items der Behinderungsklassifikation von Leistungssportlern in der Sportart Tischtennis"* möchte ich heute Videodaten erheben. Detaillierte Informationen zum Ablauf der Erhebung erhalten Sie direkt vor den Aufnahmen.
Ich möchte Sie bitten, die offen Angaben unter den Punkten 1, 2 und 3 vollständig und wahrheitsgemäß auszufüllen. Alle Daten, Videoaufnahmen und Personalbögen werden anonym und vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und Ihre Zeit!

---

1. Persönliches

Körpergröße: _____cm

Körpergewicht: _____kg

Alter: _____Jahre

2. Körperliche Beeinträchtigungen

Schadensklasse: _____

Persönliche Besonderheiten:

_____
_____
_____
_____
_____

3. Tischtennis

Trainingsalter: _____Jahre

Trainingsintensität: _____Einheiten pro Woche

Verein:_____

Spielklasse:_____

Kaderstatus: _____Kader

---

4. Vermessungsdaten *(wird vom Testleiter ausgefüllt)*

1. Acromion – Acromion: _____cm

2. Acromion – Epicondylus Humeri Ulnaris: _____cm

3. Epicondylus Humeri Ulnarisis – Caput Ulnae: _____cm

4. Caput Ulnae – Caput Ossis Metacarpalia III: _____cm

IV Synchronisationspunkte und Framenummern der Schlagphasen

Synchronisationspunkt

Proband	Zeitpunkte	
1. Proband	Kamera 1: 11880.00 ms	Kamera 2: 10640.00 ms
2. Proband	Kamera 1: 9480.00 ms	Kamera 2: 5340.00 ms
3. Proband	Kamera 1: 9720.00 ms	Kamera 2: 9080.00 ms
4. Proband	Kamera 1: 7600.00 ms	Kamera 2: 8120.00 ms
5. Proband	Kamera 1: 5720.00 ms	Kamera 2: 8400.00 ms
6. Proband	Kamera 1: 8280.00 ms	Kamera 2: 8640.00 ms

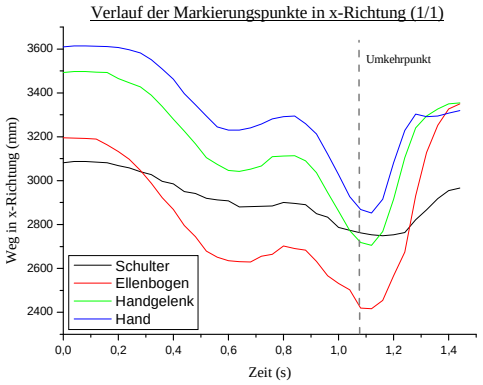
Framenummern der Schlagphasen

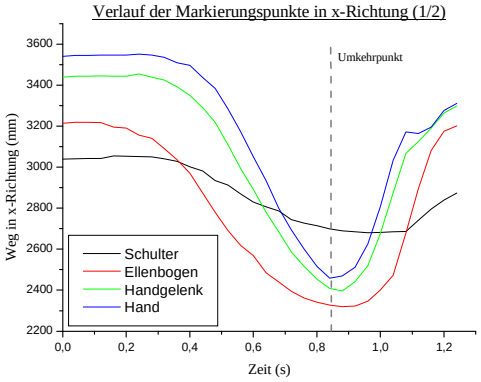
Die schwarzen Zahlen kennzeichnen die Frames innerhalb der Aufnahmen. Diese Schläge konnte vollständig ausgewertet werden. Die roten Zahlen signalisieren das jeweilige, vorzeitige Ende der Auswertung aufgrund von Verdeckung oder Ende der Aufnahme.

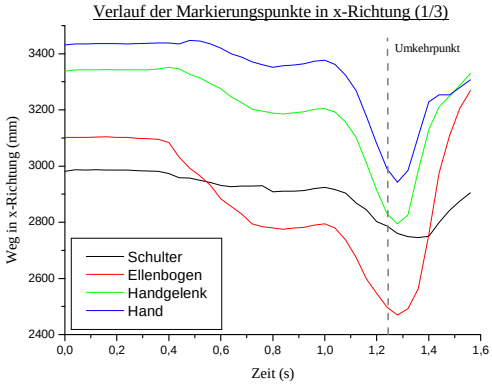
		Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	Ausgangsstellung	112	140	98	81	124	111
	Umkehrpunkt	139	161	122	101	133	120
	Balltreffpunkt	143	165	Ball verfehlt	105	135	123
	Ausschwungphase	148	169	132	110/112	137/141	125/129
2. Schlag	Ausgangsstellung	170	209	207	130	182	144
	Umkehrpunkt	191	215	228	155	189	171
	Balltreffpunkt	196	219	231	159	191	175
	Ausschwungphase	201	223	237	164/166	194/196	177/180
3. Schlag	Ausgangsstellung	286	263	262	195	222	208
	Umkehrpunkt	299	271	278	211	241	220
	Balltreffpunkt	302	275	283	215	243	223
	Ausschwungphase	307	281	289	219/222	245/249	225/237
4. Schlag	Ausgangsstellung	336	322	310	250	281	252
	Umkehrpunkt	355	332	331	263	289	276
	Balltreffpunkt	359	337	336	265	291	282
	Ausschwungphase	363	345	342	270/272	293/297	284/285
5. Schlag	Ausgangsstellung	395	384	366	295	329	314
	Umkehrpunkt	408	388	383	320	342	329
	Balltreffpunkt	411	392	386	327	344	333
	Ausschwungphase	415	394/395	393	331/333	346/350	335/338
6. Schlag	Ausgangsstellung	444	433	416	354	378	370
	Umkehrpunkt	461	439	434	378	395	383
	Balltreffpunkt	465	444	438	381	397	Ball verfehlt
	Ausschwungphase	469	446/449	443	385/388	400/403	388/391
7. Schlag	Ausgangsstellung	500	486	516	418	441	416
	Umkehrpunkt	512	493	541	432	453	435
	Balltreffpunkt	516	499	445	434	455	440
	Ausschwungphase	521	504	451	439/442	457/460	442/445
8. Schlag	Ausgangsstellung	545	544	577	469	500	475
	Umkehrpunkt	567	549	593	485	507	489
	Balltreffpunkt	573	553	596	487	509	492
	Ausschwungphase	577	555/558	fehlt	fehlt	510/514	495/497

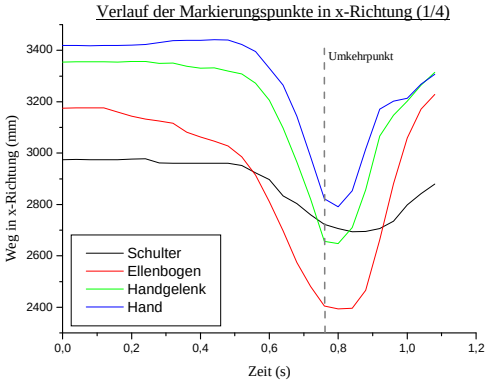
V Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung

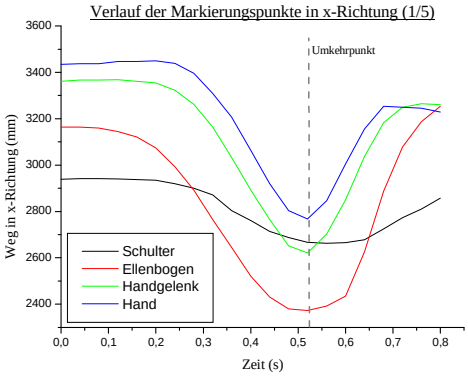
Proband 1

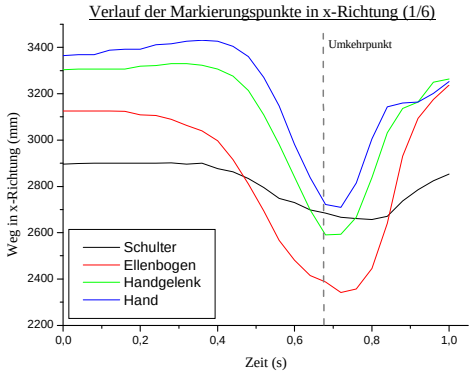


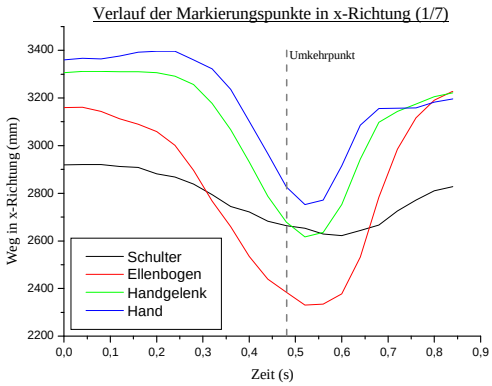


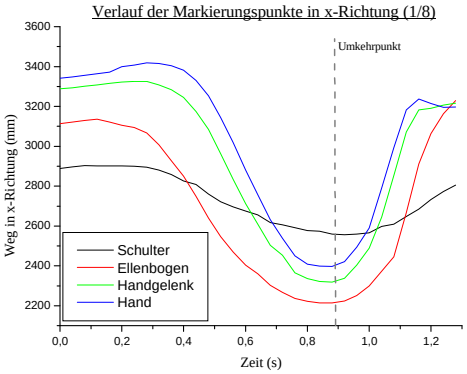




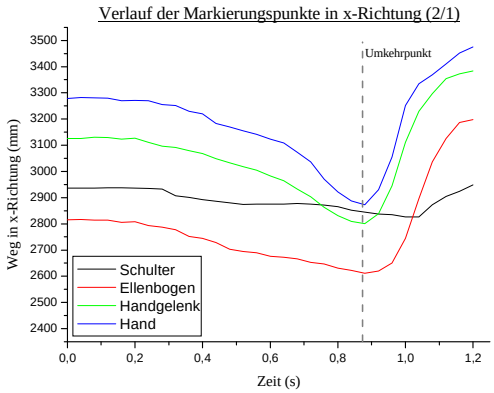


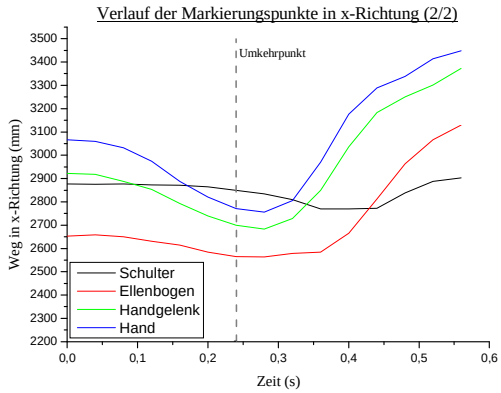


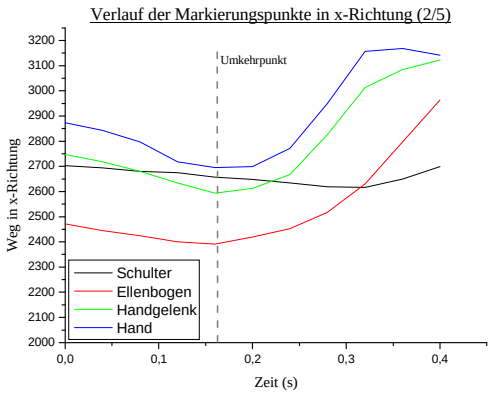


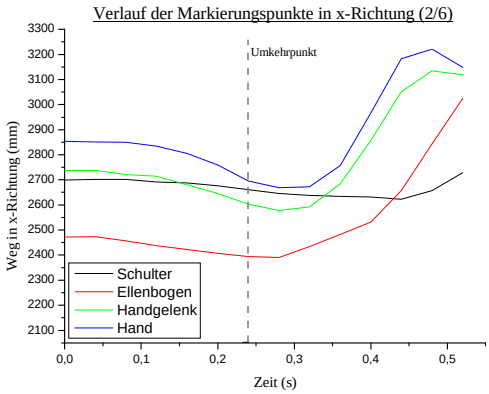


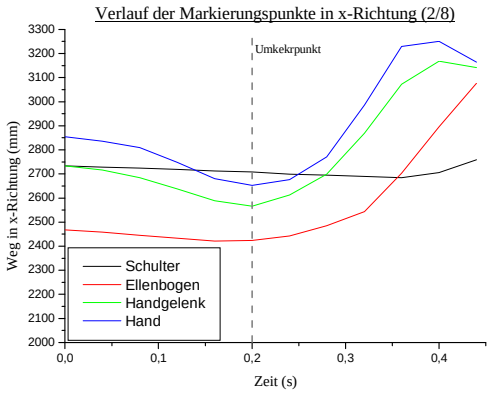
Proband 2


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (2/1)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

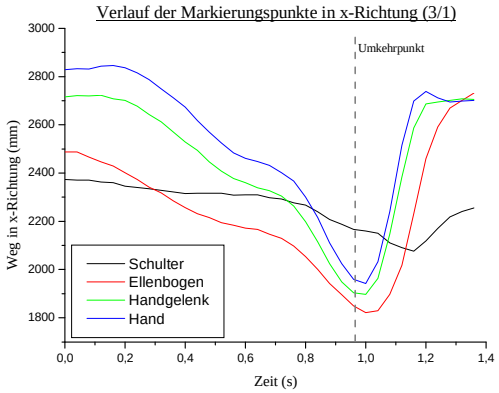

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (2/2)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

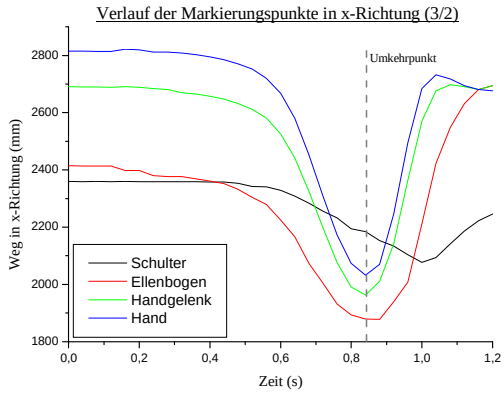

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (2/5)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

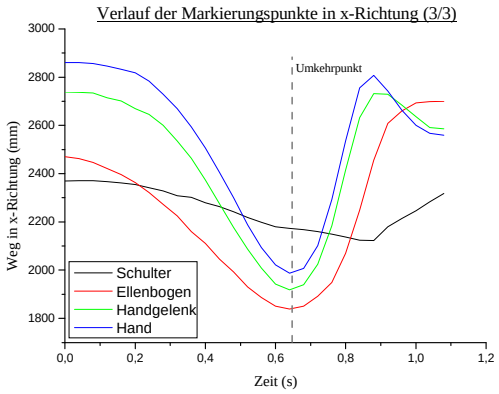

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (2/6)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

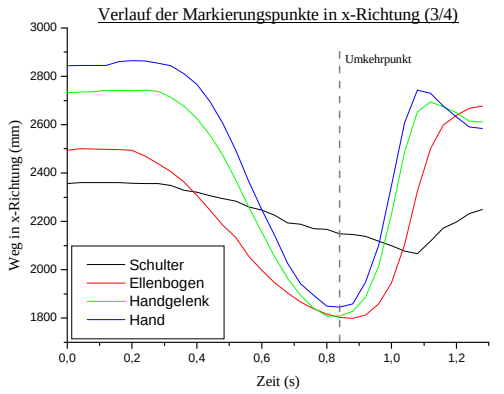

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (2/8)
Umkekrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

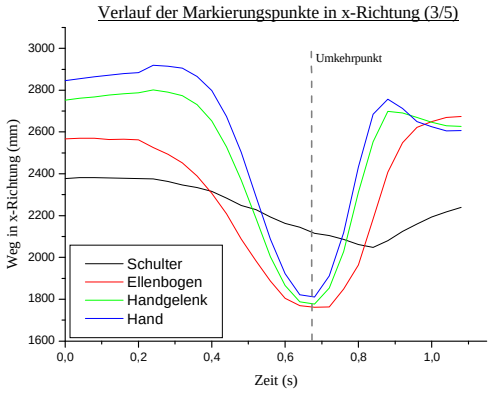
Proband 3

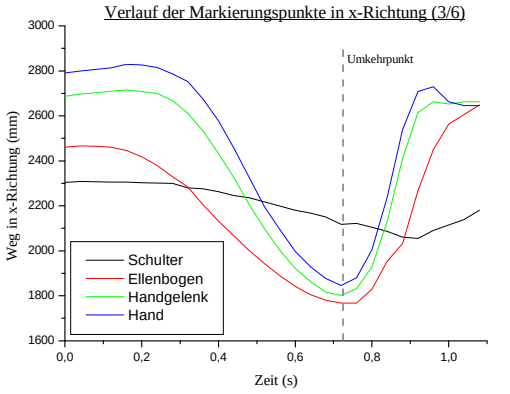

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/1)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

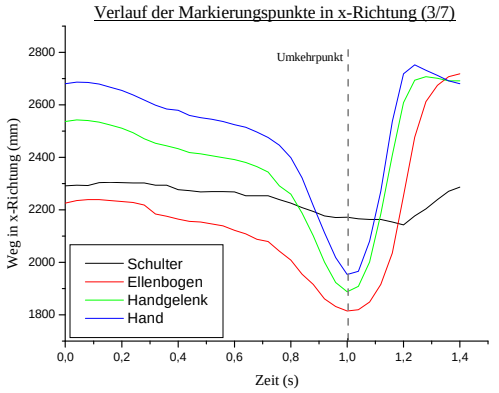

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/2)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

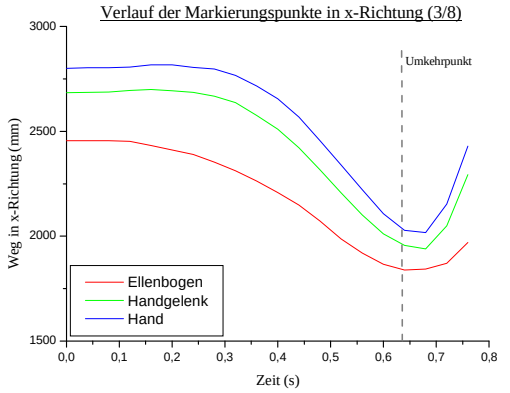

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/3)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/4)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

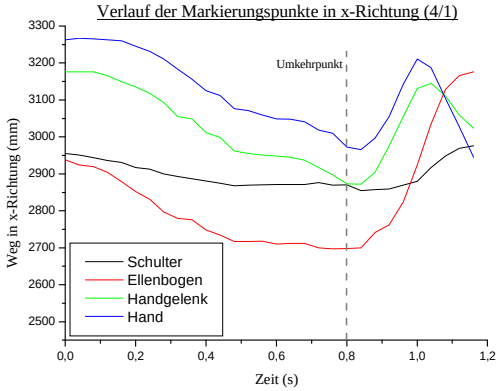

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/5)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

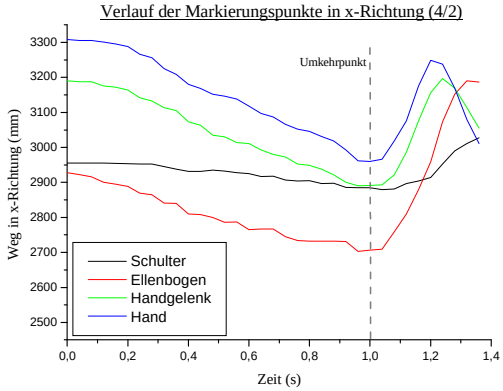

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/6)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

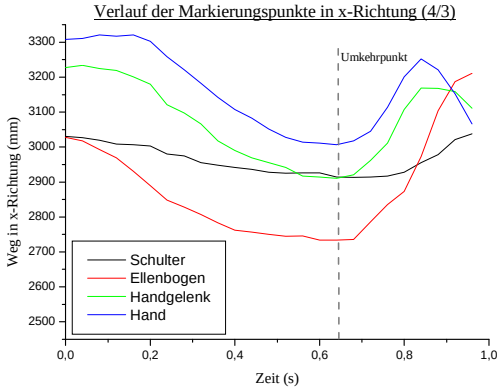

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/7)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

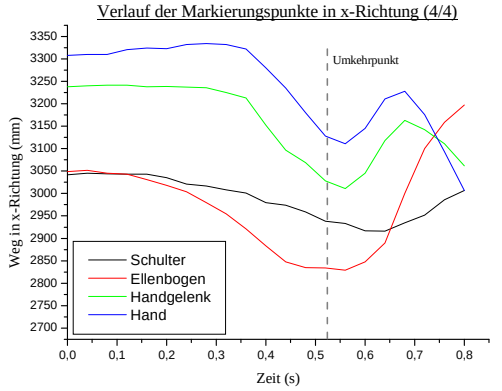

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (3/8)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

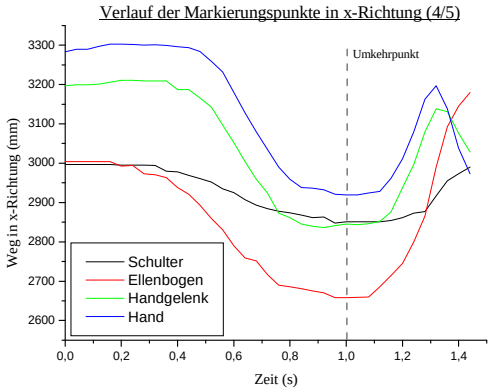
Proband 4

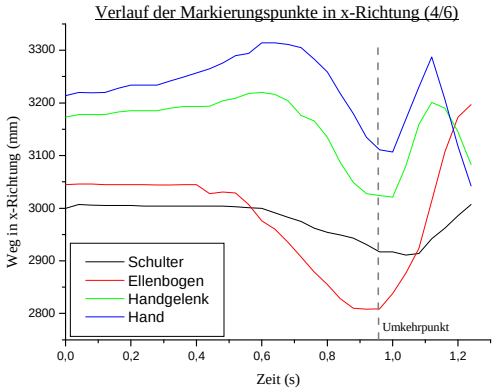

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/1)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

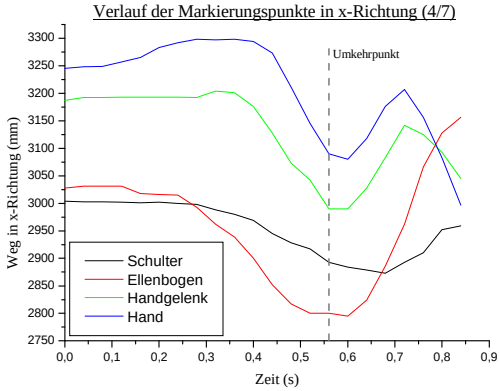

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/2)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

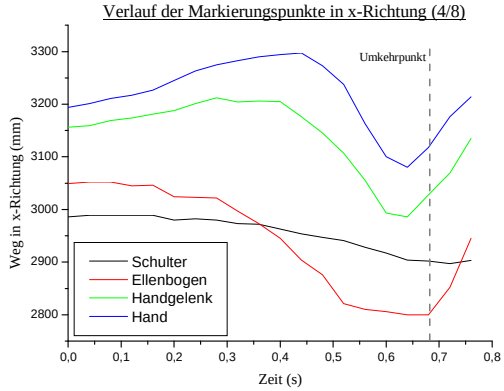

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/3)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/4)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

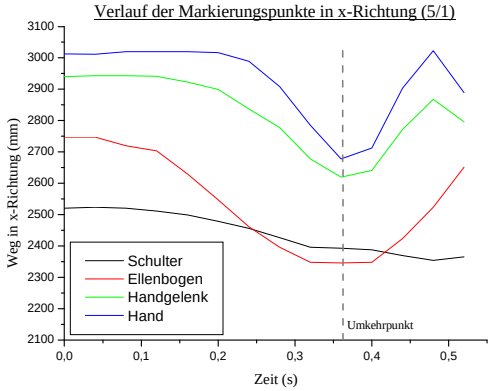

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/5)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

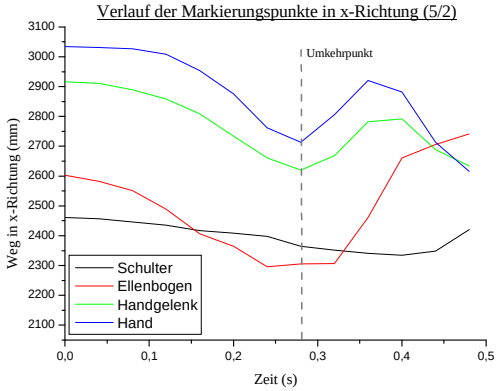

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/6)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

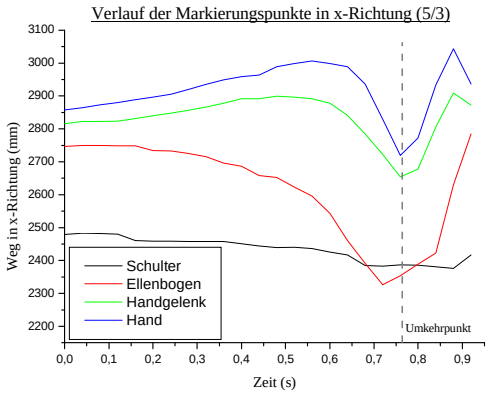

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/7)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

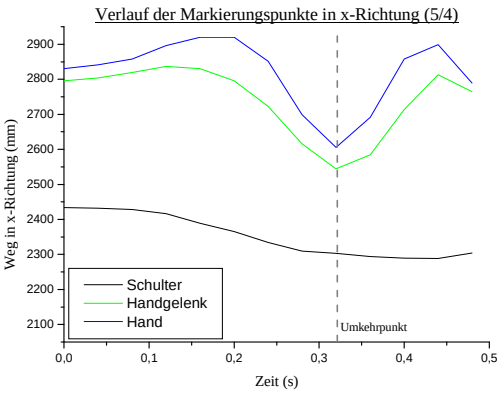

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (4/8)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

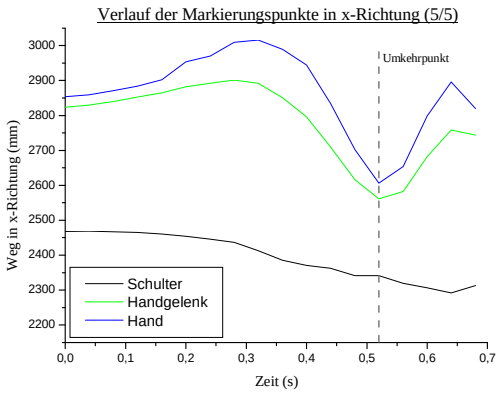
Proband 5

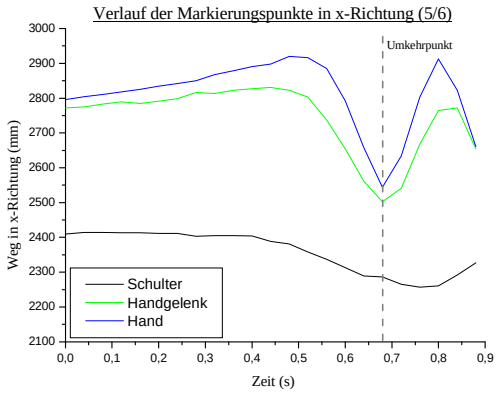

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/1)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

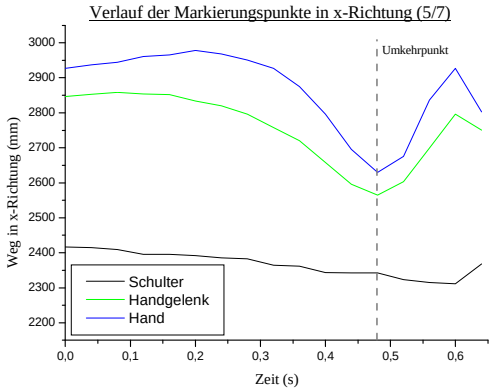

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/2)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

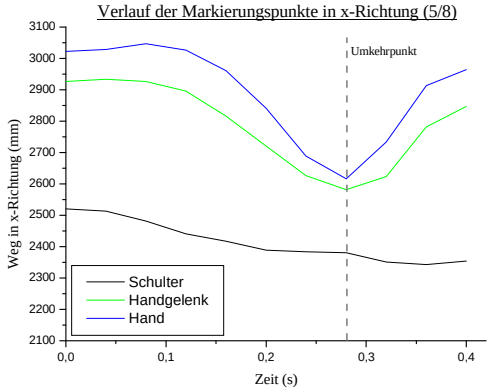

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/3)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/4)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

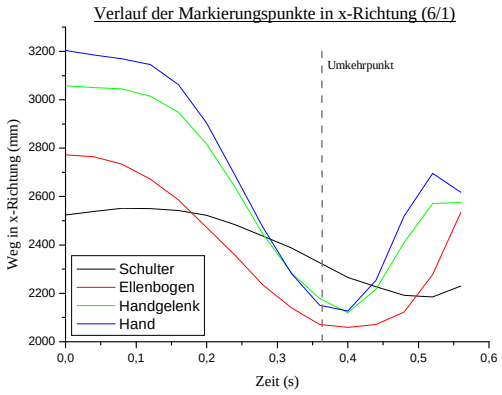

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/5)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

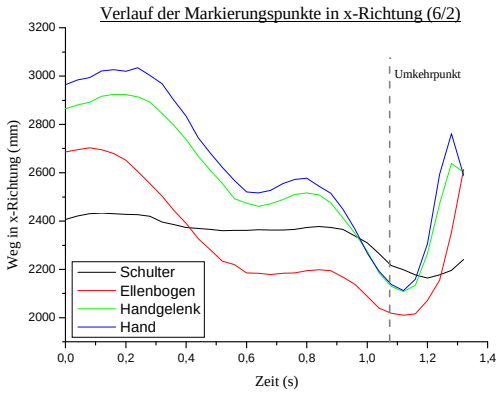

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/6)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

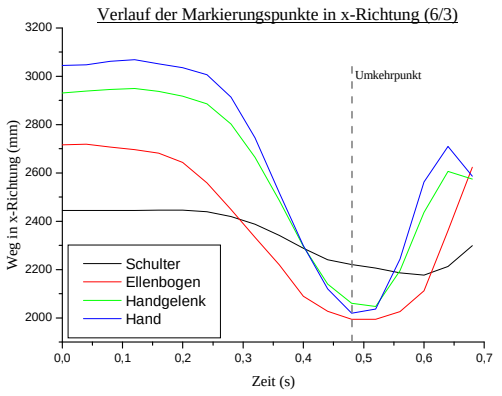

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/7)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

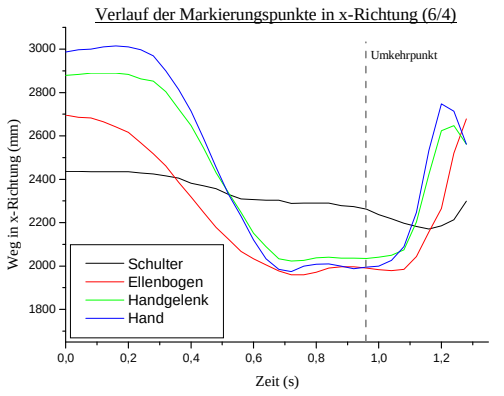

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (5/8)
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Handgelenk
Hand
Umkehrpunkt

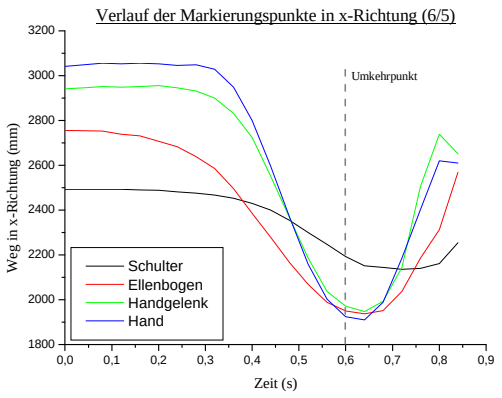
Proband 6

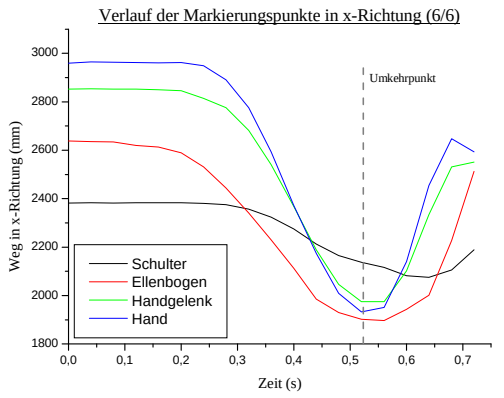

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/1)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

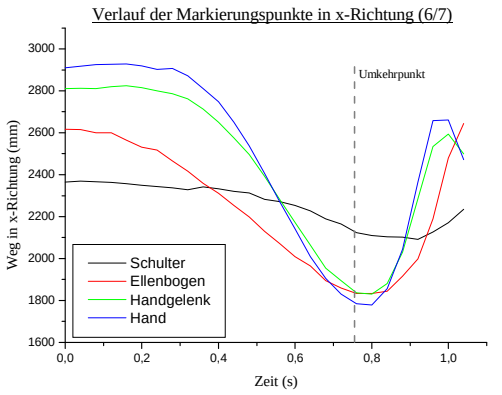

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/2)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

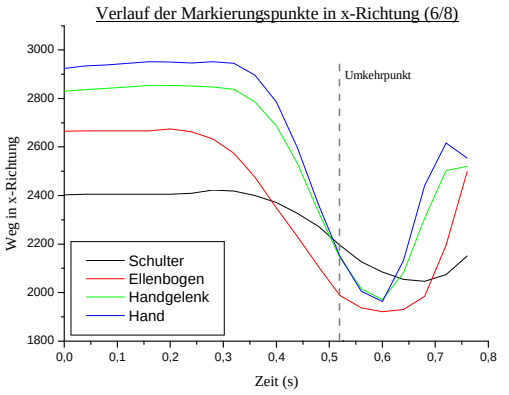

Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/3)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/4)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/5)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/6)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/7)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung (mm)
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand


Verlauf der Markierungspunkte in x-Richtung (6/8)
Umkehrpunkt
Weg in x-Richtung
Zeit (s)
Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand

VI Ergebnisse der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsuntersuchung des Ellenbogens und des Handgelenks

Maximalgeschwindigkeit des Ellenbogens

Übersicht über die Maximalgeschwindigkeit des Ellenbogens der einzelnen Probanden

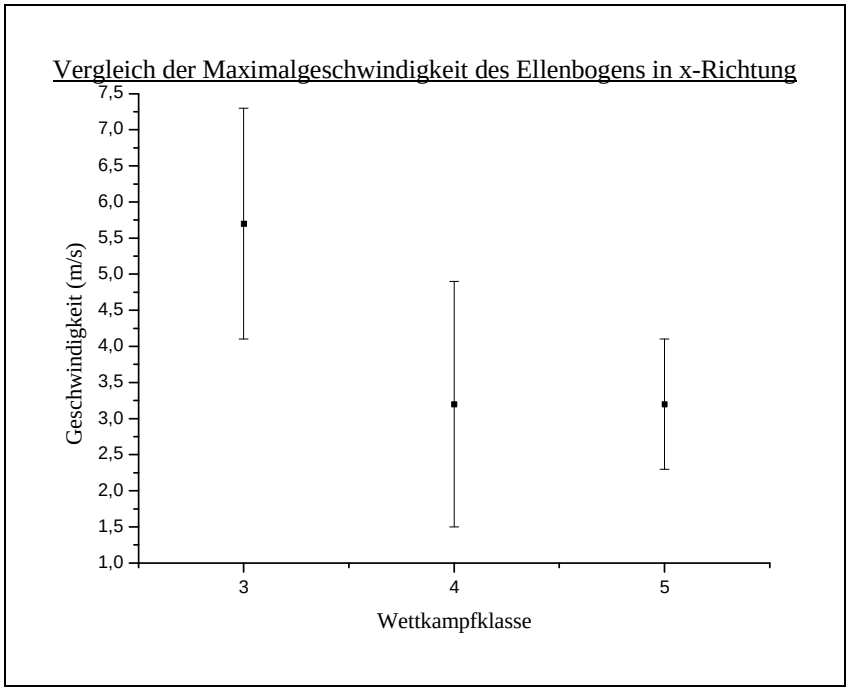
Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	4,6 m/s	6,2 m/s	4,6 m/s	2,4 m/s	2,0 m/s	2,9 m/s
2. Schlag	4,5 m/s	6,3 m/s	4,1 m/s	2,2 m/s	2,9 m/s	3,7 m/s
3. Schlag	4,1 m/s	–	4,3 m/s	2,3 m/s	2,8 m/s	4,0 m/s
4. Schlag	4,5 m/s	–	4,3 m/s	2,1 m/s	–	4,1 m/s
5. Schlag	4,9 m/s	7,1 m/s	4,6 m/s	2,3 m/s	–	3,8 m/s
6. Schlag	4,9 m/s	7,0 m/s	4,1 m/s	1,9 m/s	–	3,8 m/s
7. Schlag	4,8 m/s	–	4,6 m/s	2,0 m/s	–	4,8 m/s
8. Schlag	4,6 m/s	7,7 m/s	4,7 m/s	0,8 m/s	–	3,6 m/s

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalgeschwindigkeit des Ellenbogens der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	4,6 m/s	6,9 m/s	4,4 m/s	2,0 m/s	2,6 m/s	3,8 m/s
Standardabw.	0,3 m/s	0,6 m/s	0,2 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s
relat. Fehler	5,7 %	9,0 %	5,5 %	25,6 %	19,2 %	13,9 %

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalgeschwindigkeit des Ellenbogens der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	5,7 m/s	3,2 m/s	3,2 m/s
Standardabw.	1,6 m/s	1,7 m/s	0,9 m/s
relat. Fehler	27,7 %	53,2 %	28,1 %



Vergleich der Maximalgeschwindigkeit des Ellenbogens

Maximalbeschleunigung des Ellenbogens

Übersicht über die Maximalbeschleunigung des Ellenbogens der einzelnen Probanden

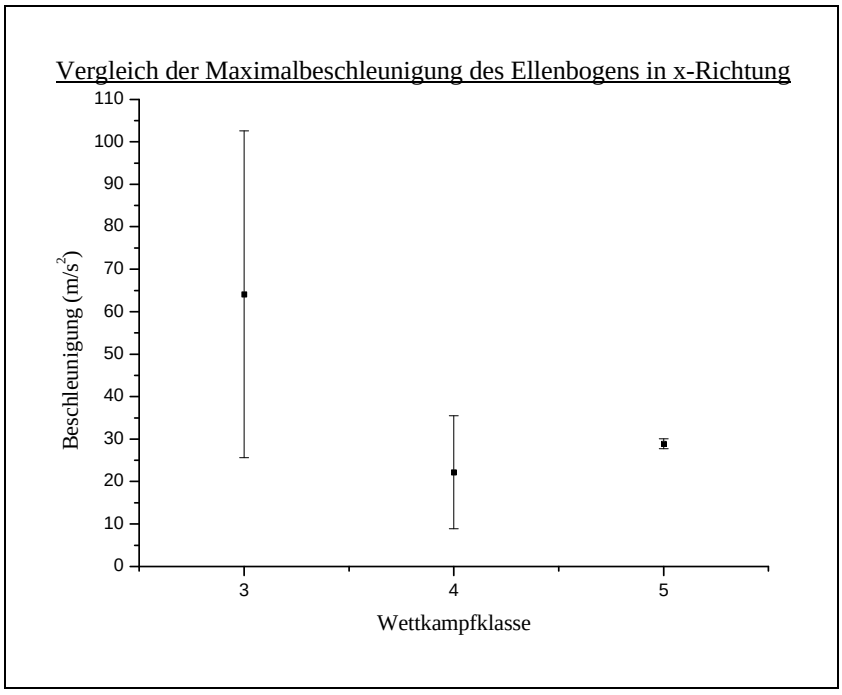
Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	35,7 m/s²	95,3 m/s²	35,8 m/s²	13,7 m/s²	21,6 m/s²	28,2 m/s²
2. Schlag	30,1 m/s²	93,6 m/s²	32,2 m/s²	11,0 m/s²	34,4 m/s²	24,8 m/s²
3. Schlag	37,7 m/s²	–	26,7 m/s²	13,0 m/s²	28,2 m/s²	32,9 m/s²
4. Schlag	39,4 m/s²	–	28,7 m/s²	16,7 m/s²	–	28,5 m/s²
5. Schlag	38,8 m/s²	86,6 m/s²	34,4 m/s²	12,9 m/s²	–	27,0 m/s²
6. Schlag	43,7 m/s²	80,8 m/s²	26,2 m/s²	11,7 m/s²	–	28,8 m/s²
7. Schlag	40,8 m/s²	–	31,9 m/s²	14,7 m/s²	–	35,2 m/s²
8. Schlag	29,0 m/s²	100,3 m/s²	37,2 m/s²	8,7 m/s²	–	33,0 m/s²

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalbeschleunigung des Ellenbogens der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	36,9 m/s²	91,3 m/s²	31,6 m/s²	12,8 m/s²	28,1 m/s²	29,8 m/s²
Standardabw.	5,1 m/s²	7,7 m/s²	4,1 m/s²	2,4 m/s²	6,4 m/s²	3,5 m/s²
relat. Fehler	13,8	8,4	13,0	18,9	22,8	11,8

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler der Maximalbeschleunigung des Ellenbogens der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	64,1 m/s²	22,2 m/s²	28,9 m/s²
Standardabw.	38,5 m/s²	13,3 m/s²	1,2 m/s²
relat. Fehler	60,0	59,9	4,2



Vergleich der Maximalbeschleunigung der Hand

Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks

Übersicht über die Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks der einzelnen Probanden

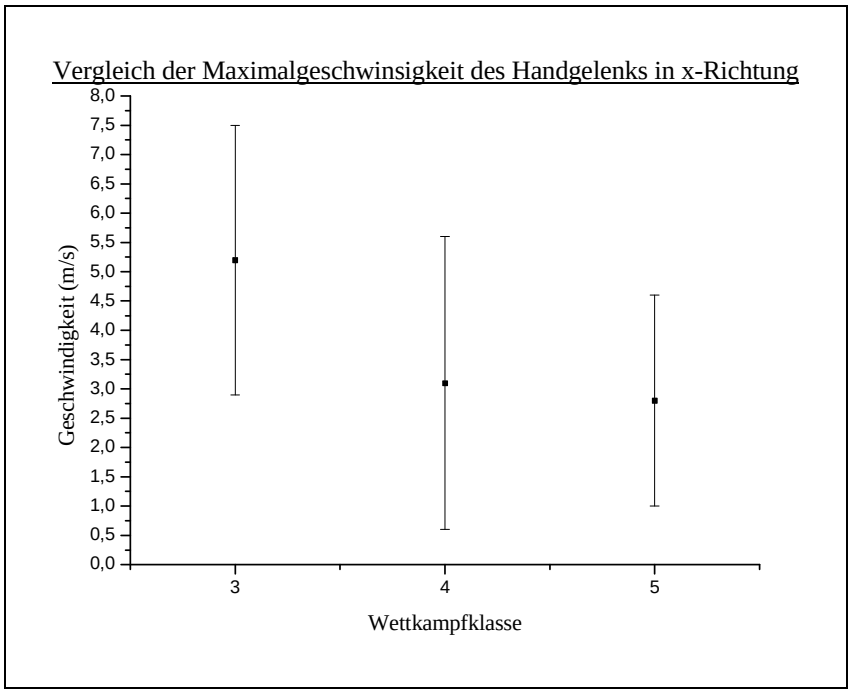
Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	3,5 m/s	6,0 m/s	4,7 m/s	1,7 m/s	1,4 m/s	3,2 m/s
2. Schlag	4,0 m/s	6,9 m/s	4,4 m/s	1,8 m/s	1,1 m/s	3,5 m/s
3. Schlag	2,8 m/s	–	4,7 m/s	1,6 m/s	1,7 m/s	3,7 m/s
4. Schlag	3,4 m/s	–	5,0 m/s	0,9 m/s	1,7 m/s	3,9 m/s
5. Schlag	3,4 m/s	6,5 m/s	5,5 m/s	1,7 m/s	1,4 m/s	5,2 m/s
6. Schlag	3,6 m/s	7,3 m/s	5,1 m/s	1,2 m/s	1,9 m/s	4,0 m/s
7. Schlag	3,4 m/s	–	4,5 m/s	1,0 m/s	1,4 m/s	4,8 m/s
8. Schlag	4,5 m/s	7,4 m/s	5,1 m/s	0,9 m/s	1,6 m/s	3,8 m/s

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler
der Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	3,6 m/s	6,8 m/s	4,9 m/s	1,4 m/s	1,5 m/s	4,0 m/s
Standardabw.	0,5 m/s	0,6 m/s	0,4 m/s	0,4 m/s	0,2 m/s	0,7 m/s
relat. Fehler	13,9 %	8,5 %	7,5 %	28,8 %	16,3 %	16,6 %

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler
der Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	5,2 m/s	3,1 m/s	2,8 m/s
Standardabw.	2,3 m/s	2,5 m/s	1,8 m/s
relat. Fehler	44,1 %	80,1 %	63,5 %



Vergleich der Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks

Maximalbeschleunigung des Handgelenks

Übersicht über die Maximalbeschleunigung des Handgelenks der einzelnen Probanden

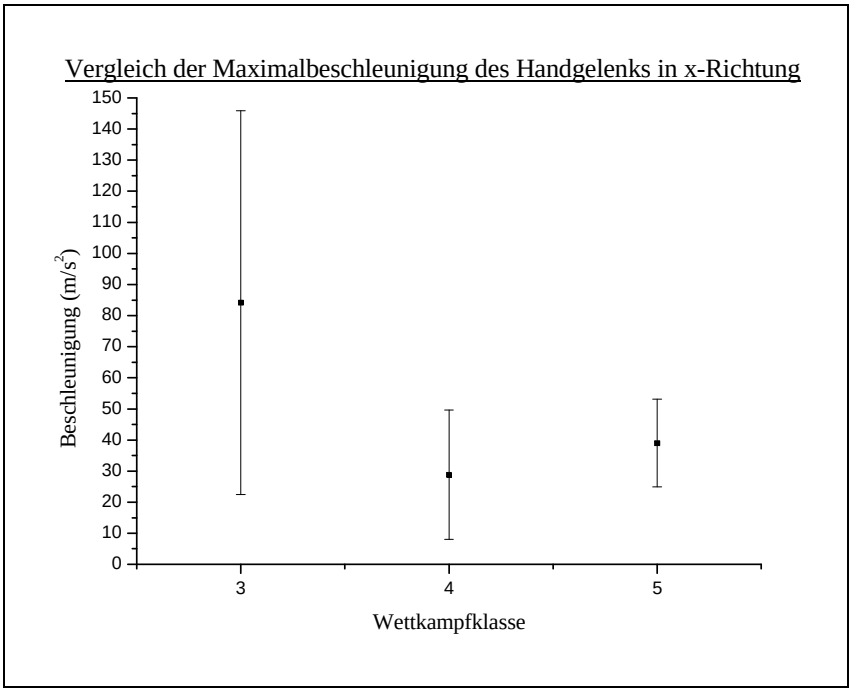
Schlag	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
1. Schlag	38,0 m/s²	102,8 m/s²	42,5 m/s²	15,6 m/s²	31,1 m/s²	50,9 m/s²
2. Schlag	31,5 m/s²	126,6 m/s²	43,8 m/s²	13,5 m/s²	22,9 m/s²	37,3 m/s²
3. Schlag	38,0 m/s²	–	37,6 m/s²	12,2 m/s²	28,7 m/s²	56,7 m/s²
4. Schlag	51,7 m/s²	–	35,7 m/s²	15,4 m/s²	33,7 m/s²	33,3 m/s²
5. Schlag	46,0 m/s²	132,9 m/s²	52,9 m/s²	11,1 m/s²	28,7 m/s²	56,3 m/s²
6. Schlag	47,8 m/s²	138,7 m/s²	42,5 m/s²	14,6 m/s²	32,6 m/s²	52,8 m/s²
7. Schlag	44,0 m/s²	–	40,9 m/s²	15,8 m/s²	25,6 m/s²	45,1 m/s²
8. Schlag	27,5 m/s²	137,9 m/s²	52,1 m/s²	14,5 m/s²	29,4 m/s²	59,3 m/s²

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler
der Maximalbeschleunigung des Handgelenks der einzelnen Probanden

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Mittelwert	40,6 m/s²	127,8 m/s²	43,5 m/s²	14,1 m/s²	29,1 m/s²	49,0 m/s²
Standardabw.	8,3 m/s²	14,8 m/s²	6,2 m/s²	1,7 m/s²	3,6 m/s²	9,5 m/s²
relat. Fehler	20,5 %	11,6 %	14,2 %	12,1 %	12,2 %	19,5 %

Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und relative Fehler
der Maximalbeschleunigung des Handgelenks der Wettkampfklassen

	WK 3	WK 4	WK 5
Mittelwert	84,2 m/s²	28,8 m/s²	39,0 m/s²
Standardabw.	61,7 m/s²	20,8 m/s²	14,1 m/s²
relat. Fehler	73,3 %	72,2 %	36,0 %



Vergleich der Maximalbeschleunigung des Handgelenks

VII Notizen zur autorisierten Expertenbefragung von Winfried Prondzinski

Im Verlauf der Datenerhebung am 17. Juli 2010 habe ich mich mit Herrn Winfried Prondzinski, dem Vorsitzenden des Fachbereiches Tischtennis im Deutschen Rollstuhl-Sportverband e.V. unterhalten. Innerhalb dieser Unterredung sind wir auf einige Fragen gestoßen, deren Beantwortung ich in keiner Literatur gefunden habe. Daher beruhen einige Informationen für meine Arbeit auf diesem Gespräch. Als Vorsitzenden des Fachbereichs sehe ich Herrn Prondzinski als kompetent und aktuell informiert an.

Die Notizen, die ich während der Unterhaltung gemacht habe, habe ich digitalisiert und hier an dieser Stelle aufgelistet.

1. Wie werden die Rollstuhltischtennisspieler aktuell klassifiziert?

- Für Spieler in Deutschland:
    - Sportler geht zum Arzt/Vereinsarzt und erhält Lizenz zur allg. Sporttauglichkeit im DRS
    - der Antrag stellende Verein/Gruppe nimmt eine Vorklassifikation vor
    - auf Grund dieser Vorklassifikation prüfen nationale Klassifizierer
    - sportmotorische Test und vorspielen beim Klassifizierer
    - Klassifizierer bestimmt Eingliederung in die bestehenden Wettkampfklassen
    - Beobachtung in den Wettkämpfen
    - ausstellen eines Spielerpasses
- Bei Qualifikation für internationale Wettkämpfe:
    - erneut sportmotorische Test und vorspielen, aber diesmal internationale Klassifizierer
    - Eingliederung in bestehende Wettkampfklassen
    - Beobachtung in den Wettkämpfen
    - ausstellen eines internationalen Spielerpasses mit allen individuellen Merkmalen

2. Wann wird eine Neuklassifizierung notwendig?

- Trainer, Sportler oder Klassifizierer stellen durch Beobachtung im Wettkampf die Vermutung auf, dass ein Spieler nicht in der richtigen Wettkampfklasse ist

3. Wie ist der Ablauf einer Neuklassifizierung?

- Antrag durch Trainer oder Spieler auf Neuklassifizierung eines anderen Spielers beim Deutsche Behindertensportverband e.V.
- DBS leitet Antrag an ITTF weiter und muss Antragsgebühr entrichten

- vor dem nächsten internationalen Wettkampf werden alle Sportler, für die ein Antrag vorliegt, zur Untersuchung gebeten
- sportmotorische, funktionelle Tests und vorspielen
- sondierte Beobachtung in mehreren Wettkämpfen, in der Regel durch mindestens zwei Klassifizierer
- falls Neuklassifizierung nötig ist, tritt diese erst zum nächsten Wettkampf in Kraft
- schriftliche Änderung im Spielerpass

4. Wie werden geistig behinderte Tischtennisspieler klassifiziert?

- zurzeit betreiben nur wenige (ca. 60) Menschen mit geistigen Behinderungen den Tischtennissport organisiert und Leistungssport orientiert → Kein deutscher Verband bzw. keine Turnierform
- viele verschiedene Krankheitstypen
- unterschiedliche Behinderungen machen einheitliche Klassifizierung schwer
- Geistigbehinderte Sportler können nach derzeitigen Stand nicht automatisch in die regulierten Klassifizierungsbestimmungen der Klassen 1 -10 aufgenommen werden. In einigen, nicht so umfangreichen geistigen Behinderungen wird es schon praktiziert (Rollstuhlklassen).
- derzeit gibt es noch keine genaue Klassifizierungsverordnung (national und
- international) → In London, 2012, soll der erste offizielle Wettkampf in der Klasse „Sport von Menschen mit geistiger Behinderung“ stattfinden.

5. Ist das Feststellen der Bremse am Rollstuhl während eines Ballwechsels vorgeschrieben?

- Feststellen der Radbremse ist nicht vorgeschrieben
- jeder Spieler entscheidet selbst
- abhängig von seinen eigenen motorischen Fähigkeiten und dem damit verbunden Spielsystem

6. Was wäre ein Beispiel für individuelle Beischränkungen?

- Spieler kann den Ball, bei eigenem Aufschlag nicht nach dem bestehenden Regelwerk ordnungsgemäß ausführen

Winfried Prondzinski 17. Juli 2010, Aalen-Unterkochern
Vorsitzender des Fachbereich Tischtennis im DRS

Danksagung

An diesem Punkt der Arbeit möchte ich mich bei allen Freunden und Kollegen, die mich im Verlauf des Arbeitsprozesses unterstützt haben, bedanken.

Zu Beginn richte ich meinen Dank an meine beiden Prüfer, Herrn Dr. Karlheinz Wohlgefahrt und Herrn Dipl. Sportwiss. Mathias Völzke, die mir die Arbeit an diesem interessanten Thema ermöglicht und mich mit hilfreichen Anregungen fachlich unterstützt haben.

Ein großer Dank gilt Herrn Winfried Prondzinski vom Fachbereich Tischtennis im DRS. Neben seiner Unterstützung für die Durchführung der Datenerhebung, stand er mir mehrmals für die Beantwortung von Fachfragen mit seinem Wissen zur Seite.

Darüber hinaus möchte ich es nicht versäumen, mich auch bei allen Probanden für ihre Teilnahme an meiner Pilotstudie zu bedanken. Ohne ihr freiwilliges Engagement wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Des Weiteren danke ich Herrn Dipl. Phys. Stefan Hochstein für seine technische Beratung und Herrn Joerg R. Brinkmann, von der Firma Mirkomak Service, für die Hilfestellung bei der Arbeit mit WINanalyze.

Auch meinem Freundeskreis bin ich zu Dank verpflichtet, in welcher Form auch immer er mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit geholfen hat. Unter allen Freunden möchte ich an dieser Stelle besonders Susanne Precht, die sehr kurzfristig für mich da war, Stephan Geiß, der viele gute Ideen hatte, und Robert Eckardt, der sehr viel Zeit für mich investiert hat, herausheben.

Mein letzter und größter Dank gilt jedoch meiner Familie. Meine Eltern haben mich während meines gesamten Studiums, sowie im Verlauf dieser Arbeit unterstützt und haben mir zu jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden. Auch meine Frau Monika hat mir auf vielfältige Art und Weise geholfen. Vor allem durch die Übernahme der „kleinen Dinge“ und die ständig Motivation hat sie mir tatkräftig unter die Arme gegriffen und die Realisierung dieser Arbeit gefördert – vielen Dank!

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der gegebenen Literatur und Hilfsmittel verfasst habe.

Sämtliche Stellen, die anderen Werken entnommen sind, wurden unter Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht.

Jena, den 13.12.2010 Thilo Merrbach

Daten CD

Folgende Datenmaterialien befinden sich auf der beigelegten CD-ROM:

- Videoaufnahmen der sechs Probanden von beiden Kameras
- Rohdaten für die Bearbeitung der einzelnen Items
- Errechnete Werte der einzelnen Probanden für die einzelnen Items

Diese Materialien sollen die Nochvollziehbarkeit der Arbeit begünstigen.