

Eine dreidimensionale, kinematische Analyse des Stand- und Sprungservice im Sportspiel Faustball

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des Magistergrades

Interfakultärer Fachbereich für
Sport- und Bewegungswissenschaft
Universität Salzburg

Betreuer: Prof. Dr. Hermann Schwameder

Eingereicht von

Kurt Söser

Salzburg 2004

*Gehe nicht auf ausgetretenen Pfaden,
sondern bahne Dir selbst einen Weg und
hinterlasse eine Spur!*

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 3 |
| 0. Vorwort | 5 |
| 1. Theoretischer Hintergrund..... | 7 |
| 1.1. Das Faustballspiel | 7 |
| 1.2. Das Faustballservice..... | 10 |
| 1.2.1. Taktische Überlegungen zum Faustballservice..... | 20 |
| 1.2.2. Statistiken zum Faustballservice | 23 |
| 1.3. Der Schlag im Faustball aus biomechanischer Sicht..... | 27 |
| 1.3.1. Der Faustball-Schlag als teilelastischer Stoß | 27 |
| 1.3.2. Geometrie des Faustballschlages..... | 34 |
| 1.3.3. Die biomechanischen Prinzipien des Faustballschlages..... | 47 |
| 1.4. Exkurs: Parameter eines „scharfen“ Schlages..... | 55 |
| 1.4.1. Theoretischer/physikalischer Hintergrund | 55 |
| 1.4.2. Vorhandene Untersuchungen zur Ballgeschwindigkeit | 57 |
| 2. Problemstellung und Arbeits-Hypothesen | 60 |
| 3. Methodik | 64 |
| 3.1. Datenaufnahme..... | 64 |
| 3.1.1. Probanden | 64 |
| 3.1.2. Messgeräte, Utensilien und Software..... | 66 |
| 3.1.3. Untersuchungsaufbau | 69 |
| 3.1.4. Untersuchungsdurchführung | 71 |
| 3.2. Datenauswertung | 73 |
| 3.2.1. Digitalisierung, Zeitversatz t_0 und 3D-Koordinatenbestimmung | 73 |
| 3.2.2. Untersuchungsparameter | 77 |
| 3.2.2.1. Geschwindigkeit..... | 77 |
| 3.2.2.2. Winkel..... | 77 |
| 3.2.2.3. Ballkoordinaten..... | 80 |
| 3.2.2.4. Effektive Schlagmasse, Körperschwerpunkt und Bahnkrümmung..... | 81 |
| 3.2.3. Fehlerabschätzung/Reliabilitätsprüfung | 83 |
| 3.2.4. Statistische Auswertung..... | 84 |
| 4. Ergebnisse | 86 |
| 4.1. Bilder und Animationen | 86 |
| 4.1.1. Standservice | 86 |
| 4.1.2. Sprungservice | 92 |
| 4.2. Körper(teil)geschwindigkeiten | 100 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.1. Standservice | 100 |
| 4.2.2. Sprungservice | 107 |
| 4.2.3. Vergleich Stand- und Sprungservice | 116 |
| 4.3. Körperwinkel | 118 |
| 4.3.1. Standservice | 118 |
| 4.3.2. Sprungservice | 125 |
| 4.3.3. Vergleich Stand- und Sprungservice | 129 |
| 4.4. Ballparameter | 131 |
| 4.4.1. Ballgeschwindigkeiten | 131 |
| 4.4.1.1. Standservice | 131 |
| 4.4.1.2. Sprungservice | 133 |
| 4.4.1.3. Vergleich Stand- und Sprungservice..... | 134 |
| 4.4.2. Flugbahn des Balles..... | 135 |
| 4.4.2.1. Standservice | 135 |
| 4.4.2.2. Sprungservice | 137 |
| 4.4.2.3. Vergleich Stand- und Sprungservice..... | 140 |
| 4.5. Rechnerische Ergebnisse – Effektive Schlagmasse..... | 141 |
| 5. Diskussion und Interpretation | 143 |
| 5.1. Hypothesenprüfung | 148 |
| 5.2. Vergleich mit vorliegenden Studien | 152 |
| 5.2.1. Ballgeschwindigkeiten..... | 152 |
| 5.2.2. Körperteilgeschwindigkeiten (BAYER 1980) | 153 |
| 6. Ausblick | 156 |
| 7. Anhang | 158 |
| 7.1. Herleitung der verwendeten Formeln..... | 158 |
| 7.2. Genauere Betrachtung der theoretischen Angriffslinie | 160 |
| 7.3. Daten | 162 |
| Zusammenfassung..... | 163 |
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | 166 |
| Literatur..... | 173 |

0. Vorwort

Die Beziehung zur Sportart „Faustball“ besteht in erster Linie aus persönlichen Gründen, da ich seit meinem 10. Lebensjahr diesen Sport betreibe. Als Leistungssportler dieser Randsportart bin ich natürlich an einer Weiterentwicklung bzw. wissenschaftliche Betrachtung interessiert. Die wenigen Untersuchungen, die es im Faustball gibt, wurden zum größten Teil als Abschlussarbeiten einer wissenschaftlichen Ausbildung angefertigt, und so stellt auch die vorliegende Arbeit keine Ausnahme dar.



Faustball hat sich in den letzten 10 Jahren im Spitzenbereich in vielerlei Hinsicht verändert. Eine leichte Professionalisierung der Sportart setzte ein; war früher das Training oftmals durch folgende Aussage charakterisiert: „Das machen wir so, weil wir es immer schon so gemacht haben“, so veränderte sich der Trainingsbetrieb insofern, als dass man einerseits eine stärkere Professionalisierung anstrebte, andererseits auch über die Grenzen der eigenen Sportart hinausblickte. Qualifizierte Trainer und Lehrwarte¹ wurden ausgebildet, um ein anspruchsvolles Training nach trainingsmethodologischen Aspekten zu gewährleisten.

Da Faustball ein reiner Amateursport ist, wurden bisher wenige wissenschaftliche Arbeiten über dieses alte Sportspiel verfasst.² So soll diese Arbeit eine grundlegende Basis für weitere Untersuchungen bilden.

Meines Wissens werden mit dieser Arbeit die ersten dreidimensionalen kinematischen Untersuchungen in der Sportart Faustball vorgestellt. Meine

¹ Es ist die Intention des Verfassers, dass bei allen personenbezogenen Bezeichnungen die gewählte Form für beide Geschlechter gilt.

² Bereits bei den Römern war ein ähnliches Spiel bekannt. Um 1300 erlebte es als „Pallone“ eine Neuentdeckung in Italien, wo es im 18. Jh. zum Höhepunkt des Spiels kam. (vgl. LETTENMAYR 1992, 11ff; LAUTENSCHLAGER/ KALB/ HOLZHEUER 1975, 13f)

Absicht ist es, eine hauptsächlich „Daten-liefernde“ Arbeit zu erstellen, worauf genauere Untersuchungen aufbauen können. Auch möchte ich mich gezielt an die vielen Faustballer in Österreich und darüber hinaus richten, die hoffentlich einige gute Anregungen für die Praxis aus meiner Arbeit ableiten können.

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen Teil, wo nicht nur Grundlagen der Sportart Faustball dargestellt werden, sondern auch schon Ergebnisse aus theoretischen Betrachtungen geliefert werden. Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt aber auf einer Untersuchung von 19 Probanden bezüglich Stand- und Sprungservice, wobei genau auf die Methodik eingegangen wird. Die Ergebnisse der Untersuchung werden bereits mit Anwendungen in der Praxis verknüpft und so soll die Arbeit auch einen kleinen Leitfaden für die Trainingsarbeit darstellen.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen Personen recht herzlich bedanken, die mir bei der Erstellung meiner Diplomarbeit hilfreich zur Seite gestanden sind: angefangen von den zahlreichen Faustballern aller Altersstufen, wo in Gesprächen viele kleine, aber wichtige Dinge und Probleme aufgeworfen wurden, bis hin zu den Laborbetreuern des Interfakultären Fachbereichs für Sport- und Bewegungswissenschaft Salzburg. Besonderer Dank gilt dem Betreuer der Arbeit, Herrn Prof. Dr. Hermann Schwameder, der keineswegs meine Diplomarbeit nur am Papier betreut hat, sondern mir auch mit Rat und Tat hilfreich zur Seite stand. Auch meinem Bruder Helmut werde herzlicher Dank zuteil, der mit großem Einsatz diese Arbeit redigiert hat.

Abschließend gilt mein spezieller Dank meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben, sowie meiner Freundin Michelle und meinem Sohn Elias, die für mich einige kostbare Zeit opferten, um die Arbeit überhaupt erstellen zu können.



Kurt Söser

1. Theoretischer Hintergrund

1.1. Das Faustballspiel

Um die nachfolgenden Ausführungen besser verstehen zu können, ist es notwendig, das Sportspiel Faustball in seinen Grundzügen zu erklären.³

Faustball ist ein Rückschlagspiel – ähnlich dem Volleyball – wo sich zwei Mannschaften á 5 Spieler auf einem rechteckigen 50 m x 20 m (Feld – auf Rasen) bzw. 40 m x 20 m (Halle) Spielfeld gegenüberstehen. Die beiden Spielfeldhälften werden durch die Mittellinie und ein in 2 m Höhe gespanntes Band (6cm breit – in weiterer Folge auch ‚Leine‘⁴ genannt) getrennt. In jeweils 3 m Entfernung parallel zur Mittellinie befinden sich die Servicelinien (in weiterer Folge öfters auch als „3 m-Linie“ bezeichnet).

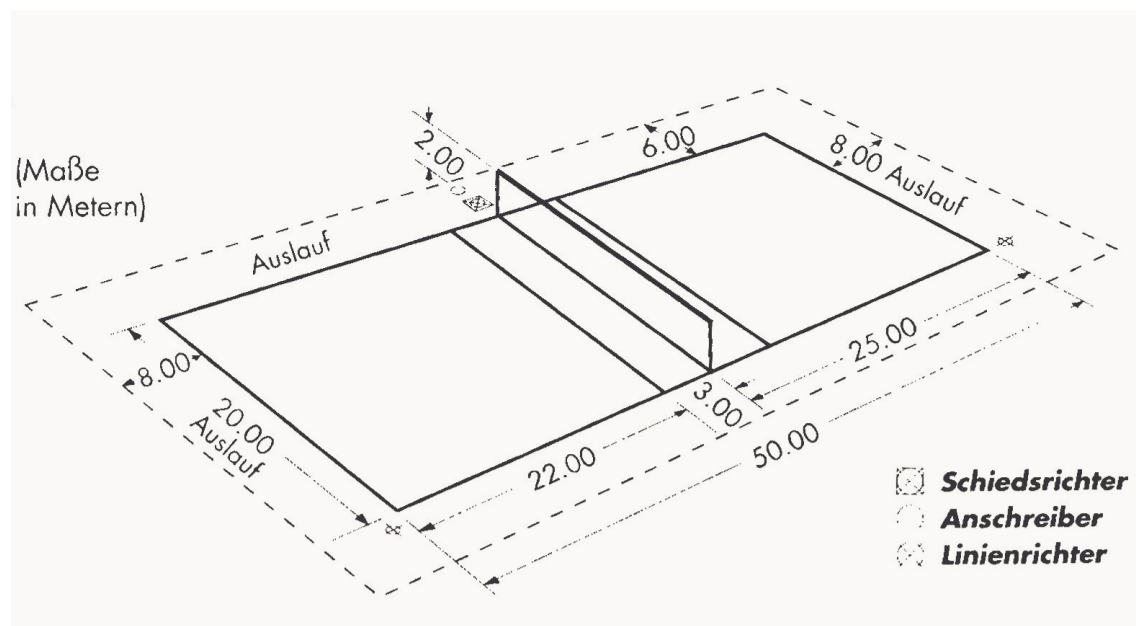


Abbildung 1.2.1-a: Faustballspielfeld aus: IFV 1999, 7

³ vgl. dazu IFV 1996 und 1999

⁴ Bis in die 80er war dieses dünne Netz wirklich eine dünne Schnur wie eine Wäscheleine; ab den 80 - 90er Jahren wurde – auf Bestreben von Herrn Erich Petschnek hin – ein 6 cm dickes Band eingeführt, was das Unterscheiden des „Oberhalb“ oder „Unterhalb“ des Balles enorm erleichterte.

Gespielt wird mit einem Leder-Hohlball, der einen Umfang von 65 – 68 cm, ein Gewicht von 350 – 380 g und einen Druck von 0,55 - 0,75 bar aufweist, welcher ausschließlich mit der geschlossenen Faust bzw. dem Arm (hauptsächlich Unterarm Innenseite) gespielt werden darf. Pro Spieler ist nur ein Ballkontakt erlaubt, innerhalb der Mannschaft sind drei Kontakte nach dem Schema A-B-C erlaubt. Der Ball darf zwischen den Kontakten nur einmal am Boden auftippen, kann aber auch direkt gespielt werden.

Ziel des Spiels ist es, den Faustball so über die Leine in das gegnerische Feld zu schlagen, dass ein regelkonformes Zurückspielen nicht möglich ist.

Jeder Fehler führt zu einem Punktgewinn des Gegners. Fehler sind zum Beispiel ein ins „Aus“ geschlagener Ball, das Doppelberühren des Balles, das Berühren der Leine durch Ball oder Körper(teil) und ein mehrmaliger Bodenkontakt des Balles vor einer Spielaktion. Im Spielablauf wird Aufschlag (Service), Annahme, Zuspiel und Rückschlag unterschieden. Die Positionen der Spieler sind festgelegt, wodurch sich eine Spezialisierung der Spieler ergibt. In einer Mannschaft befinden sich im Regelfall zwei Angreifer, die sich im Vorderfeld an den Seitenlinien, und drei Abwehrspieler, die sich an der Grundlinie platzieren. Einer davon – meistens der Spieler in der Mitte – übernimmt den zweiten Ballkontakt in der Mannschaft, was als „Zuspiel“ für die Angreifer bezeichnet wird. Deswegen nennt man ihn auch „Zuspieler“. Abbildung 1.2.1-b: Aufstellungsformen im Faustball“ soll die möglichen Platzierungen der Spieler im Spielfeld verdeutlichen:

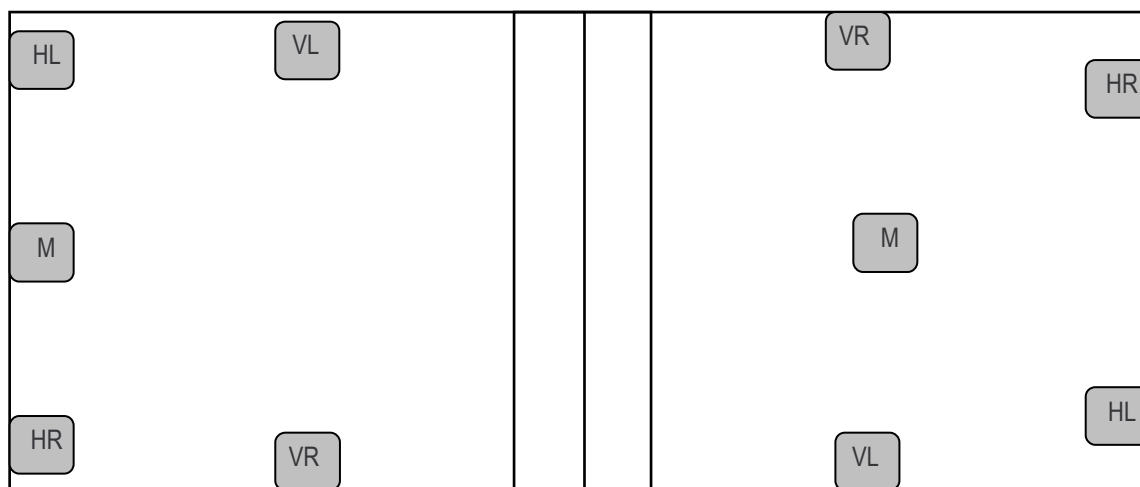


Abbildung 1.2.1-b: Aufstellungsformen im Faustball

(VR = Vorne rechts – Angreifer Nr. 1; VL = Vorne links – Angreifer Nr. 2; M = Mittelspieler – Zuspieler; HR = Hinten rechts – Abwehrspieler; HL = Hinten links – Abwehrspieler)

Im rechten Teil der Abbildung ist das klassische „W-System“ zu sehen, welches vom modernen „U-System“ (linke Seite) abgelöst wurde.

Gespielt wird international auf 3 Gewinnsätze bis jeweils 20 Punkte. Faustball ist sowohl eine Feld- als auch eine Hallensportart, die in den letzten Jahren immer größere Verbreitung findet. Ungefähr 25 aktive Verbände weltweit spielen regelmäßig nationale und internationale Meisterschaften mit Damen- und Herrenmannschaften. Alle vier Jahre werden Weltmeisterschaften durchgeführt, die im Jahr 2003 Brasilien für sich im Heimatland entscheiden konnte. Auch ist Faustball ein Mitglied der World Games Association und ist bei den alle vier Jahre durchgeführten World Games ein großer Publikumsmagnet. Jedes zweite Jahr finden auch noch Europameisterschaften statt, wo Österreich heuer seinen Titel erfolgreich verteidigen will.

Bestrebungen seitens des Internationalen Faustball-Verbandes gehen dahin, im Jahr 2008 die Sportart bei den Olympischen Sommerspielen vorzustellen.

1.2. Das Faustballservice

Da das Spielelement „Service“ den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit darstellt, wird hier auch auf die Rahmenbedingungen eines Faustballservice eingegangen. Nachfolgend ein Auszug aus den internationalen Faustball-Spielregeln (im englischen Original) bezüglich des Service:

„6. Service

- 6.1. *The service may be carried out by any player.*
- 6.2. *The player serving must throw the ball up visibly and hit it directly across the net.*
 - 6.2.1. *The service is valid if the ball touches the ground within the opponent's court-half or if it touches an opponent within or outside the opponent's half.*
- 6.3. *The service may be carried out running, jumping, standing or walking. Running and jumping, however, are permissible only if the first ground contact after the service is behind the service line.*

A service by a standing player constitutes the initial ground contact of the standing leg is not involved in the second ground contact.

A service by walking player leads to a service carried out standing and is therefore permissible according to paragraph three.

 - 6.3.1. *During the service no player of the serving team must be in the opponent's half.*
 - 6.3.2. *The service line, the space between central and service line and the ground outside the court must not be stepped on by the server prior to the first ground contact after the service behind the service line.*

Simultaneous ground contact with one leg in front of and the other on or behind the service line is regarded as a fault.

- 6.3.3. *The person serving may straddle across service or side line with one leg.*
- 6.4. *The service has to be started and carried out without any delay. Delay shall be defined as follows: if the ball is not hit within fifteen seconds after the referee's whistle. The referee can whistle as soon as the ball is in the serving team's half.*
- 6.4.1. *If a service has been initiated, but not carried out because the ball is no longer hit, this is regarded as a fault."*

(IFV 1996, 13)

Die wichtigsten Regeln seien hier noch einmal erläutert:

Ein Spielzug beginnt mit dem Service, das von einem Spieler von der 3m-Linie ausgeführt wird. Das Servicerecht hat jene Mannschaft, die einen Fehler begangen hat (Ausnahme: zu Beginn des Spiels kommt es zu einer Auslösung des Servicerechts).

Der große Unterschied zum Volleyballservice ist, dass während der gesamten Servicebewegung der Standfuß hinter der 3m-Linie bleiben muss (ein Betreten wäre schon Übertritt – vgl. Regel 6.3.2); d.h. ein Rechtshänder hält seinen linken Fuß hinter der Servicelinie. Exakt formuliert: Der erste Bodenkontakt nach der Servicebewegung muss hinter der 3m-Linie erfolgen (vgl. Regel 6.3.2).

Der Ball muss sichtbar aufgeworfen werden. Speziell bei einigen Servicefinten ist dies ein heikler Punkt, da es oft nicht ersichtlich ist, ob der Ball nun aus der Hand gestoßen (geschlagen), oder tatsächlich zuerst aufgeworfen wurde.

Für das Sprungservice sei speziell noch angemerkt, dass der Anlauf zwar außerhalb des Feldes erlaubt ist, der Ballkontakt jedoch innerhalb des Feldes erfolgen muss.

Da sich die Untersuchung auf das lange Stand- bzw. Sprungservice an die Grundlinie erstreckt,⁵ soll an dieser Stelle eine Bewegungsbeschreibung dieser beiden Techniken angegeben werden (vgl. LEITNER 1993 und BAYER 1980).

Es handelt sich bei beiden Bewegungen um eine zielorientierte, azyklische Bewegung.

Beide Bewegungen lassen sich in Anlehnung an MEINEL (1960) wie folgt gliedern:

- 1) Vorbereitungsphase
 - a) Eigentliche Vorbereitungsphase
 - b) Konzentrationsphase
 - c) Ausholphase

- 2) Hauptphase
 - a) Schlagbewegung
 - b) Schlageinwirkung

- 3) Endphase
 - a) Ausschwingphase

Diese Grobstrukturierung wurde bewusst so gewählt, da das Service bereits mit dem ersten Ballkontakt des Servicespielers nach einem Fehler beginnt. Auch wenn diese eigentliche Vorbereitungsphase und Konzentrationsphase nicht zur Servicebewegung zählen, so sind sie doch für die nachfolgende Bewegung von entscheidender Bedeutung. So ist die Positionswahl für das Service frei im Feld wählbar und beeinflusst somit die räumliche Komponente eines Service enorm. Dies wird in der Praxis häufig praktiziert, um dem Gegner andere Aufstellungsformen „aufzuzwängen“ oder um auf die Witterungsgegebenheiten zu reagieren (tief stehende Sonne, Wind, ...).

⁵ Differente Techniken und Finten werden aus der Grundtechnik heraus gelernt und werden in der vorliegenden Studie nicht behandelt.

Für die weitere Untersuchung sind besonders die Phasen ab Ausholphase (1.c) von Bedeutung, da dort die eigentliche Bewegung beginnt.

Nachfolgend werden die einzelnen Phasen des Service mit ihrer zeitlichen Dauer und ihren Zielen beschrieben, um eine Grundlage für weitere wissenschaftliche Arbeiten zu liefern.

1) Vorbereitungsphase

Beginn: Servicespieler bekommt Ball

Ende: Ende des Schlagarm-Rückführens

Ziel: - Schaffung der Voraussetzung für ein regelkonformes Service
- Schaffung der idealen Ausgangsposition für die nachfolgende Schlagbewegung

a) Eigentliche Vorbereitungsphase

Beginn: Servicespieler bekommt Ball

Ende: Spieler erreicht stabilen Stand

Ziel: - Einnehmen der regelkonformen, individuellen Position für die nachfolgende Ausführung des Service im Spielfeld

Hier sei angemerkt, dass das Service laut Regeln innerhalb von 15 Sekunden durchgeführt werden muss (vgl. dazu Regel 6.4).

b) Konzentrationsphase

Beginn: Spieler steht stabil mit Ball

Ende: Einnehmen der Ausgangsstellung

Ziele: - Psychische Vorbereitung auf das nachfolgende Service
- Beobachtung des Gegners um eventuelle Aufstellungsfehler zu erkennen
- (Vor-)Entscheidung über Serviceart

Viele Spieler tippen den Ball vor der Servicebewegung vor sich auf oder haben ihr eigenes „Ritual“. Als Beispiele seien eine genaue Schrittfolge oder bestimmte Bewegungsmuster zu erwähnen.

c) Ausholphase

Beginn: erstes Nachvorbringen des KSP

Ende: Ende des Schlagarm-Rückführens

Ziele: - Schaffung idealer Voraussetzung für die nachfolgende Beschleunigung der Körperteile

Die Ausholphase stellt den eigentlichen Beginn der Servicebewegung dar. Wichtigster Bestandteil ist mit Sicherheit der Aufwurf des Balles.⁶ Beim Sprungservice kommt noch der Anlauf zum Service hinzu.

2) Hauptphase

Beginn: Ende des Schlagarm-Rückführens

Ende: letzter Kontakt Ball - (Schlag)Hand

Ziele: - Beschleunigung der schlagseitigen Körperseite von proximal nach distal (Hüfte – Schulter – Ellbogen – Handgelenk – Faust)
- Impulsübertragung der einzelnen Körperteile von proximal nach distal
- Impulsübertragung auf den Ball

a) Schlagbewegung

Beginn: Beschleunigung der schlagarmseitigen Hüfte und des Schlagarmes aus der Ausgangsstellung

Ende: Kontaktbeginn Ball-Hand

Ziel: - Ideale Impulsübertragung der einzelnen Körperteile von proximal nach distal um maximale Endgeschwindigkeit der Faust zu erreichen

b) Schlageinwirkung

Beginn: Kontaktbeginn Ball-Hand

Ende: Kontaktende Ball-Hand

Ziel: - optimale Impulsübertragung auf den Ball

⁶ Die Qualität des Service hängt mitunter von der Konstanz des Aufwurfes ab. Eine Untersuchung auf die Qualität und Konstanz des Aufwurfs (räumliche Parameter, zeitliche Struktur, ...) wäre von großem Interesse.

Hierbei sei besonders auf das Kapitel „Der Schlag im Faustball aus biomechanischer Sicht“ (Kapitel 1.3) verwiesen.

3) Endphase (Ausschwingphase)

Beginn: Letzter Ballkontakt

Ende: Erreichen des stabilen Stands

Ziel: - harmonische Beendigung der Bewegung
- Vermeidung eines Übertritts

Standservice

Das Standservice für einen Rechtshänder lässt sich folgendermaßen abbilden und beschreiben (vgl. SÖSER 2004)

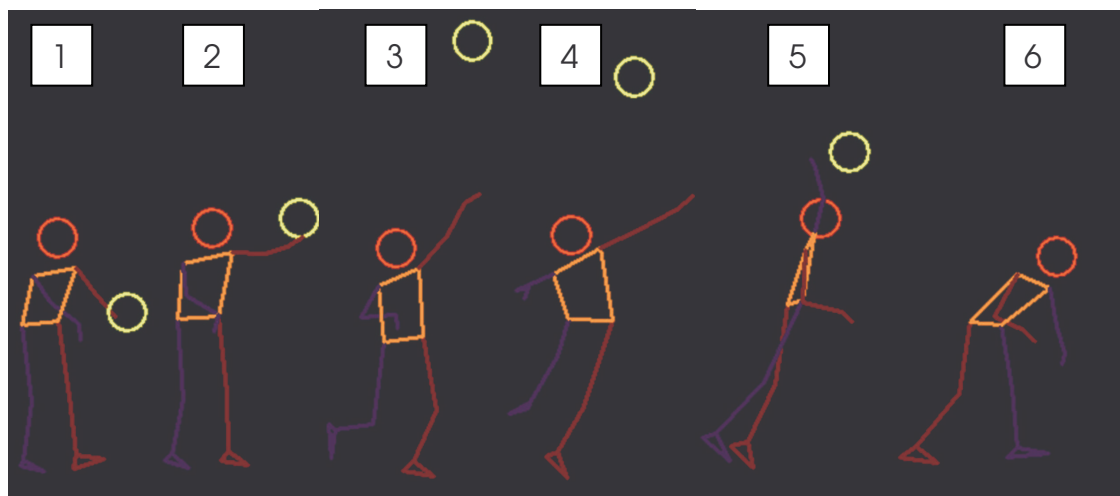


Abbildung 1.2.1-a: Kinogramm eines Faustball-Standservice (aus SÖSER 2004)

Der Spieler steht in leichter Schrittstellung hinter der 3 m-Linie und hält den Ball mit beiden Händen vor dem Körper fest. Das Körpergewicht ruht auf dem rechten – in diesem Fall hinteren – Bein, welches in weiterer Folge als Schwungbein bezeichnet wird. Die meisten Spieler beginnen das Service mit einem Auftaktschritt des linken Beines – in weiterer Folge als Standbein bezeichnet – an die Servicelinie. Manche Spieler stellen das Standbein gleich direkt an die Servicelinie und fixieren den Fuß dort während der ganzen Servicebewegung. Es kann in der Praxis auch ein Angehen in die Servicebewegung beobachtet werden, was aber wieder zur eingangs

angeführten Ausgangsposition führt. In allen Fällen ist der Körperschwerpunkt (=KSP) hinten unten (räumlich gesehen).

Der Ball wird gleichzeitig mit einem leichten „Nach-vor-Bringen“ des KSPs mit dem gestreckten, linken Arm (in Supination) vor dem Körper nach vorne oben geworfen und verlässt auf Schulter- bzw. Kopfhöhe den Handteller. Zugleich wird die rechte Schulter nach hinten gedreht, sodass der Oberkörper fast senkrecht zur Servicelinie steht. Der Ellbogen der Schlagschulter wird dabei mit nach hinten unten geführt und bleibt während der gesamten Ausholbewegung unter der Schulterachse. Nachdem die linke Schulter (dem Wurfarm folgend) nach oben geführt wird, entsteht so – zusätzlich zur Rotation des Oberkörpers – auch noch ein Anstellen der Schulterachse bezüglich der Bodenebene von ungefähr 30°. (vgl. SÖSER 2004, 14).

Das Standbein wird währenddessen an die Servicelinie herangeführt (sofern dies nicht schon dort zu Beginn abgestellt wurde) und dort in gebeugter Stellung – mit der Fußspitze kurz hinter der 3 m Linie – abgestellt. Das Gewicht ruht jetzt zur Gänze auf diesem Bein, damit das Schwungbein nun optimal eingesetzt werden kann.

Nachdem der Ball die aufwerfende Hand in Kopfhöhe verlassen hat, erfolgt im zugehörigen Handgelenk noch eine Pronation.

Die Ausgangsstellung für die nachfolgende Schlagbewegung ist erreicht (Bild 3).

Mit der Streckung in Fuß-, Knie- und Hüftgelenk des Standbeines wird der KSP nach vorne oben gebracht und die eigentliche Schlagbewegung eingeleitet. Die Hüfte des Schwungbeines ist ebenfalls nach hinten gedreht, sodass der Oberschenkel stark abgespreizt werden kann (Knie wird seitlich nach vorne oben geführt). Dadurch wird an der linken Körperseite ein Überstrecken der Hüfte erreicht, was als so genannte „Bogenspannung“ bezeichnet wird (Bild 4). Der linke Arm wird in Verlängerung der Schulterachse gehalten und dient einerseits als „Visier“, andererseits als Schwungmasse für den folgenden Schlag. Die Bogenspannung wird nach Erreichen des Maximums der Kniehöhe des Schwungbeines aufgelöst, indem zuerst die rechte Hüfte nach vorne beschleunigt wird. Dadurch kommt es zu einer starken Torsion des Oberkörpers (>45° zwischen Schulter- und Beckenachse nach SÖSER 2004); das Schwungbein löst die Beugung im Knie auf und wird nach hinten-unten gestreckt.

Kurz nach dem Nachvorbringen der rechten Hüfte folgt nun auch die rechte Schulter, sowie ein nach „Hinten-unten-Bringen“ des linken Schultergelenks, wodurch die Torsion des Oberkörpers wieder aufgehoben wird. Der Ellbogen des Schlagarms wird nun über Schulterhöhe beschleunigt und ist noch immer stark abgewinkelt. Die Schulterachse ist nun stark zur Seite geneigt und die Neigung zur Bodenebene beträgt zum Zeitpunkt des Balltreffens $\sim 45^\circ$ (SÖSER 2004, 14).

Das Handgelenk bzw. die Faust wird zum Ball hin geschleudert, sodass der Ellbogen zum Zeitpunkt des Balltreffens durchgestreckt ist. Der Ball wird entweder mit der Breitseite der Faust getroffen (Vorhandschlag) oder mit der Kleinfingerseite (Hammerschlag). Nur in seltensten Fällen (z. B. bei Finten) wird der Ball nur mit den Fingerknöcheln oder der Handrückenseite getroffen.

Ein aktives Nachklappen des Handgelenks wie beim Volleyball kann bei Topspinschlägen beobachtet werden, jedoch ist in der Praxis öfter ein Fixieren des Handgelenks die Regel.

Der Körper hat beim Treffen des Balles eine Vorlage auf rund 80° und ist von der linken Zehenspitze über das Sprunggelenk, Knie und Hüfte, rechte Schulter, Ellbogen und Handgelenk (annähernd) gestreckt. So muss das Schwungbein mit einem Schritt ungefähr 60 – 90 cm vor die Servicelinie das Körpergewicht nach der Schlageinwirkung abfangen.

Der Schlagarm schwingt ‚natürlich‘ nach vorne unten links aus, und der Oberkörper klappt ebenfalls leicht in diese Richtung.

Sprungservice

Das Sprungservice wird – wie der Name schon sagt – im Sprung durchgeführt und lässt sich für einen Rechtshänder wie folgt abbilden und beschreiben (vgl. WEISS 2003):



Abbildung 1.2.1-b: Ablauf des Sprungservice (aus WEISS 2003)

Der Spieler steht mit dem Ball in einiger Entfernung zur Servicelinie (5 - 10 m). Die Bewegung beginnt mit einem Angehen aus dem Stand. Dabei wird der Ball mit beiden Händen vor dem Körper gehalten.

Da die Anlauftechnik (und der Anlaufweg) individuell verschieden ist, sei hier das Augenmerk auf die letzten drei Schritte gelegt. Zwischen drittletztem und vorletztem Schritt wird der Ball mit der linken Hand nach vorne oben geworfen. Er verlässt zwischen Schulter- und Kopfhöhe den Handteller.

Der vorletzte Schritt wird mit dem Bein der Schlagseite ausgeführt und dient der Vorbereitung des letzten Schrittes. Das rechte Bein wird beim Absprung als Schwungbein eingesetzt und wird schnellkräftig nach vorne oben gezogen. Der letzte Schritt (mit dem linken Bein) ist etwas kürzer und wird ähnlich dem leichtathletischen Weitsprung ausgeführt und leitet den Absprung ein. Der Absprung erfolgt explosiv und ist – im Gegensatz zum Volleyball – ein Weit-Hochsprung. D. h. es geht keineswegs um das Erreichen einer maximalen Höhe, sondern das Ziel ist es, möglichst viel translatorische Energie in Richtung des Schlages aus dem Anlauf mitzunehmen, unter der Bedingung, auch noch über die 2 m hohe Leine schlagen zu können. So stellt dieser Absprung ein Optimierungsproblem dar, welches der Sportler je nach Könnensstufe und angepeiltem Serviceziel individuell löst. Bei einem Service an die Grundlinie

erfolgt der Absprung flacher, als wenn das Serviceziel beispielsweise der gegnerische Angreifer ist.

Zum Zeitpunkt des Absprungs ist der Oberkörper schon leicht zur Servicelinie verdreht, da die Schlagschulter bereits nach hinten geführt wurde.

Die Anlaufgeschwindigkeit ist keineswegs maximal, sondern für die nachfolgende Bewegung optimal zu wählen. Aufgrund von Erfahrungswerten aus der Praxis können Anlaufgeschwindigkeiten von ungefähr 50% der maximalen Laufgeschwindigkeit angegeben werden.

Das rechte Bein wird nach dem Absprung nach seitlich vorne oben gebracht, wobei die rechte Schulter nach hinten geführt wird. Somit kann eine starke Torsion des Oberkörpers aufgebaut werden.

Der linke Arm ist wie beim Standservice ausgestreckt und „visiert“ den aufgeworfenen Ball an. Der (rechte) Schlagarm ist abgewinkelt und der Ellbogen befindet sich unter der Schulterachse. Somit entsteht ein Anstellen der Schulterachse.

Die Schlagphase beginnt, indem beide Beine aus ihrer Beugstellung heraus explosiv gestreckt werden. Zugleich wird die rechte Schulter nach vorne oben gebracht. Der Ellbogen folgt dieser Bewegung. Der linke Arm und die linke Schulter werden zugleich nach hinten unten geführt, sodass die Oberkörpertorsion aufgelöst wird.

Der Ellbogen kommt nun über Schulterhöhe, die Faust wird zum Ball hin beschleunigt und trifft vor der rechten Schulter (mit gestrecktem Arm) den Ball. Der Körper ist zum Zeitpunkt des Treffers fast gestreckt und hat eine leichte Vorlage wie beim Standservice. Die Schulterachse ist ebenfalls zur Seite geneigt (auf das Phänomen der Wurfseitenfreiheit wird später noch eingegangen).

Nach der Schlageinwirkung schwingt der rechte Arm natürlich nach vorne unten links aus.

Die Landephase beginnt mit dem Aufsetzen des Absprungbeins vor der Servicelinie (vgl. Regel 6.3.2) und dem darauf folgendem Schritt mit dem rechten Bein (meist über die Servicelinie), wo das Gewicht des Körpers mit einem kurzem Auslaufen abgefangen wird.

Genauere Angaben zur Leittechnik können an dieser Stelle (noch) nicht gemacht werden, da es bisher keine kinematische Untersuchung dieser

Servicevariante gab. Im Kapitel „Ergebnisse“ werden die bei der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Daten ausführlich dargestellt.

Da diese Technik koordinativ wesentlich schwieriger auszuführen ist, wird diese Variante des Service nur bei hochklassigen Spielern wirkungsvoll und gekonnt eingesetzt.

Zu erwähnen sei jedoch, dass der Bewegungsablauf dem eigentlichen Faustball-Rückschlag – bis auf die Aufwurfbewegung – gleicht; d. h. das Sprungservice ist nur eine Erweiterung des Sprungschlages, der bereits von talentierten 13 - 14jährigen Nachwuchsspielern beherrscht wird. So soll an dieser Stelle bewusst darauf verwiesen werden, die Sprungservice-Technik bereits im Jugendbereich zu erlernen und zu trainieren bzw. zu lehren.

Das Sprungservice fordert vom Spieler nicht nur vermehrt koordinative Fähigkeiten, sondern es stellt auch erhöhte konditionelle Anforderungen an den Spieler. Der Mehraufwand an metabolischer Energie für den Anlauf und den Absprung stellt einen nicht zu unterschätzenden Faktor dar, der im Training berücksichtigt werden muss.

Auch ist das Sprungservice den äußeren Gegebenheiten stärker unterworfen; so ist zum Beispiel bei starkem Wind eine sehr gute Anpassungsfähigkeit vom Ausübenden gefordert.

1.2.1. Taktische Überlegungen zum Faustballservice

Das Service ist aus taktischer Sicht das wichtigste Element im Sportspiel Faustball. Dafür können folgende Gründe angegeben werden:

- Das Service ist die einzig standardisierte Handlung im Sportspiel Faustball. Der Spieler kann über Ort, Art und (eingeschränkt) Zeit entscheiden, da der Ball vor dem Service „tot“ ist und keine anderen Spielzüge das Service direkt beeinflussen.
- Das Service ist der erste Angriffschlag in einem Spielzug. Die Chance gleich mit dem ersten Ballkontakt einen Punkt für die eigene

Mannschaft zu erzielen ist enorm, da das Service von der 3 m-Linie durchgeführt wird, was gute Angriffsmöglichkeiten eröffnet.

- Das Service wird von der Mannschaft ausgeführt, die den Fehler begangen hat (psychische Belastung).

Begeht ein Spieler einen Fehler und muss (mangels Alternativen) zum Service antreten, kann sich ein psychischer Druck aufbauen, mit dem der Spieler individuell fertig werden muss.

In guten Mannschaften gibt es einen „Servicespezialisten“, der mit der Aufgabe betraut wird, den Ball ins Spiel zu bringen. Dabei werden an ihn zwei Aufgaben gestellt:

- Das Service soll – wenn es nicht gleich direkt zum Punkt führt – den Gegner so unter Druck bringen, dass ein guter Spielaufbau seinerseits nicht möglich wird.
- Service-Eigenfehler sollen vermieden werden, da diese sofort einen Gutpunkt für die gegnerische Mannschaft bringen; noch dazu bleibt man im Servicerecht, was eine zusätzlich psychische Belastung mit sich bringt.

Speziell der zweite Punkt ist im Faustballsport heiß diskutiert. „Servicefehler zählen doppelt!“ hört man oft den erfahrenen Trainer sagen. So kann man einen guten Servicespieler nicht nur über seine Erfolgsquote auszeichnen, d. h. wie viele Punkte er mit dem Service macht, sondern auch über seine Fähigkeit, einen Servicefehler wegzustecken, und das nächste Service konzentriert und druckvoll zu schlagen. Im Nachwuchsbereich kann man beobachten, dass oft 3 oder 4 Servicefehler in Serie keine Seltenheit sind.

Zum Thema „psychische Belastung“ können weiters auch noch äußere Umstände wie Witterung, Zuseher, Bodenverhältnisse usw. erschwerend hinzukommen. So sind Aufschläge beispielsweise gegen eine tief stehende Sonne oder mit Rückenwind eine weitere Belastung, die ein guter Servicespieler verarbeiten kann. Auch unangenehme Gegner, die beispielsweise durch Klatschen o. ä. die Konzentration des Servicespielers stören wollen, können eine weitere psychische Belastung darstellen.

Weiters ist die Spieltaktik für das Service äußerst entscheidend. Nachdem beim Faustball nach dem Schema A-B-C gespielt werden muss, ist die taktische Variante des „Auspielens“ oder „Anspielens“ möglich und auch sehr weit verbreitet. Speziell gegen gute Mannschaften mit einem herausragenden Rückschläger oder Zuspieler wird eben dieser mit einem taktischen Service zur Annahme „gezwungen“, und kann somit nicht mehr den Ball im gleichen Spielzug rückschlagen oder zuspielen. Da beispielsweise der Hauptangreifer in der Regel vom Servicespieler aus rechts vorne steht, ist ein seitliches oder kurzes Service auf die Vorderposition notwendig (Positionen VL in Abbildung 1.2.1-b: Aufstellungsformen im Faustball), um den Angreifer „auszuschalten“. Dabei ist wichtig, kein zu hohes oder niedriges Risiko einzugehen, da gute Hinterspieler ein solches taktisches Service erkennen können und den Ball – der eigentlich den Vorderspieler zur Annahme zwingen sollte – erreichen, und somit ihren Angreifer doch wieder in den Rückschlag integrieren können.

Auch die Aufstellung der gegnerischen Mannschaft (vgl. dazu Abbildung 1.2.1-b: Aufstellungsformen im Faustball) ist beim Service zu berücksichtigen. So hat sich das moderne U-System auch aufgrund der immer besser werdenden Aufschläge auf die Mittelposition im W-System entwickelt, da der Mittelspieler immer „auf Abschuss“ stand.

BRIGGER/GRAB (1996) haben sich in ihrer Arbeit auch speziell mit taktischen Anforderungen an den Servicespieler beschäftigt. Sie bieten jedoch keine „Patentrezepte“ an, sondern werfen die Problematik auf, stellen sie zur Diskussion und fordern Beachtung dieser von Trainer und Spieler.

Für die weitere Diskussion sei angemerkt, dass das Faustball-Service eine zielorientierte Handlung darstellt, d. h. es geht nicht so sehr um eine Bewegungsausführung, sondern um das Bewegungsergebnis. Viele Wege führen zum Ziel, einen Punkt zu schlagen oder den Gegner unter Druck am ruhigen Spielaufbau zu hindern. Dies spiegelt sich auch in der Praxis in den vollkommen verschiedenen Typen des Serviceschlägers wider. Viele „legen“ ihre Service gefinkelt ins gegnerische Feld oder spielen bewusst mit viel Effet, andere demonstrieren einen harten Power-Faustball und setzen die Bälle mit 130km/h ins gegnerische Feld.

1.2.2. Statistiken zum Faustballservice

ALMHOFER, Teamchef des österreichischen Faustball-Nationalteams, hat alle wichtigen internationale Wettkämpfe zwischen 1995 und 2004 analysiert. Endrundenspiele von Europa- und Weltmeisterschaften wurden mittels Videos auf verschiedenste Parameter (Rückschlag, Defensivverhalten, lokale Festlegung der Punktgewinne, ...) analysiert. Das Service lag immer im Zentrum der Beobachtung, und so sind folgende Daten aus den Aufzeichnungen (ALMHOFER 2004) ableitbar:

Europameisterschaft 2000 – Freistadt (Österreich)– Finale

| Österreich | | Service | Deutschland | |
|--------------|------|-----------|--------------|------|
| Gesamt 48:62 | in % | | Gesamt 62:48 | in % |
| 13 | 22 | Punkte | 14 | 29 |
| 43 | 73 | abgewehrt | 26 | 54 |
| 3 | 5 | Fehler | 8 | 17 |

Tabelle 1.2.2-a: Analyse Service - EM 2000⁷

World Games 2001 – Akita (Japan) – Finale

| Österreich | | Service | Deutschland | |
|--------------|------|-----------|--------------|------|
| Gesamt 57:52 | in % | | Gesamt 52:57 | in % |
| 26 | 48 | Punkte | 23 | 40 |
| 23 | 43 | abgewehrt | 32 | 56 |
| 5 | 9 | Fehler | 2 | 4 |

Tabelle 1.2.2-b: Analyse Service - WG 2001

⁷ Die Summe der Service ergibt deswegen nicht (zwingend) die Anzahl der Fehler einer Mannschaft, da es zu Beginn des Spieles zur Auslösung des Servicerechts kommt, und weil nach dem verwandelten Satz- oder Matchball die Verlierer-Mannschaft kein Service mehr durchführen muss. D. h. 19 Fehler ergeben sehr wohl 19 Service, aber nach dem 20. Fehler ist der Satz (außer bei einer Verlängerung) zu Ende und die Verlierer-Mannschaft braucht daher nicht mehr zu servieren.

Europameisterschaft 2002 – Erlangen (Deutschland) – Finale

| Österreich | | Service | Deutschland | |
|--------------|------|-----------|--------------|------|
| Gesamt 60:32 | in % | | Gesamt 32:60 | in % |
| 11 | 34 | Punkte | 9 | 15 |
| 16 | 50 | abgewehrt | 44 | 73 |
| 5 | 16 | Fehler | 7 | 12 |

Tabella 1.2.2-c: Analyse Service - EM 2002

In den obigen drei Tabellen wurde das Service von verschiedenen Spielen in die Kategorien „Punkte“, „abgewehrt“ und „Fehler“ eingeteilt. Man erhält somit eine qualitative Aussage über das Service der jeweiligen Mannschaft. Man muss aber auch in Betracht ziehen, dass die Daten indirekt auch von der gegnerischen Abwehr abhängen.

Es ist zu sehen, dass sich die Quoten der erfolgreichen Service zwischen 15 und 48 % bewegen, wobei die Leistung beider Mannschaften bei den World Games 2001 in Japan herauszustreichen ist. Fast die Hälfte der österreichischen Service hatten einen direkten Punkt zur Folge (= „Winner“) und auch Deutschland konnte mit 40 % gut mithalten. Bei Rekapitulation des Spieles und seinen äußeren Gegebenheiten muss bemerkt werden, dass für die hohen Prozentsätze eventuell der schlecht springende Boden als Grund herangezogen werden kann, da viele Bälle „kurz“ und „halb-lang“ zu Punkten führten.

Schon hier sticht die Bedeutsamkeit des Service ins Auge, wobei immer eine genauere Betrachtung der jeweiligen Gegebenheiten (Witterung, Akteure, ...) sinnvoll ist.

In einer weiteren Tabelle soll der absolute und relative Anteil der Servicepunkte an der Gesamtpunkteanzahl der einzelnen Spiele verdeutlicht werden:

| | <i>Punkte gesamt</i> | <i>Absolute Servicepunkte</i> | <i>Relativer Anteil der Servicepunkte</i> |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|---|
| <i>Brasilien WM 1999</i> | 99 | 26 | 26,3 % |
| <i>Deutschland WM 1999</i> | 92 | 34 | 37,0 % |
| <i>Österreich WM 1999</i> | 26 | 17 | 65,4 % |
| <i>Deutschland WM 1999</i> | 40 | 17 | 42,5 % |
| <i>Österreich EM 2000</i> | 48 | 13 | 27,1 % |
| <i>Deutschland EM 2000</i> | 62 | 14 | 22,6 % |
| <i>Österreich WG 2001</i> | 57 | 26 | 45,6 % |
| <i>Deutschland WG 2001</i> | 52 | 23 | 44,2 % |
| <i>Österreich EM 2002</i> | 60 | 11 | 18,3 % |
| <i>Deutschland EM 2002</i> | 32 | 9 | 28,1 % |
| Gesamt | 568 | 190 | 33,5 % |

Tabelle 1.2.2-d: Anteil des Service an Gesamtpunkten

Die Mannschaften, die in zwei Zeilen untereinander stehen, standen sich auch im Spiel gegenüber. Auffallend ist der Maximalwert von 65,4 % der Österreicher bei der WM 1999.

Bei der Interpretation der obigen Tabelle muss man sehr vorsichtig sein, denn es ist zu bedenken, dass Österreich in diesem Spiel 40 Service ausführen musste, womit 17 Punkte erzielt wurden (42,5 %), hingegen konnte Deutschland die 17 Servicepunkte aus nur 26 Service erzielen, was einen relativen Anteil von 65,4 % liefert. Vielmehr zeigt diese Aufstellung, dass von den 26 Punkten, die Österreich im Spiel erzielen konnte, 17 (!) aus dem Service resultierten. Dies spiegelt den Spielverlauf besser wider, da somit aus dem Spiel nur mehr 9 Punkte gemacht werden konnten. Bei genauerer Betrachtung hat Deutschland sogar 7 Servicefehler gemacht, sodass Österreich nur mehr 2 Punkte (!) aus dem Spiel erzielen konnte.

So ist wichtig anzumerken, dass diese Statistik keineswegs ein Gradmesser für die Qualität des Service ist, sondern nur einen absoluten und relativen Anteil an den Gesamtpunkten darstellt.

Bei dieser Gesamt-Statistik ist der Prozentsatz der durch das Service erzielten Punkte besonders auffällig: über 33 % – also mehr als ein Drittel – der im Spiel erzielten Punkte werden über das Service erzielt.⁸ Noch einmal muss betont werden, dass es sich bei den fünf aufgelisteten Spielen um die wohl wichtigsten internationalen Begegnungen der letzten Jahre handelte.

Wenn man Vergleiche zu anderen Sportspielen sucht, wird man wohl kaum ein Rückschlagspiel finden, das derart vom Service dominiert wird (ev. ein Tennisspiel in Wimbledon). Dies ist eines der Hauptargumente, wieso das Service den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit darstellt.

⁸ Dabei sind Servicefehler (Gutpunkte für den Gegner) noch nicht berücksichtigt.

1.3. Der Schlag im Faustball aus biomechanischer Sicht

1.3.1. Der Faustball-Schlag als teilelastischer Stoß

Der Angriffsschlag im Faustball erfolgt mit der geschlossenen Faust und stellt aus biomechanischer Sicht einen teilelastischen Stoß dar.

Mit Stößen oder Schlägen werden in der Physik jene Vorgänge bezeichnet, bei denen die Kontaktzeit zweier Körper zwischen 0,01 s und 0,03 s liegt (WILLIMCZIK 1989)

Die Kontaktfläche ist beim Faustballs Schlag die Faust, wobei – wie schon obigen Kapitel erwähnt – es die Möglichkeit gibt, mit der Breitseite oder der Kleinfingerseite der Faust den Ball zu schlagen. Eine Untersuchung von LEITNER (1993) zeigte, dass es keine signifikanten Unterschiede in den beiden Techniken bezüglich Abfluggeschwindigkeit gibt.⁹

Nach dem Energieerhaltungsgesetz aus der Physik wird ein Teil der kinetischen Energie in Form von Verformungsenergie – und in weiterer Form in Wärmeenergie – umgewandelt (die Energie geht nicht verloren!), die vom eingefüllten Balldruck (Sollwert zwischen 0,55 und 0,75 bar) abhängt.¹⁰

So kann man als Maß für einen teilelastischen Stoß den so genannten Restitutionskoeffizienten oder Elastizitätskoeffizienten e eines Balles wie folgt bestimmen:

$$e = \frac{v_2}{v_1}$$

v_1 stellt die Geschwindigkeit des Balles vor dem Stoß und v_2 die Geschwindigkeit nach dem Stoß dar.

Da die Geschwindigkeit eines vertikal fallenden Balles mit folgender Gleichung bestimmt werden kann (Luftwiderstand nicht berücksichtigt)

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

⁹ vgl. dazu Kapitel 1.4.2 Vorhandene Untersuchungen zur Ballgeschwindigkeit

¹⁰ Diese Annahme muss erst in Laboruntersuchungen gezeigt werden, scheint jedoch plausibel.

(g ist die Gravitationskonstante von $9,81\text{m/s}^2$ und h die Fallhöhe)

kann man folglich den Restitutionskoeffizienten eines Balles über die Fall- (h_F) und Rückprallhöhe (h_R) auf festem Untergrund wie folgt bestimmen:

$$e = \sqrt{\frac{h_R}{h_F}}$$

Um nun die nachfolgenden theoretischen und physikalischen Betrachtungen besser verstehen, sowie mit sportartspezifischen Werten arbeiten zu können, seien hier die Charakteristika eines Faustballes angegeben.

Für eine Zulassung zum Wettspielbetrieb muss ein Faustball folgende Kriterien (laut IFV) erfüllen:

„Definition „IFV-Faustball“

Für internationale Spiele und den Spielbetrieb in den höchsten Spielklassen der Mitgliedsverbände nach Spielregel 1.4. ab 1. April 2001:

- *Der IFV-Faustball muss geklebt sein und darf nur aus maximal sechs Außenteilen bestehen.*
- *Das Basismaterial muss Naturlleder sein. Eine äußere Schicht zur Erhaltung der weißen Farbe darf nur so dick sein, dass die Elastizität des unbeschichteten Lederballes nur geringfügig leidet.*
- *Der IFV-Faustball muss ohne Einspielen ein senkrechtes Sprungverhalten von mindestens 1,45 m bei einem freien Fall aus 2 m-Höhe auf eine Betonplatte aufweisen.*
- *Das waagerechte Sprungverhalten (Flugverhalten) muss auf der Basis der Messungen auf der Ballschussmaschine der Forschungs- und Materialprüfanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart, einen Mindestaufprall und eine Mindestdifferenz zum Zweitaufprall aufweisen:*

Erstaufprall: Differenz zum Zweitaufprall:

Trocken- Faustball 9,50 m 8,50 m

Nass- Faustball 9,50 m 8,00 m

- *Der IFV-Faustball muss die Grundfarbe weiß „RAL 9003, 9010, 9016“ enthalten und diese bei geeigneter Pflege weitgehend beibehalten.*

- *Der IFV-Faustball Herren hat ein Ballgewicht von 350 g bis 380 g und ist mit mindestens 4, maximal 6 schwarzen Punkten (Durchmesser von ca. 70 mm) gekennzeichnet.*
- *Der IFV-Faustball Damen hat ein Ballgewicht von 320 g bis 350 g und ist mit mindestens 4, maximal 6 roten Punkten (Durchmesser von ca. 70 mm) gekennzeichnet.*
- *Der IFV-Faustball "Nass" muss optisch deutlich als solcher gekennzeichnet sein, z. B. Aufschrift ‚waterproof‘ oder grafischem Zeichen (Wasser).*
- *Jeder IFV-Faustball erhält ein Prüfblatt/Zertifikat und eine IFV-Zulassungsnummer, die auf dem Ball gekennzeichnet werden kann.*
- *Jeder IFV-Faustball muss mit dem offiziellen IFV-Faustball-Zulassungssignet (IFV-Logo und Bezeichnung „IFV approved“ und der genauen Bezeichnung, d. h. Namen und Typ, auf dem Ball unverlierbar gekennzeichnet sein. Eine Registratur – mit Foto – ist beim IFV hinterlegt.“*

<http://www.dtb.faustball.de>

Aus Punkt 3 folgt ein Mindest-Restitutionskoeffizient von 0,85, der für die Berechnungen verwendet wurde.

Zu bedenken ist jedoch, dass sich dieser Koeffizient bei einer Geschwindigkeit von

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2} \approx 6,3 \text{ m/s}$$

berechnet. Diese Geschwindigkeit entspricht jedoch bei weitem nicht den Geschwindigkeiten mit der die Faust auf den Ball einwirkt. Außerdem muss angenommen werden, dass sich dieser Restitutionskoeffizient nicht linear zur Geschwindigkeit verhält und die Faust eine andere Druckverteilung im Ball erzeugt als dies bei Kontakt mit einer Betonfläche der Fall ist. Somit ist der Restitutionskoeffizient nur ein ungefähres Maß für den teilelastischen Stoß und wird hier für die folgende Berechnung wohlweislich dieser Kritiken verwendet. Eine Laboruntersuchung wäre hier sinnvoll, um einen Zusammenhang zwischen einwirkender Geschwindigkeit und Restitutionskoeffizient zu bestimmen.

Für den teilelastischen Stoß gilt folgende Formel:

$$v_B = \frac{m_B \cdot v_{0B} + m_F \cdot v_F - (v_{0B} - v_F) \cdot m_F \cdot e}{m_B + m_F}$$

| | |
|----------|--|
| v_B | Abfluggeschwindigkeit des Balles |
| m_B | Masse des Balles (Sollwertzwischen 350 g und 380 g) |
| v_{0B} | Anfangsgeschwindigkeit des Balles zum Zeitpunkt des Treffens |
| m_F | Masse Faust |
| v_F | Geschwindigkeit der Faust zum Zeitpunkt des Treffens |
| e | Elastizitätskoeffizient |

Formel 1.3.1-a: Formel für (theoretische) Ballgeschwindigkeit

Da der Restitutionskoeffizient e (über den Luftdruck des Balles) sowie das Ballgewicht den Regeln nach feststeht, ergibt sich somit beim Faustball die Faustgeschwindigkeit als wichtigster Parameter neben der Anfangsgeschwindigkeit und der Masse der Faust für die Abfluggeschwindigkeit des Balles.

Bei der Anfangsgeschwindigkeit ist nur die horizontale Komponente des Balles wichtig, da nur diese für die Ballabfluggeschwindigkeit von Relevanz ist. D. h. ein höheres Aufwerfen ist nicht sinnvoll. Beim Standservice ist diese horizontale Anfangsgeschwindigkeit praktisch null, jedoch kann sie beim Sprungservice schon einen bedeutenden Wert annehmen.¹¹

LEITNER (1993, 103f) beschreibt in seiner Diplomarbeit „Die Angriffstechniken des Faustballspiels“ die Mechanik des Ballschlages diffiziler, wobei er bemerkt: „... der Ball wird nicht bloß mit einem Körper geschlagen, sondern mit einem Körpersystem.“ Weiter unten heißt es:

„Beim Faustballs Schlag handelt es sich um ein aktives mechanisches System (Impulsübertragung), darum kann dem Ball während des Schlags Energie von anderen Körperteilen zugeführt werden. Die Summe der Energie der Faust und des Balles kann also, trotz des Energieverlustes beim Stoßvorganges (sic!), nach dem Stoß größer als vor dem Stoß sein.“

¹¹ vgl. dazu Kapitel 4. Ergebnisse. Beim Probanden mit der höchsten Ballabfluggeschwindigkeit betrug die horizontale Komponente des Balles vor dem Balltreffer ~4,2 m/s.

Hier ist anzumerken, dass es keinesfalls zu einem Energieverlust während des Stoßvorganges kommt (Energieerhaltungssatz), sondern nur zu einer Energieumwandlung. Ein Teil der kinetischen Energie wird in Verformungsenergie bzw. daraus resultierende Wärmeenergie umgewandelt.

Eine genauere physikalische Betrachtung, wo der Drall und die Momente und Kräfte in den beteiligten Gelenken berücksichtigt werden, sowie den genauen Ablauf der Impulsübertragung der Faust auf den Ball, ist an dieser Stelle nicht möglich, da sie den Umfang der Arbeit sprengen würde.

Aus der obigen Ausführung können jedoch folgende Schlussfolgerungen für den Faustballschlag gezogen werden:

- Für eine optimale Impulsübertragung der Energie ist es notwendig, die Gelenke (im Speziellen das Handgelenk) zum Zeitpunkt des Balltreffens möglichst starr zu halten. So kann nicht nur die Masse der Faust (~0,7 % der Körpermasse) alleine als Stoßmasse eingesetzt werden, sondern ein Vielfaches dieses Wertes. Durch die (möglichst) starre Verbindung der Faust mit dem Unterarm kann ein Teil der Unterarmmasse mit als Stoßmasse verwendet werden.
- Die Energieumwandlung von kinetischer in Deformations- bzw. Wärmeenergie muss so gering wie möglich ausfallen, um eine möglichst hohe Ballgeschwindigkeit zu erreichen. Dies ist in der Praxis nur über eine Erhöhung des Restitutionskoeffizientes e möglich, der aber (höchstwahrscheinlich) direkt proportional zum Balldruck ist. Somit ergibt sich für die Praxis die Bedingung, die Bälle mit einem Balldruck am oberen Limit (0,75 bar) zu versehen, um größtmögliche Ballgeschwindigkeiten zu erreichen.

Weiters wird auf die Wirkungslinie des Stoßes eingegangen.

Für einen zentrischen Stoß muss die Wirkungslinie der Faust durch den Schwerpunkt des Balles gehen.

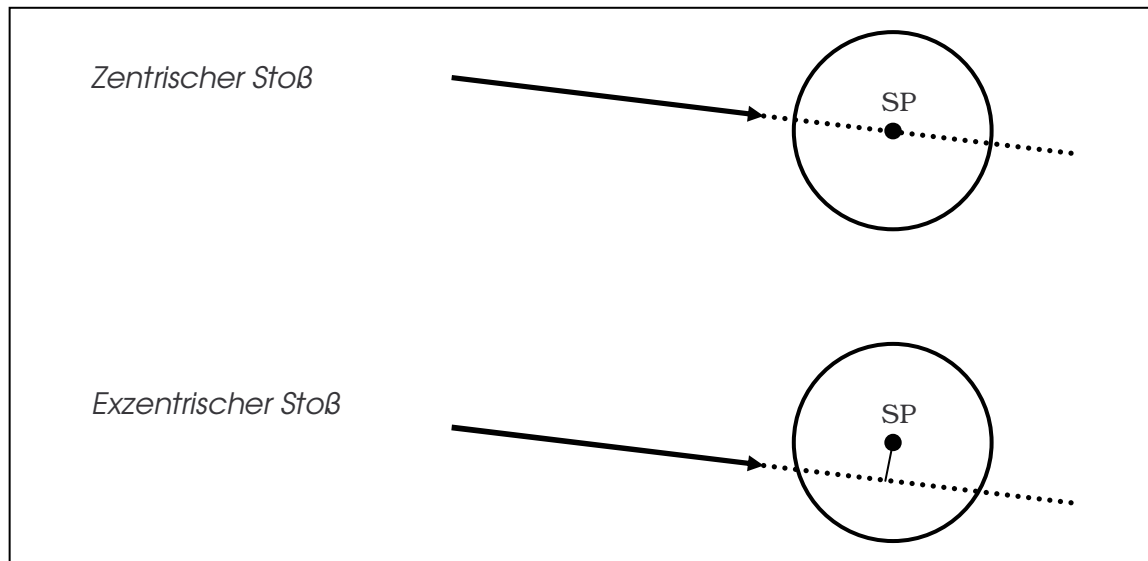


Abbildung 1.3.1-a: Wirkungslinie eines Stoßes

Bei zentrischen Stößen (Wirkungslinie der Kraft geht durch den Ballschwerpunkt (=SP)) wird ein Maximum der Faustenergie in translatorische Energie umgewandelt¹² (in der Praxis kaum beobachtbar); bei exzentrischen Stößen wird ein Teil der Gesamtenergie je nach Exzentrizität in Rotationsenergie des Balles verwandelt. So entstehen die verschiedenen Dralle oder Spins der Bälle, die einerseits eine Stabilität in der Flugbahn zur Folge hat, andererseits diese Flugbahn aufgrund des Magnus-Effektes entscheidend beeinflussen können (vgl. dazu nachfolgende Abbildung).

Auf Grund der unterschiedlichen Druckverteilungen in der Ballumgebung (hier wird wieder das Medium Luft benötigt), wird der Ball in die Richtung des Unterdruckes abgelenkt. Die Stärke der Abweichung hängt von der Fluggeschwindigkeit des Balles v , sowie von der Winkelgeschwindigkeit ω (= Rotationsgeschwindigkeit) ab.

¹² ein kleiner Teil wird dennoch in Deformationsenergie umgewandelt.

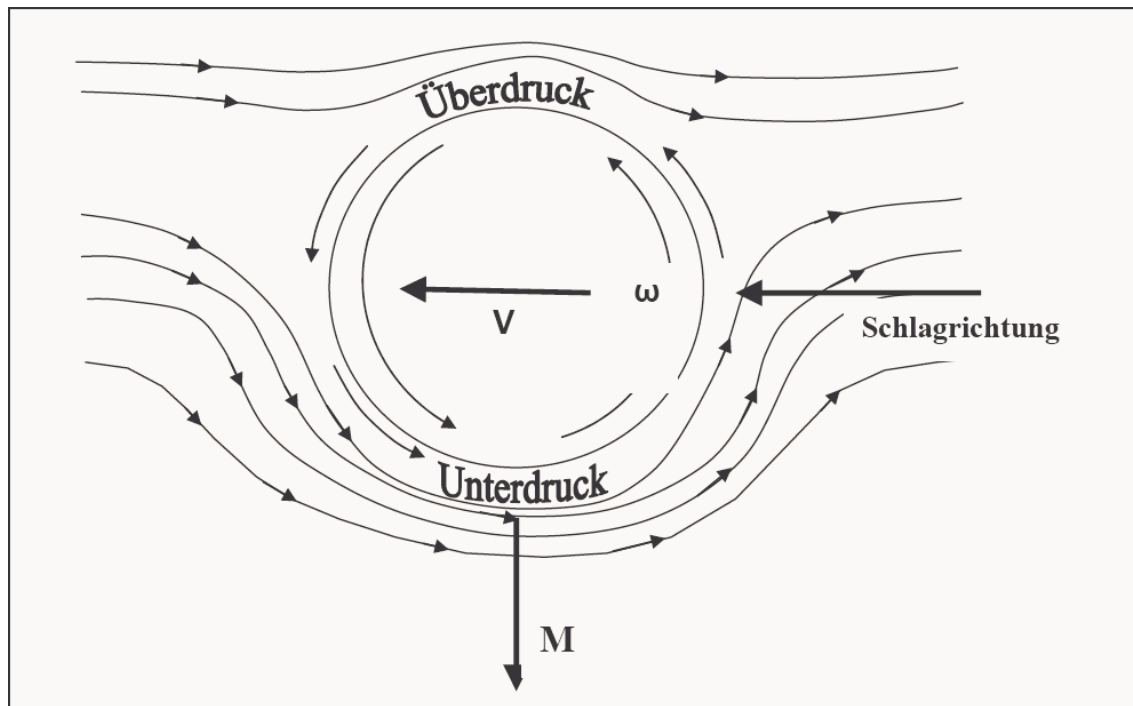


Abbildung 1.3.1-b: Schematische Darstellung des Magnus-Effekts

Bei zentrischen Stößen entstehen die so genannten „Flutterbälle“, die für den Gegner unangenehm und zumeist unberechenbar sind, da im Idealfall eine stabilisierende Rotation des Balles fehlt, und somit die Flugbahn schwierig zu berechnen ist. Auch die Tatsache, dass der Faustball ein Ventil besitzt, beeinflusst die Flugeigenschaften, da der Schwerpunkt des Faustballs (wenn auch mit minimaler Abweichung) nicht dem geometrischen Mittelpunkt entspricht.

Da ein Wettkampf-Faustball eine sehr glatte Oberfläche ohne Nähte besitzt (auf die Ballseele werden vier bis sechs aus glattem Leder bestehende Teile aufgeklebt; vgl. dazu obige Definition IFV-Faustball 1) ist er den Reibungskräften nicht so stark ausgesetzt wie ein Tennis- oder Golfball. Jedoch wird der Magnuseffekt sehr bewusst in der Praxis zum Beispiel bei Winkelschlägen eingesetzt.

Auch wird ein extremer Slice für einen Stoppball angewandt, welcher, trotz gleich schneller Bewegungsausführung wie bei einem langem Schlag, nur kurz über die Leine gespielt wird. Gegen die moderne U-Aufstellung ist diese Angriffsvariante ein probates Mittel, um den Ball in den „Totraum“ der Mitte des Feldes zu spielen.

Früher verwendete Bälle einer anderen Herstellerfirma wurden aufgrund einer so stark veränderten Flugbahn durch einen erhöhten Reibungskoeffizienten –

bedingt durch dessen grundlegend anderen Aufbau (genäht) – für den Wettbewerb (bei Herren- und Damenspielen) nicht mehr zugelassen.

Eine genauere Untersuchung des Flugverhaltens von Faustbällen wäre interessant, wo auch eben diese Eigenrotation berücksichtigt wird, bzw. – das ist ja die Eigenheit des Sports Faustball – das Absprungsverhalten auf dem Boden (Hallenböden bzw. Rasen) im Zentrum der Beobachtung steht.

1.3.2. Geometrie des Faustballschlages

Ein Kapitel dieser Diplomarbeit beschäftigt sich auch mit theoretischen, mathematischen Modellen des Faustballschlages.

So wird als erster Punkt die Genauigkeit des Service oder Rückschlages diskutiert.

Die Präzision eines Schlages hängt von verschiedenen Faktoren ab, und es ist anzunehmen, dass gute Angreifer den Ball besser unter Kontrolle haben – d. h. präziser schlagen können – als schwächere Spieler. Doch ist diese Kontrolle sehr schwierig zu definieren bzw. auch für den guten Spieler sehr schwierig zu erreichen, denn es handelt sich hier um sehr, gering beeinflussbare Faktoren. An dieser Stelle wird der Abflugwinkel des Balles von der Faust als Untersuchungsparameter diskutiert.

Die folgende Situation dient als Rechenbeispiel:

Ein Spieler serviert den Ball von der 3m-Linie geradlinig und lang in Richtung Grundlinie. Der Ball geht aber um ca. 1 m ins „Aus“. Mit der Annahme, dass der Spieler zum Zeitpunkt des Balltreffs eine Körpervorlage von 80° hat, den Ball in 2,40 m Höhe trifft und den Voraussetzungen von einem 25m langen (gegnerischem) Feld und einem geradlinigem Schlag, ohne Rücksicht auf Luftwiderstand und Drall, ergibt sich folgende Skizze:

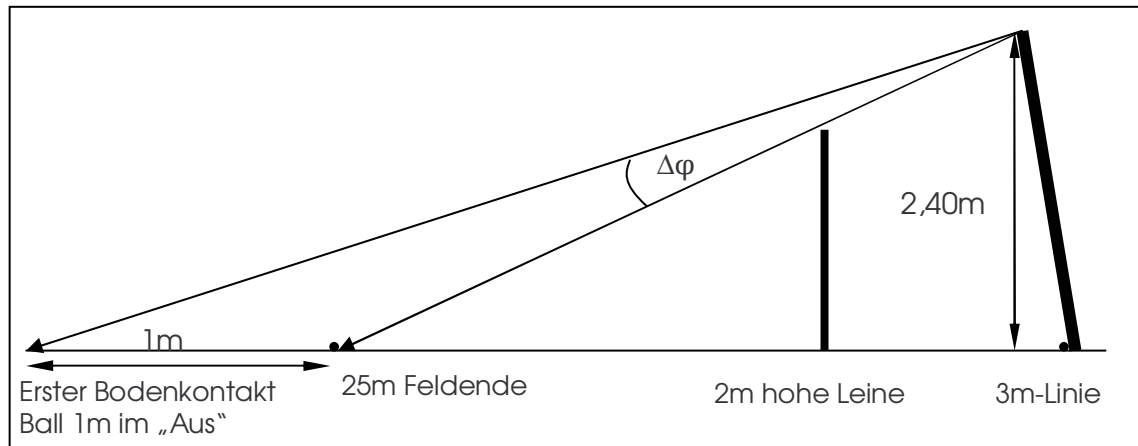


Abbildung 1.3.2-a: Geometrisches Modell des Grundlinienservice

Mit einfachen geometrischen Mitteln ist der Unterschied in den Abflugwinkeln $\Delta\varphi$ zu bestimmen. Die Vorlage von 80° ergibt einen Balltreffpunkt von ungefähr 42 cm vor der 3 m Linie. Daraus ergibt sich für den Unterschied der beiden Abflugwinkel ein Wert von $\Delta\varphi = 0,173^\circ$!

Dieser kleine Winkelunterschied ist wohl von einem Spieler kaum zu steuern, was bedeutet, dass hiermit endlich mit dem Irrglauben aufgeräumt werden kann, dass man solche, knapp ins „Aus“ geschlagene Bälle bewusst beeinflussen kann. Vielmehr sind die wuchtigen Schläge an die Grundlinie ein Produkt von einer Vielzahl von Parametern (Balldruck, Luftwiderstand, Gegen- oder Rückenwind, Treffpunkt des Balles, ...), wo schon kleine Abweichungen große Auswirkungen haben können.

Betrachtet man wieder die Aufzeichnungen von Nationalteamchef ALMHOFER (2004), ist erkennbar, dass die Angriffe nicht immer an den Spielfeldrand (und somit für die Abwehr am schwierigsten) gespielt werden (können), sondern sehr breit gestreut über das ganze Feld erfolgen.

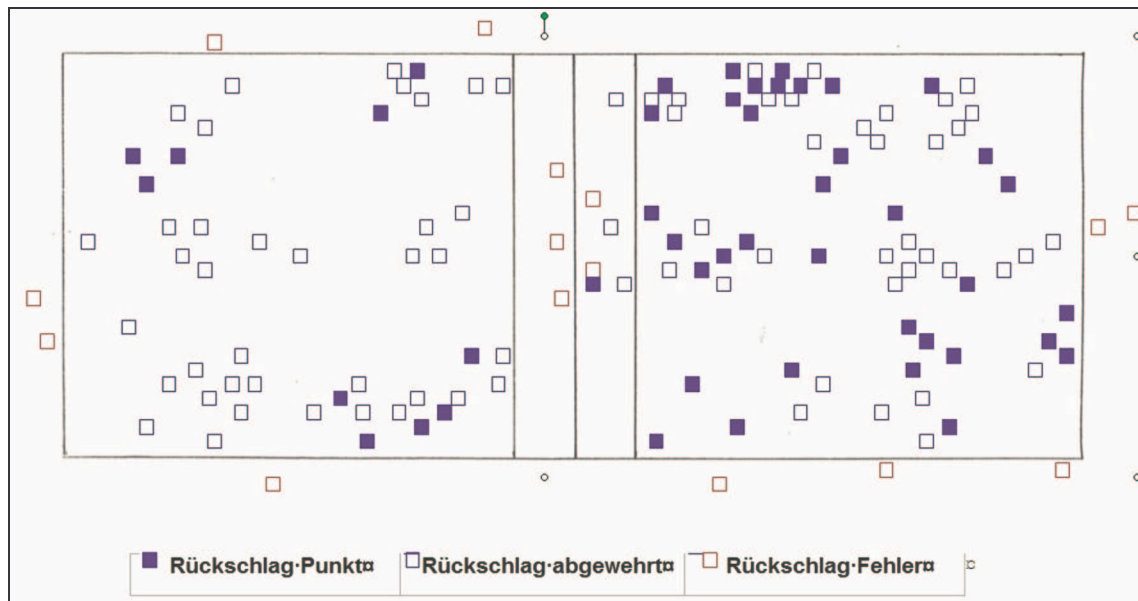


Abbildung 1.3.2-b: Angriffsziele Österreich – Deutschland EM 2002
(nach einer Video-Analyse von ALMHOFER 2004)

Da das Service die einzige standardisierte Handlung im Faustball darstellt, sind theoretische Modelle gut darstellbar. So sei nun der Blick auf die theoretische Angriffszone geworfen. Darunter kann der Raum der gegnerischen Feldhälfte definiert werden, der aufgrund der Gegebenheiten beim Service theoretisch mit einem Angriffschlag erreicht werden kann.

Folgendes Konstrukt sei angenommen:

Für die Flugbahn des Faustballes wird der ‚Schiefe Wurf‘ ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes vorausgesetzt.¹³

Aus der Physik ist folgende Gleichung für die Flugbahn eines schiefen Wurfs gegeben:

$$y = -\frac{g}{2 \cdot v_0^2 \cos^2 \alpha_0} \cdot x^2 + \tan \alpha_0 \cdot x + h_0$$

| | |
|------------|--|
| v_0 | Abfluggeschwindigkeit |
| h_0 | Abflughöhe |
| α_0 | Abflugwinkel |
| g | Erdbeschleunigung (9,81 m/s ²) |

Formel 1.3.2-a: Gleichung der Wurfbahn beim schiefen Wurf

¹³ Auf die Thematik des Luftwiderstandes wird im Folgenden eingegangen.

Im nachfolgenden Beispiel werden realistische Werte, wie sie bei einem Standservice vorkommen, angenommen bzw. errechnet:

| | | | |
|-------------------------------------|------------|---|--------|
| Abfluggeschwindigkeit | v_0 | = | 25 m/s |
| Abschlaghöhe | h_0 | = | 2,40 m |
| Reichweite über Servicelinie hinaus | d_0 | = | 0,50 m |
| Minimaler Abflugwinkel | α_0 | = | -5,7° |

Bemerkungen:

- Die Veränderung der Flugbahn aufgrund der verschiedenen Spins (Magnus-Effekt) wird nicht berücksichtigt.
- Der Luftwiderstand ist bei einem Ball¹⁴ mit einem Durchmesser von ~21 cm – unter der Annahme, dass der Luftwiderstand quadratisch zur Geschwindigkeit proportional ist - mit

$$F_w = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^2 = \frac{k \cdot v^2}{m} = 0,027 \cdot v^2$$

| | |
|--------|---|
| F_w | Luftwiderstandskraft |
| c_w | Reibungskoeffizient (Bälle: 0,45) |
| ρ | Dichte des Mediums (Luft: 1,26 kg/m ³) |
| A | Querschnittfläche des Körpers (Faustball: ~ 350 cm ²) |
| k | Proportionalitätsfaktor |
| m | Masse des Balles (365g) |

Formel 1.3.2-b: Luftwiderstand eines Faustballes

gegeben. Also in einem Bereich von 3 % des Quadrats der Geschwindigkeit. Für die Abbremsung a_w ergibt sich aus (mit Masse des Faustballs $m = 0,365$ kg):

$$F = a_w \cdot m$$

$$a_w = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{A \cdot v^2}{m} = k \cdot v^2 = 0,0098 \cdot v^2$$

ein geringer Faktor von ungefähr 1 % des Quadrats der Geschwindigkeit. Bei einer Ballgeschwindigkeit von 25 m/s beträgt F_w jedoch ungefähr 2,24 N bzw. ergibt die Abbremsung ziemlich genau 6 m/s². Dies stellt einen zu berücksichtigender Faktor dar.

¹⁴ Der c_w -Wert liegt für Bälle (oder Kugeln) bei 0,45.

Aus diesen Berechnungen ergibt sich: ein Ball der mit 25 m/s Anfangsgeschwindigkeit in Leinennähe geschlagen wird, benötigt nach der Formel

$$s = \frac{v}{t}$$

genau eine Sekunde für den Flug bis zur Grundlinie (25 m entfernt). Das würde mit der oben errechneten Abbremsung (allein durch den Luftwiderstand von 6 m/s²) eine Ballendgeschwindigkeit von ~19 m/s ergeben.

Auch ist damit wieder eine Begründung gegeben, warum Bälle, welche ins Vorderfeld geschlagen werden, effektiver oder gefährlicher sind, als Bälle die in den Hinterraum platziert werden. Erstens hat ein Vorderspieler weniger Zeit hat, um ausreichend für eine gute Annahme zu reagieren, und zweitens trifft der Ball mit einer noch größeren Geschwindigkeit im Vorderfeld auf und so werden Abwehrhandlungen erschwert.

- Der minimale Abflugwinkel von -5,7° bezüglich der Horizontalen ergibt sich rechnerisch,¹⁵ da – bei einer Abflughöhe des Ballschwerpunkts von 2,40 m und 0,5 m Reichweite über die Servicelinie hinaus – die Leinenüberquerung des Balles in 2,11 m erfolgen muss.¹⁶ Die Tabelle 1.3.2-a: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung (Abflughöhe) und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt zeigt den Zusammenhang zwischen Entfernung zur Leine, Leinenüberhöhung und möglicher Abflugwinkel.

Eine Grafik (Abbildung 1.3.2-c: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt) soll den Zusammenhang noch besser verdeutlichen, wobei die Winkel der besseren Darstellung wegen positiv aufgetragen wurden, d. h. dass die Winkel von der Horizontalen nach unten gemessen werden müssen (Tiefenwinkel).

¹⁵ Die Aufstellung der Gleichung für den Abflugwinkel in Abhängigkeit von der Leinenentfernung und der Leinenüberhöhung wird im Anhang (Kapitel 7) dargestellt.

¹⁶ Die Flugbahn des Ballschwerpunkts muss ~11cm über der Leinenoberkante sein, da der Ball mit ~21cm Durchmesser die Leine nicht berühren darf.

| Leinenüberhöhung h (in m) | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Abschlaghöhe (in m) | 2,21 | 2,31 | 2,41 | 2,51 | 2,61 | 2,71 | 2,81 | 2,91 | 3,01 | 3,11 |
| Entfernung zur Leine (in m) | Abflug- bzw. Abschlagwinkel zur Horizontalen (in °) | | | | | | | | | |
| 2,00 | -1,96 | -4,81 | -7,63 | -10,41 | -13,14 | -15,80 | -18,40 | -20,91 | -23,33 | -25,67 |
| 2,10 | -1,78 | -4,50 | -7,19 | -9,84 | -12,45 | -15,01 | -17,50 | -19,92 | -22,26 | -24,53 |
| 2,20 | -1,61 | -4,21 | -6,78 | -9,32 | -11,82 | -14,27 | -16,67 | -19,00 | -21,27 | -23,46 |
| 2,30 | -1,46 | -3,94 | -6,40 | -8,83 | -11,23 | -13,59 | -15,90 | -18,15 | -20,34 | -22,47 |
| 2,40 | -1,31 | -3,69 | -6,05 | -8,39 | -10,69 | -12,96 | -15,19 | -17,36 | -19,48 | -21,55 |
| 2,50 | -1,17 | -3,45 | -5,72 | -7,97 | -10,19 | -12,38 | -14,52 | -16,63 | -18,68 | -20,69 |
| 2,60 | -1,03 | -3,23 | -5,42 | -7,58 | -9,72 | -11,83 | -13,91 | -15,94 | -17,93 | -19,88 |
| 2,70 | -0,91 | -3,02 | -5,13 | -7,22 | -9,28 | -11,32 | -13,33 | -15,30 | -17,23 | -19,12 |
| 2,80 | -0,79 | -2,83 | -4,86 | -6,87 | -8,87 | -10,84 | -12,78 | -14,69 | -16,57 | -18,40 |
| 2,90 | -0,67 | -2,64 | -4,60 | -6,55 | -8,48 | -10,39 | -12,27 | -14,13 | -15,95 | -17,73 |
| 3,00 | -0,56 | -2,47 | -4,36 | -6,25 | -8,12 | -9,97 | -11,79 | -13,59 | -15,36 | -17,10 |
| 3,10 | -0,45 | -2,30 | -4,14 | -5,96 | -7,77 | -9,57 | -11,34 | -13,08 | -14,80 | -16,49 |
| 3,20 | -0,35 | -2,14 | -3,92 | -5,69 | -7,45 | -9,19 | -10,91 | -12,61 | -14,28 | -15,93 |
| 3,30 | -0,25 | -1,99 | -3,71 | -5,43 | -7,14 | -8,83 | -10,50 | -12,15 | -13,78 | -15,39 |
| 3,40 | -0,16 | -1,84 | -3,52 | -5,19 | -6,84 | -8,49 | -10,11 | -11,72 | -13,31 | -14,87 |
| 3,50 | -0,06 | -1,70 | -3,33 | -4,95 | -6,56 | -8,16 | -9,74 | -11,31 | -12,86 | -14,38 |
| 3,60 | 0,03 | -1,56 | -3,15 | -4,73 | -6,29 | -7,85 | -9,39 | -10,92 | -12,43 | -13,92 |
| 3,70 | 0,12 | -1,43 | -2,97 | -4,51 | -6,04 | -7,55 | -9,06 | -10,55 | -12,02 | -13,47 |
| 3,80 | 0,20 | -1,31 | -2,81 | -4,30 | -5,79 | -7,27 | -8,74 | -10,19 | -11,63 | -13,05 |
| 3,90 | 0,28 | -1,18 | -2,65 | -4,11 | -5,56 | -7,00 | -8,43 | -9,85 | -11,25 | -12,64 |
| 4,00 | 0,37 | -1,07 | -2,49 | -3,92 | -5,33 | -6,74 | -8,14 | -9,52 | -10,89 | -12,25 |

Tabelle 1.3.2-a: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung (Abflughöhe) und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt

Aus der Tabelle und Abbildung kann man gut ablesen, wie die Faktoren „Leinendistanz“ und „Leinenüberhöhung“ auf die abhängige Variable „Abflugwinkel“ Einfluss nehmen. Mit wachsender Entfernung zur Leine nimmt der mögliche Abflugwinkel ab, wobei er (mit den vorgegebenen Parametern) ab einer Distanz von 3,60 m positiv wird. Dies bedeutet, dass ein Schlagen über die Leine nur mehr dann möglich ist, wenn der Ball zuerst noch eine steigende Flugbahn besitzt.

Mit Abnahme der Leinenüberhöhung nimmt auch der Abflugwinkel – hier stärker als bei der Entfernung zur Leine – ab.

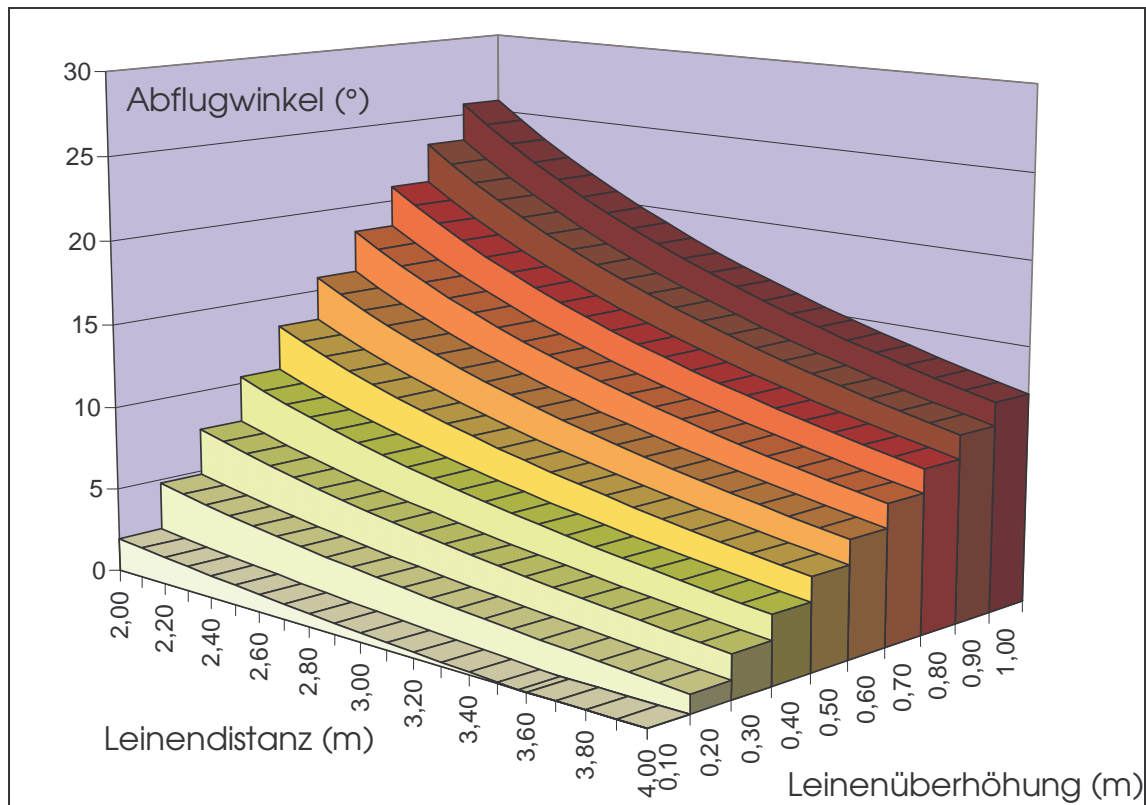


Abbildung 1.3.2-c: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt

Aus der oben erwähnten Formel 1.3.2-a: Gleichung der Wurfbahn beim schiefen Wurf lässt sich nun die theoretische Angriffszone berechnen:

Der „Leinen-nächste“ Punkt, der bei einem Service aus der Mitte des Feldes erreicht werden kann, wird über die so genannte Wurfweite W

$$W = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0}{2g} \cdot v_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \left(h_0 + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0}{2g} \right)}$$

Formel 1.3.2-c: Wurfweite beim schrägen Wurf

berechnet.

Mit den oben erwähnten Daten ergibt das eine Wurfweite von $W_0 = 12,2$ m (ab Abschlagpunkt), d. h. 9,7 m in der gegnerischen Feldhälfte¹⁷ (= theoretische Angriffslinie TA). Die theoretische Angriffszone erstreckt sich somit von dieser zur

¹⁷ die Distanz des Treffpunkts zur Leine muss abgezogen werden. Zur genauen Betrachtung sei auf die im Anhang (Kapitel 7) angeführten Formeln verwiesen.

Mittellinie parallelen Strecke bis zur Grundlinie, die die Angriffszone nach hinten beschränkt¹⁸.

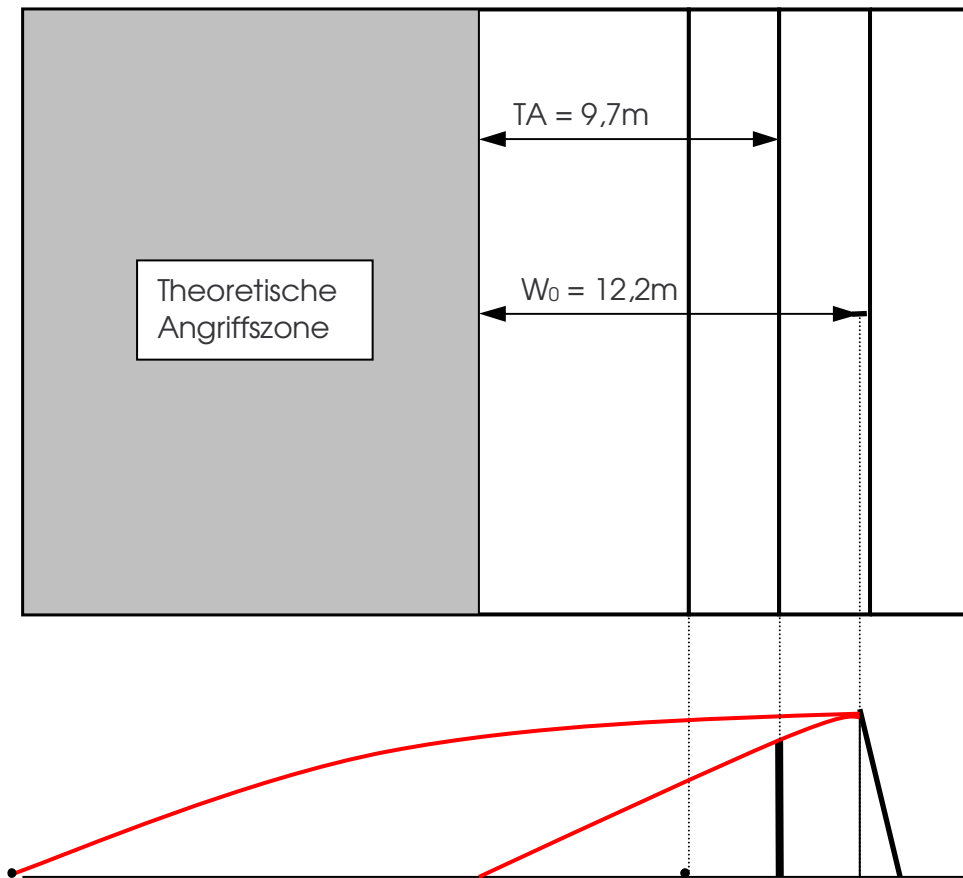


Abbildung 1.3.2-d: Darstellung der theoretischen Angriffszone
(Horizontal- und Sagittalebene)

Folgende Tabelle soll den Zusammenhang zwischen Balltreffpunkt und theoretischer Angriffslinie darstellen.

¹⁸ Die theoretische Angriffslinie verläuft streng genommen nicht exakt parallel zur Mittellinie, da sich bei einem Schlag auf die Vorderpositionen (außen) auch dementsprechend die Leinendistanz d verändert, jedoch dies keineswegs linear passiert. Eine genauere Erklärung erfolgt im Anhang (Kapitel 7)

| Leinenüberhöhung h (in m) | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Abschlaghöhe (in m) | 2,21 | 2,31 | 2,41 | 2,51 | 2,61 | 2,71 | 2,81 | 2,91 | 3,01 | 3,11 |
| Entfernung zur Leine (in m) | Theoretische Angriffslinie (in m) | | | | | | | | | |
| | 2,00 | 12,73 | 10,58 | 8,90 | 7,59 | 6,57 | 5,77 | 5,12 | 4,59 | 4,16 |
| 2,10 | 12,81 | 10,73 | 9,09 | 7,80 | 6,78 | 5,97 | 5,31 | 4,77 | 4,33 | 3,95 |
| 2,20 | 12,88 | 10,87 | 9,27 | 7,99 | 6,98 | 6,16 | 5,50 | 4,95 | 4,49 | 4,11 |
| 2,30 | 12,94 | 11,00 | 9,43 | 8,17 | 7,16 | 6,34 | 5,67 | 5,12 | 4,65 | 4,26 |
| 2,40 | 12,99 | 11,11 | 9,59 | 8,35 | 7,34 | 6,52 | 5,84 | 5,28 | 4,81 | 4,41 |
| 2,50 | 13,03 | 11,22 | 9,73 | 8,51 | 7,51 | 6,69 | 6,01 | 5,44 | 4,96 | 4,55 |
| 2,60 | 13,07 | 11,32 | 9,86 | 8,66 | 7,67 | 6,85 | 6,17 | 5,59 | 5,11 | 4,70 |
| 2,70 | 13,10 | 11,40 | 9,98 | 8,80 | 7,82 | 7,00 | 6,32 | 5,74 | 5,25 | 4,83 |
| 2,80 | 13,13 | 11,48 | 10,09 | 8,93 | 7,96 | 7,15 | 6,46 | 5,88 | 5,39 | 4,97 |
| 2,90 | 13,15 | 11,55 | 10,20 | 9,06 | 8,10 | 7,29 | 6,60 | 6,02 | 5,53 | 5,10 |
| 3,00 | 13,17 | 11,62 | 10,30 | 9,17 | 8,22 | 7,42 | 6,74 | 6,16 | 5,66 | 5,22 |
| 3,10 | 13,18 | 11,68 | 10,39 | 9,28 | 8,35 | 7,55 | 6,87 | 6,29 | 5,78 | 5,35 |
| 3,20 | 13,19 | 11,73 | 10,47 | 9,39 | 8,46 | 7,67 | 6,99 | 6,41 | 5,90 | 5,47 |
| 3,30 | 13,20 | 11,78 | 10,55 | 9,49 | 8,57 | 7,79 | 7,11 | 6,53 | 6,02 | 5,58 |
| 3,40 | 13,21 | 11,83 | 10,62 | 9,58 | 8,68 | 7,90 | 7,23 | 6,65 | 6,14 | 5,69 |
| 3,50 | 13,21 | 11,87 | 10,69 | 9,66 | 8,77 | 8,01 | 7,34 | 6,76 | 6,25 | 5,80 |
| 3,60 | 13,21 | 11,90 | 10,75 | 9,74 | 8,87 | 8,11 | 7,44 | 6,86 | 6,36 | 5,91 |
| 3,70 | 13,21 | 11,93 | 10,81 | 9,82 | 8,96 | 8,20 | 7,54 | 6,97 | 6,46 | 6,01 |
| 3,80 | 13,21 | 11,96 | 10,86 | 9,89 | 9,04 | 8,30 | 7,64 | 7,07 | 6,56 | 6,11 |
| 3,90 | 13,20 | 11,99 | 10,91 | 9,96 | 9,12 | 8,38 | 7,73 | 7,16 | 6,66 | 6,21 |
| 4,00 | 13,19 | 12,01 | 10,96 | 10,02 | 9,20 | 8,47 | 7,82 | 7,26 | 6,75 | 6,30 |

Tabelle 1.3.2-b: Theoretische Angriffslinie in Abhängigkeit von Leinenüberhöhung und Entfernung zur Leine

Die grafische Darstellung liefert wieder eine Übersicht über die berechneten Daten:

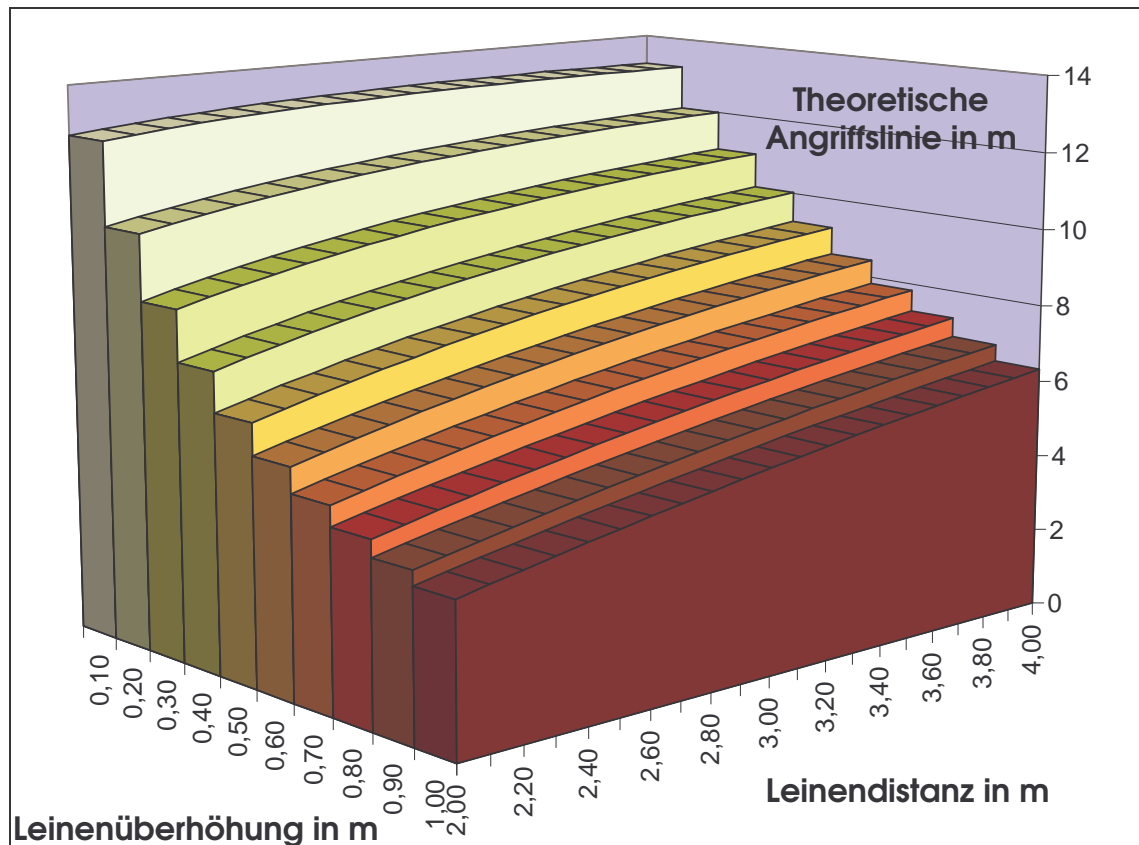


Abbildung 1.3.2-e: Theoretische Angriffslinie in Abhängigkeit von Leinenüberhöhung und Leinendistanz

Befindet sich nun der Treffpunkt nicht 0,5 m vor der 3m-Linie, sondern (in gleicher Höhe von 2,40 m) direkt über der 3m-Linie, ergibt sich für den Abflugwinkel ein geringerer Wert von $-4,3^\circ$ (vgl. dazu Tabelle 1.3.2-a: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung (Abflughöhe) und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt) und eine Verschiebung der theoretischen Angriffslinie auf 10,30 m also um 0,6 m nach hinten.

Eine Erhöhung des Treffpunktes (bei gleicher Reichweite über die Servicelinie 0,50 m) um 10 cm würde einen Winkel von $-7,97^\circ$ erlauben, was eine theoretische Angriffslinie von 8,51 m (-1,2 m) ergeben würde; eine Senkung des Treffpunktes um 10 cm würde nur einen Winkel von $-3,45^\circ$ zulassen, was eine theoretische Angriffslinie in 11,22 m (+ 1,0 m) Entfernung zum Netz als Folge hätte.

Aus der Tabelle und Grafik sticht noch ins Auge, ist, dass eine Änderung der Abschlaghöhe einen größeren Effekt auf die Theoretische Angriffslinie hat als eine Änderung der Entfernung zur Leine.

Für einen Spieler ist es also vorteilhafter, eine Verbesserung (damit ist eine Erhöhung gemeint) der Abschlaghöhe anzustreben, als eine Annäherung zur Leine zu trainieren.

Mit einer Reichhöhe des Spielers von 2,50 m (d.h. er kann den Ball direkt über der 3m-Linie in einer Höhe von 2,50 m schlagen) ergeben sich folgende Treffpunkt-Möglichkeiten beim Standservice:

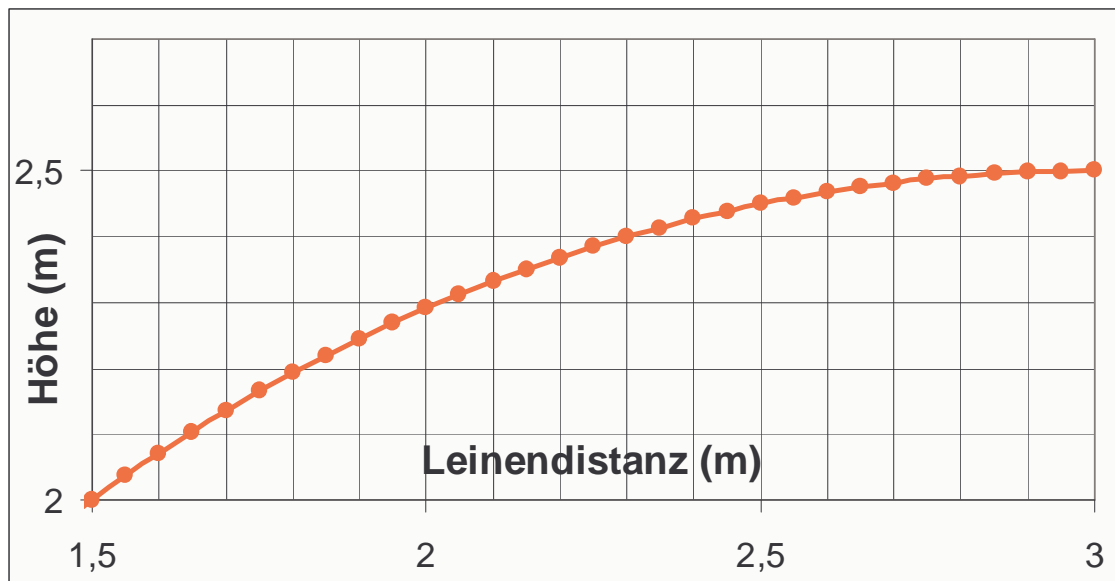


Abbildung 1.3.2-f: Theoretische Treffpunktmöglichkeiten beim Standservice
(Reichhöhe = 2,5m)

Ein Schlag aus 3 m Entfernung und in einer Höhe von 2,50 m ergibt eine Angriffslinie von $\sim 9,15$ m, aber bei einem Schlag aus 2 m Entfernung und in einer daraus resultierenden Höhe von 2,29 m ist eine theoretische Angriffslinie von nur $\sim 10,60$ m möglich. Somit ist es ein Problem der Optimierung den idealen Abschlagpunkt zu bestimmen, um die theoretische Angriffslinie bei gegebener Reichhöhe zu minimieren. Dies sprengt aber den Rahmen dieser Arbeit und muss wohl gesondert untersucht werden.

Da in der Praxis noch Parameter wie Drall und Luftwiderstand hinzukommen, sowie die Ballgeschwindigkeit, die den wichtigsten Faktor ausmacht, und sich die theoretische Angriffslinie in Bereich von 1,5m verschieben, wird wohl der Drall einen größeren Einfluss auf die theoretische Angriffslinie haben. Außerdem sind solche Präzisionsschläge in der Praxis schwer durchführbar, da man sich immer in die Gefahr begibt, einen Fehler durch Leinenberührung des Balles zu begehen.

Die beobachteten Treffpunkte werden weiter unten in Kapitel 4.4 Ballparameter dargestellt und verglichen. Es wurde eine so großen Bandbreite an Abflugdistanzen und -höhen dargestellt, da damit auch das Sprungservice und der Rückschlag, bei dem der Ball weiter von der Leine weg und in einer größeren Höhe getroffen wird, abgedeckt wird.

Zwei Konsequenzen für die Praxis können aus diesen rein mathematischen Betrachtungen gezogen werden:

- Für das Service ist ein hoher Abschlagpunkt des Balles nahe der Leine – also eine Reichweite über die Servicelinie hinaus – erforderlich, um einen druckvollen Angriff auf die vorderen Spielpositionen zu ermöglichen. Hierbei ist es effektiver, die Abflughöhe zu maximieren, als die Distanz zur Leine zu minimieren.

Dies ist aus taktischer Sicht sehr effektiv, da die Reaktionszeit des Gegenspielers aufgrund der kürzeren Flugzeit gegenüber dem langen Service nach hinten stark verkürzt ist und so ein Vorderspieler verstärkt unter Druck gebracht werden kann.

In der Praxis kann die Tendenz beobachtet werden, dass beim Service vermehrt die Vorderspieler als Angriffsziel forciert werden, da für die Reaktion eines Vorderspielers weniger Zeit bleibt, als für die eines Hinterspielers (Unterschied in der Weglänge von ungefähr 15 m). Weiters hat der Angreifer zugleich noch die Aufgabe, auch kurz geschlagene Bälle (in die Mitte des Feldes) zu erreichen, und muss somit für beide Abwehraufgaben vorbereitet sein. Der Vorderspieler ist auch meistens mit Defensivaufgaben (aus trainingstechnischer Sicht) nicht so vertraut, sodass er hierbei ein Defizit gegenüber den „reinen“ Abwehrspielern hat.

- Die einzelnen Aufstellungsformen im Faustball sind durch die theoretische Angriffszone unmittelbar erklärbar.

Die heute im Spitzenfaustball verwendete U-Form entstand dadurch, dass der Mittelspieler in der W-Aufstellung immer wieder mit schnellen und druckvollen Angriffen unter Kniehöhe attackiert worden ist. Dieser Schlag stellt(e) für den Angreifer ein eher geringes Risiko dar (Out-Linien weit entfernt), und der Mittelspieler konnte diese scharf geschlagenen

Bälle schwer abwehren. Somit wurde der Mittelspieler zurück an die Grundlinie gezogen, wo es für den gegnerischen Angriffsspieler schwieriger bzw. gefährlicher ist, den Ball exakt auf diese Position zu platzieren.

Ein weiterer Effekt war, dass die Hinterspieler ihre Position etwas nach außen – in Richtung der Seiten-Out-Linie - verschieben konnten, und dadurch die beiden Vorderspieler noch etwas mehr nach vorne auf ungefähr 8 - 10 m (von der Leine entfernt) ihre Abwehrpositionen einnehmen konnten (vgl. dazu Abbildung 1.2.1-b: Aufstellungsformen im Faustball). Dies ist aber genau die Zone der berechneten theoretischen Angriffslinie für realistische Service-Werte.

Andere, unkonventionellere Aufstellungsformen, scheiterten an der praktischen Umsetzung. Früher wurde noch in den südamerikanischen Ländern eine so genannte V-Aufstellung praktiziert (und von europäischen Mannschaften kopiert). Dabei stand der Mittelspieler etwa 5m hinter der Grundlinie, und beide Hinterspieler bezogen ihre Positionen 5 m (von der Seitenlinie und Grundlinie entfernt) im Feld. Diese Aufstellung musste dem modernen „Power-Faustball“ weichen, da diese beiden Abwehrspieler das primäre Ziel für den Angriff wurden und somit wieder – bei relativ geringem Risiko des gegnerischen Angriffsspielers – die geschlagenen Bälle direkt oder mittels „Drop-Bälle“ annehmen mussten, was ein hohes technisches Niveau voraussetzt. Auch war der Totraum in der Mitte des Feldes noch schwieriger abzudecken, da die Vorderspieler um 2 m vor der Position in der heutigen U-Aufstellung standen, und sich dadurch der Weg zur Mitte des Feldes für sie verlängerte.

1.3.3. Die biomechanischen Prinzipien des Faustballschlages¹⁹

Ein technisch korrekter Faustballschlag müsste die relevanten biomechanischen Prinzipien nach HOCHMUTH (1982) erfüllen. Hierbei sei angemerkt, dass – wie auch schon in WILLIMCZIK (1989, 98) von BAUMANN kritisiert – diese Prinzipien auf rein mechanischen Überlegungen basieren.

„Die Allgemeingültigkeit sämtlicher Prinzipien wird durch sportartspezifische Bedingungen eingeschränkt, was dem Charakter eines Prinzips widerspricht. ... Die dargestellten Prinzipien sind bei kritischer Anwendung hilfreiche Leitlinien bei der Beurteilung sportlicher Techniken, Prinzipien im strengen Sinne allgemeingültiger Grundsätze sind es nicht.“

(BAUMANN in: WILLIMCZIK 1989, 98)

- **Prinzip der zeitlichen Koordination von Teilimpulsen**

Ursprünglich wurde dieses Prinzip von HOCHMUTH falsch generiert, da er von der Gleichzeitigkeit der maximalen Impulse ausging, wurde aber später durch zahlreiche empirische Befunde berichtigt und von HOCHMUTH neu formuliert. Es geht nunmehr um das zeitliche Nacheinander der Impulse.

Dieses Prinzip wurde schon bei verschiedene Überkopf-Wurfbewegungen – die beispielsweise im Speewurf, Handball, Volleyball, Baseball, ... auftreten – durch empirische Befunde evident bestätigt (z.B.: MÜLLER 1982, 314ff)

Da der Faustballschlag einer Wurfbewegung ähnelt, ist anzunehmen, dass gute Schläge dieses Prinzip auch erfüllen.

Primäres Ziel ist es, dem Faustball die größtmögliche Geschwindigkeit zu erteilen,²⁰ d. h. den größtmöglichen Impuls zu übertragen. Da der Impuls nach $p = m \cdot v$ definiert ist, kommt es auf die Koordination der Teilgeschwindigkeiten der einzelnen Körperpunkte an.

¹⁹ vgl. LEITNER 1993, 88ff und LEITNER 1972, 99ff.

²⁰ Natürlich spielt die Präzision ebenfalls eine wichtige Rolle.

Dabei ist die Koordination von proximal nach distal erstrebenswert, sodass Hüfte, Schulter, Ellbogen, Handgelenk und die Faust der Schlagseite nacheinander ihr Geschwindigkeitsmaximum erreichen (Kinematische Kette). BAYER konnte dies in seiner qualitativen Untersuchung 1980 zeigen.

Die Impulsübertragung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Das proximale Segment wird durch aktiven Muskeleinsatz abgebremst, sodass sich die Geschwindigkeit des benachbarten, distalen Segments in Abhängigkeit von den Massenverhältnissen der jeweiligen Körperteile indirekt proportional verändert. Dabei wird dem Zusammenspiel von Agonisten und Antagonisten eine entscheidende Bedeutung zugeschrieben.

Um eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit der Faust zu erreichen, ist es notwendig, die beteiligten Körperteile (mit ihrem Impuls) möglichst effektiv einzusetzen. So formuliert LEITNER (1993, 93):

„Eine besondere Rolle bei der Impulsübertragung spielen die Formen des Rumpfeinsatzes. Der Rumpf besitzt im Vergleich zu den anderen Körperteilen die größte Masse, darum ist es wichtig, wie diese Masse eingesetzt wird. Die für den Faustball bedeutenden Formen des Rumpfeinsatzes sind Körperspannung und Körperverwindung.“

Auf die Impulsübertragung der Faust auf den Ball wurde im vorhergehenden Kapitel 1.3.1 Der Faustball-Schlag als teilelastischer Stoß schon etwas genauer eingegangen.

LEITNER (1972) bemerkte unter diesem Prinzip auch noch die Koordination von Anlaufgeschwindigkeit und der Faustgeschwindigkeit. Diese Tatsache ist beim Standservice vernachlässigbar, jedoch ist beim Sprungservice diese Koordination von entscheidender Bedeutung. Da das System Körper-Ball ab dem Zeitpunkt des Absprungs höhere Anfangsgeschwindigkeiten gegenüber dem Standservice besitzt, müssten auch bei gleicher – relativ zum Körperschwerpunkt – Faustgeschwindigkeit, höhere Ballabfluggeschwindigkeiten erzielt werden.

Im Faustball können relativ hohe Geschwindigkeiten erzielt werden. In folgender Tabelle ist eine kurze Übersicht über verschiedene Ballsportarten mit ihren Höchstgeschwindigkeiten gegeben (kein Anspruch auf Vollständigkeit).

| Sportart | Geschwindigkeit | Sportler | Datum |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Golf | 310 km/h | Jason Zuback | - |
| Jai-Alai | 302 Km/h | - | - |
| Squash | 277 km/h | John White | 2004 |
| Badminton | 260 km/h | - | - |
| Tennis | 246 km/h | Andi Roddick | 11.6.04 |
| Eishockey | 169 km/h | Al Iafrate | 1993 |
| Baseball (Pitch) | 162 km/h | Lynn Nolan Ryan | 20.4.1972 |
| Cricket | 161 km/h | Shoaib Akhtar | - |
| Fußball | 158 km/h | Tony Yeboah | - |
| Faustball | 130 km/h | Martin Weiß | 2004 |
| Football (Kick) | 129 km/h | Hakan Sukur | - |

Tabelle 1.3.3-a: Höchstgeschwindigkeiten in ausgewählten Sportsportarten
(von: <http://www.guinnessworldrecords.com>)

- **Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges**

Bei HOCHMUTH (1982, 162) heißt es:

„Geht man davon aus, dass ein Körper durch Beschleunigung längs eines bestimmten Weges an dessen Ende eine möglichst hohe Bahngeschwindigkeit erreichen soll, dann wäre ein geradliniger Beschleunigungsweg anzustreben.“

Weiter wird unten fortgesetzt:

„Demgegenüber eignen sich die biomechanischen Voraussetzungen des menschlichen Bewegungsapparates aber besonders gut für rotatorische Beschleunigungen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Bewegungen der einzelnen Glieder der kinematischen Kette zueinander immer

Drehbewegungen sind und durch Muskelkraftmomente beschleunigt werden. Infolgedessen können die Endglieder der offenen kinematischen Kette (z. B. die Hand bei allen Würfeln) durch rotatorische Beschleunigung sehr hohe Bahngeschwindigkeiten erreichen. Es handelt sich hierbei aber immer um stetig gekrümmte und nicht um wellenförmige Beschleunigungswege.“ (HOCHMUTH 1982, 163)

Die letzte Aussage wird in der Zusammenfassung noch einmal wiedergegeben:

„Er (der geometrische Verlauf des Beschleunigungsweges) soll geradlinig oder stetig gekrümmt und nicht wellenförmig sein.“

(HOCHMUTH 1982, 163)

Beim Faustball muss die Faust der Schlagseite optimal beschleunigt werden, um eine maximale Faustgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Balltreffers zu erreichen. Der Beschleunigungsweg ist nicht wie beim Speerwurf (annähernd) geradlinig, sondern gekrümmt (vgl. LEITNER 1993, 96).

Im Kapitel 4. Ergebnisse wird darauf exemplarisch eingegangen.

- **Prinzip der Anfangskraft**

HOCHMUTH (1982, 163ff) leitet dieses Prinzip aus dem beidbeinigen Streck sprung ab, jedoch ist für den Faustballschlag folgendes Analogon zu bilden:

Die durch die Oberkörper torsion entstehende Bogenspannung bringt ideale Voraussetzungen für die nachfolgende Beschleunigung der Körperteile. Speziell der Brustmuskel wird durch die Zurücknahme der Schulter bereits vorgedehnt und dieser Effekt wird durch das zeitliche Nacheinander der Beschleunigungen von Hüfte und Schulter noch verstärkt. Durch diese Vordehnung ist der Muskel bereits vorgespannt und kann eine erhöhte Leistung in der nachfolgenden, aktiven Beschleunigung erzeugen.

Eine entsprechende myografische Untersuchung dazu gibt es im Faustball nicht, jedoch gibt es bestätigende Ergebnisse in anderen Wurf sportarten

- **Prinzip der Gegenkraft (3. NEWTON'sche Gesetz: Actio – Reactio)**

HOCHMUTH (1982, 186) formuliert:

„Auch bei Würfeln mit der Hand und Stößen mit dem Fuß wird das Gegenwirkungsprinzip zweckmäßig ausgenutzt. Durch das Mitbewegen der Schulterpartie vergrößert sich beim Handballwurf der Beschleunigungsweg. Damit der Körper deswegen keine Gesamtdrehung ausführen muss, ..., wird die Hüftpartie entgegengesetzt nach vorn gedreht.“

Beim Faustballs Schlag werden zwei Körperteile – beim Rechtshänder linker Arm und rechtes Bein– sehr bewusst als Schwungelement eingesetzt, bzw. vollziehen eine starke Gegenbewegung, um den Schlag zu unterstützen und zu stabilisieren. So bringt das starke nach „Hinten-unten-Bringen“ der linken Schulter und des linken Armes eine Vorwärtsbeschleunigung der rechten Schulter. Beim Sprungservice kann beobachtet werden, dass zugleich zur Schlagbewegung des Oberkörpers der Unterkörper nach vorne bewegt wird, d. h. eine Klappbewegung in der Hüfte erfolgt. Die Kraft, die in Richtung Ball von den oberen Extremitäten entwickelt wird, hat kein Widerlager am Boden und muss daher mit dem Unterkörper ausgeglichen werden.

Interessant wäre es somit beim Standservice, auch die Bodenreaktionskräfte zu messen, da laut 3. Newton'schem Axiom eine Kraft immer nur paarweise auftritt, und es somit eine Gegenkraft am Boden geben müsste. Auch aufschlussreiche Daten über den Absprung beim Sprungservice könnten durch Bodenreaktionskräfte herausgefunden werden.

Weiters wird noch auf folgende Aspekte speziell bei Wurf- bzw. Schlagbewegungen eingegangen:

- **Wurfseitenfreiheit**

Der Begriff der Wurfseitenfreiheit – geprägt durch LINDNER (1967/1971) – wird in der Literatur oftmals in Zusammenhang mit Speerwerfern und Handballern verwendet. Es handelt sich dabei um ein anatomisches Phänomen bei Wurf- oder Schlagbewegungen, das durch folgende Abbildung verdeutlicht werden soll:

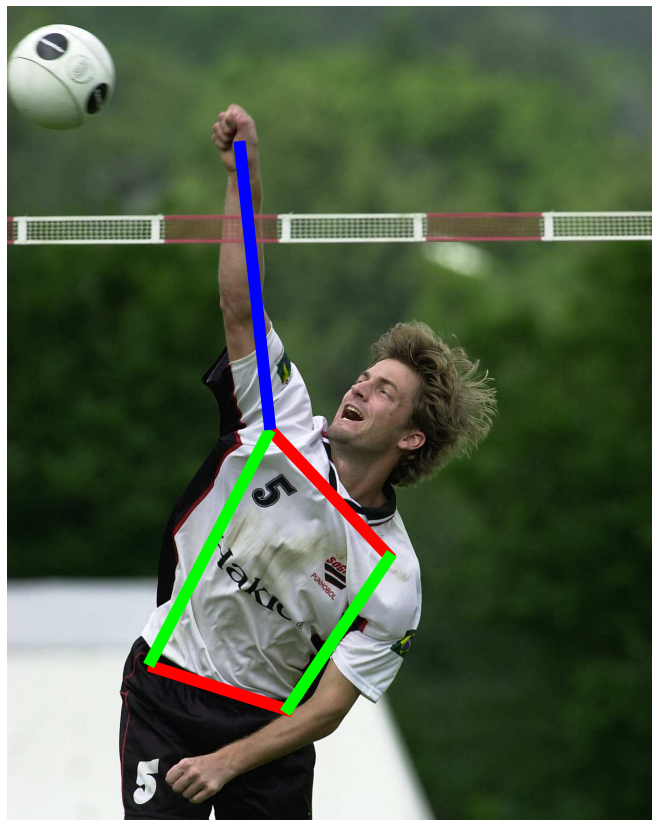


Abbildung 1.3.3-a: Wurfseitenfreiheit beim Faustballschlag

Die Schulterachse wird während der Wurf- oder Schlagbewegung zur Seite geneigt, um den wichtigsten „Werfermuskel“ – den Brustmuskel (M. pectoralis major) seiner Funktion entsprechend – optimal einsetzen zu können. Dieser kann aufgrund seiner anatomischen Gegebenheiten (Ursprung-Ansatz) dadurch am besten für das „Nach-vorne-oben-Bringen“ des Oberarms eingesetzt werden.

Der Wurfarm wird also keineswegs dicht neben dem Kopf vorbeigeführt.

Bei dieser Gelegenheit sei auf die Problematik von schnellen Überkopfbewegungen verwiesen, da aus anatomischen Gründen das

Schultergelenk eigentlich für solche Bewegungen nicht konzipiert ist. Die lange Bizepssehne kann bei Überkopfwürfen oder -schlägen zwischen Acromion und Oberarmkopf eingeklemmt und bei zu starker Reizung verletzt werden.

Der Aspekt des Höhengewinns spielt eine weitere Rolle, da durch die Erhöhung der Schlagschulter – dies beträgt bei einem Winkel von $\sim 45^\circ$ (SÖSER 2004, 13) ungefähr 10 cm – das Balltreffen weiter oben erfolgen kann.

In WILLIMCZIK (1989, 419f) werden im Kapitel Sportspiele im Unterpunkt 1.4 sehr allgemeine Bewegungskriterien bei Ballschlägen (im Speziellen für Schläge mit Geräten) angeführt.

- **Stabilitätskriterium**

„Eine Bewegung muss so gestaltet werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines unvorhergesehenen Ereignisses sehr gering wird.“ (WILLIMCZIK 1989, 419)

Im Faustball kann zum Beispiel der Einfluss von starkem Wind die Bewegung des Faustballservice entscheidend beeinflussen.

- **Kriterium der limitierten Beschleunigungen**

„Die maximalen Beschleunigungen der stoßenden Massen sind durch die biomechanischen Eigenschaften der beteiligten Glieder limitiert.“ (WILLIMCZIK 1989, 419)

Die Limitierung der Beschleunigungen ist durch Bänder, Sehnen und Gelenke gegeben. Auch wenn es (vielleicht) mechanisch günstigere Ausführungen eines Service geben würde, so ist man doch an den menschlichen Bewegungsapparat gebunden.

- **Kriterium der Ausnutzung der Trägheitskräfte**

„Der Einsatz der Muskulatur wird so gestaltet, dass die entstehenden Trägheitskräfte das Erreichen des Bewegungszieles begünstigen“ (WILLIMCZIK 1989, 419)

Beim Faustballs Schlag ist dieses Kriterium schon weiter oben erwähnt worden. Durch das Abbremsen der proximalen Glieder können die distalen Glieder stark beschleunigt werden.

- **Kriterium des abgeschlossenen Beschleunigungsvorgangs**

„Der Beschleunigungsvorgang der Schlagfläche soll im Moment des Ballkontakts bereits abgeschlossen sein. Dieses Kriterium besagt, dass im Moment des Ballkontakts die maximale Geschwindigkeit auftreten soll.“ (WILLIMCZIK 1989, 420)

Nähere Ausführungen folgen im Kapitel 4. Ergebnisse.

- **Kriterium des zeitlichen Abstands der maximalen Beschleunigung zum Balltreffpunkt**

„Zwischen der maximalen Beschleunigung des Schlägers und dem Balltreffpunkt soll eine möglichst große Zeitspanne sein.“ (WILLIMCZIK 1989, 420)

Für das Faustballspiel heißt das, dass die Faust kurz nach Beginn der Beschleunigungsphase schon das Beschleunigungsmaximum erreichen soll.

- **Kriterium der Reduktion der Bahnkrümmung**

„Die Krümmung der Bewegungsbahn der Ballkontaktfläche des stoßenden Gliedes soll stetig reduziert werden und am Balltreffpunkt ihr Minimum erreichen.“ (WILLIMCZIK 1989, 421)

Dieses Kriterium wurde schon bei HOCHMUTH (1982) unter dem Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges angeführt und auch in der vorliegenden Arbeit schon diskutiert. Eine exemplarische Untersuchung der Bahnkrümmung erfolgt im Kapitel 4. Ergebnisse.

1.4. Exkurs: Parameter eines „scharfen“ Schlages

Da einer der wichtigsten Parameter eines Faustballschlages mit Sicherheit die Geschwindigkeit ist, soll dieses Kapitel näher auf die Schlag- bzw. Ballgeschwindigkeit eingehen.

1.4.1. Theoretischer/physikalischer Hintergrund

Wie im Kapitel „Der Schlag im Faustball aus biomechanischer Sicht“ (Kapitel 1.3) schon erwähnt, ist der Faustballs Schlag im Allgemeinen und das Service im Speziellen ein teilelastischer Stoß.

Dafür gilt bereits aufgeführte Formel aus der Physik:

$$v_B = \frac{m_B \cdot v_{0B} + m_F \cdot v_F - (v_{0B} - v_F) \cdot m_F \cdot e}{m_B + m_F}$$

| | |
|----------|--|
| v_B | Abfluggeschwindigkeit des Balles |
| m_B | Masse des Balles (Sollwert zwischen 350g und 380g) |
| v_{0B} | Anfangsgeschwindigkeit des Balles zum Zeitpunkt des Treffens |
| m_F | Masse Faust |
| v_F | Geschwindigkeit der Faust zum Zeitpunkt des Treffens |
| e | Elastizitätskoeffizient |

Formel 1.4.1-a: Formel für (theoretische) Ballgeschwindigkeit

Da der Restitutionskoeffizient e (über den Balldruck) sowie das Ballgewicht den Regeln nach feststeht, ergibt sich somit beim Faustball die Faustgeschwindigkeit als wichtigster Parameter neben der Anfangsgeschwindigkeit und der Masse der Faust für die Abfluggeschwindigkeit des Balles.

Für folgende theoretische Betrachtungen wurden nachstehende Fixwerte angenommen:

$$m_B = 365 \text{ g}$$

$$v_{0B} = 0 \text{ m/s}$$

$$m_F = 0,7 \text{ \% des Körpergewichts}$$

$$e = 0,85$$

Ein Diagramm soll den Einfluss der jeweiligen Parameter verdeutlichen:

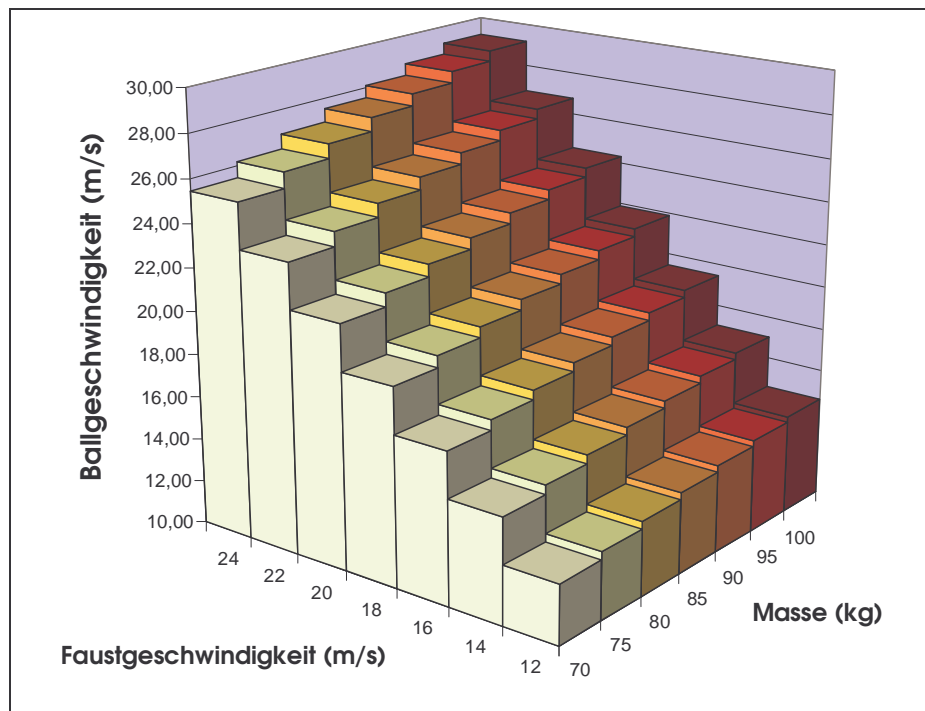


Abbildung 1.4.1-b: Einflussgrößen auf die (theoretische) Ballgeschwindigkeit

Folgende Punkte können aus der Abbildung festgestellt werden:

- Je höher die Körpermasse eines Spielers, desto höher ist die Ballabflugeschwindigkeit.
- Je größer die Faustgeschwindigkeit, desto größer die Ballgeschwindigkeit.
- Um bei differenter Körpermasse die gleiche Ballgeschwindigkeit zu erreichen, muss die Faustgeschwindigkeit erhöht werden. Oder noch präziser:
- Um die gleiche Ballgeschwindigkeit zu erreichen, kann man entweder Gewicht oder Faustgeschwindigkeit erhöhen.

Speziell der letzte Punkt bedarf besonderer Beachtung, da es in der Praxis kaum zu einer massiven Gewichtszunahme kommen wird, sondern eher zu einer Steigerung der Faustgeschwindigkeit.

Man kann durchaus folgende „Faustregel“ für die Schlaggeschwindigkeit aufstellen:

„Jedes Kilogramm Körpermasse bedeutet bei gleicher Faustgeschwindigkeit rund ½ km/h mehr Geschwindigkeit“

Dieser Sachverhalt wird durch die Formel für die kinetische Energie

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

ebenfalls bestätigt.

Da in der Praxis Faustgeschwindigkeiten von rund 20 m/s auftreten, die Ballgeschwindigkeiten jedoch jenseits von 30 m/s liegen können, ist dieses theoretische Konstrukt etwas fehlerhaft. Der Hauptgrund dafür ist rasch erklärt: Für die Berechnung wurde die Masse der Faust mit ungefähr 0,7 % der Körpermasse verwendet. Dieser Wert entspricht zwar den anatomischen Kenngrößen, stellt jedoch nicht der Wert in der Praxis dar, der als Schlagmasse eingesetzt wird. Wie schon erwähnt, kann zum Zeitpunkt des Balltreffens eine größere Masse für den Impuls aufgebracht werden (effektive Masse kann durch Anteile des Unterarms erhöht werden), indem die Gelenke aktiv versteift werden. So gilt es, neben der Maximierung der Faustgeschwindigkeit auch die bewusste Steuerung der effektiven Schlagmasse zu verbessern.

Aus der Formel kann aber andererseits bei gegebener Faust- und Ballgeschwindigkeit die effektive Schlagmasse berechnet werden. Dies wird im Kapitel „Rechnerische Ergebnisse“ (Kapitel 4.5) durchgeführt.

1.4.2. Vorhandene Untersuchungen zur Ballgeschwindigkeit

Die bereits öfter durchgeführten Untersuchungen bezüglich der Ballgeschwindigkeit seien hier zum Vergleich angegeben (LEITNER 1992; BAYER 1980; SCHEIBE 1972)

Die Untersuchungen von LEITNER fanden am 11. Jänner und 2. Mai 1992 im Rahmen der WM-Vorbereitung statt. Als Probanden standen fünf bzw. sechs Angreifer des erweiterten Nationalteamkaders zur Verfügung, die jeweils fünf Service in zwei verschiedenen Techniken absolvierten. Die Messung wurde mittels Lichtschranken bewerkstelligt.

Die zusammengefassten Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

| Leitner (n = 55) | Mittelwert \bar{v} (km/h) | Minimum v_{\min} (km/h) | Maximum v_{\max} (km/h) | Standardabweichung σ (km/h) |
|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Vorhandschlag | 100,4 | 93 | 111 | 6,13 |
| Hammerschlag ²¹ | 100,8 | 96 | 112 | 6,22 |

Tabelle 1.4.2-a: Ballgeschwindigkeiten (LEITNER 1992)

Bei SCHEIBE (1972) handelt es sich um eine in der DDR durchgeführte Untersuchung an drei Nationalteamangreifer von 1972, die je 20 Service machten (zwei Serien á zehn Schläge). Gemessen wurde 1 - 1,5 m hinter dem Schlagpunkt des Balles eine Durchlaufzeit von 10^{-4} s.

| Scheibe (n = 60) | Mittelwert \bar{v} (km/h) | Minimum v_{\min} (km/h) | Maximum v_{\max} (km/h) | Standardabweichung σ (km/h) |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Vorhandschlag | 92,9 | 82,0 | 104,9 | 3,6 |

Tabelle 1.4.2-b: Ballgeschwindigkeiten (SCHEIBE 1972)

Diese Ballgeschwindigkeitsuntersuchung von BAYER (1982) resultierte aus einer zweidimensionalen Analyse des Faustballservice. Dabei wurden vier Bilder digitalisiert (Dauer 2/100 s) und die zurückgelegte Wegstrecke abgelesen, womit die Ballgeschwindigkeit berechnet wurde. Die acht Probanden waren teilweise österreichische Nationalteamangreifer aus dem Jahr 1980, und absolvierten je drei Service, wobei jenes Service mit der größten Ballgeschwindigkeit zur Untersuchung verwendet wurde.

Folgende Werte wurden ermittelt:

²¹ Beim „Hammerschlag“ handelt es sich um eine Schlagtechnik, bei der der Ball mit der geschlossenen Faust mit der Kleinfingerseite getroffen wird.

LEITNER (1992) konnte aufgrund dieser Daten zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ballgeschwindigkeiten bei Vorhand- und Hammerschlag gibt.

| Bayer (n = 8) | Mittelwert \bar{v} (km/h) | Minimum v_{\min} (km/h) | Maximum v_{\max} (km/h) | Standardabweichung σ (km/h) |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Vorhandschlag | 94,2 | 88,4 | 99,3 | 3,3 |

Tabelle 1.4.2-c: Ballgeschwindigkeiten (BAYER 1980)

Hier muss angemerkt werden, dass all diese Ballgeschwindigkeiten aus einem Standservice resultierten. Für das Sprungservice konnten keine Daten gefunden werden.

Nachfolgend der Vergleich der drei Untersuchungen:

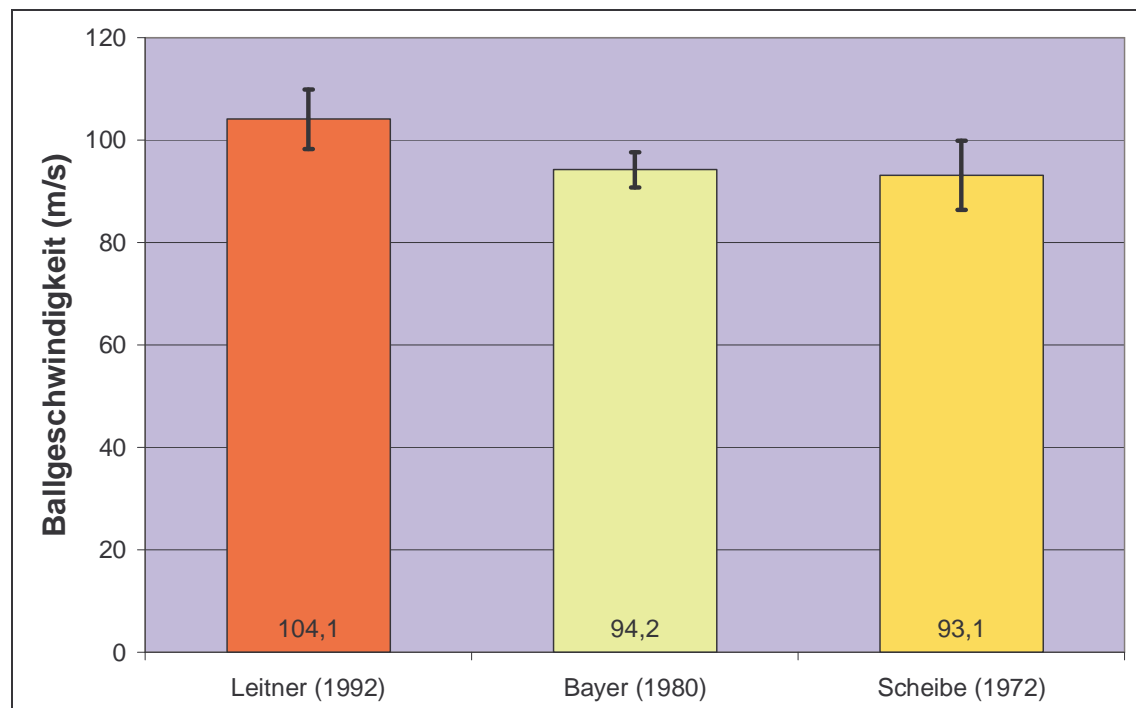


Abbildung 1.4.2-a: Ballgeschwindigkeiten bei verschiedenen Autoren

Grundsätzlich finden sich bei allen drei Autoren ähnliche Ergebnisse, wobei die Untersuchung von LEITNER 1992 mit 112 km/h den maximalen Wert liefert. Bei dieser Untersuchung findet sich auch der höchste Mittelwert der drei Untersuchungen, was wohl darin begründbar ist, dass ausschließlich Nationalteamspieler als Probanden zur Verfügung standen.

In der Untersuchung von Scheibe findet sich das Minimum von 82 km/h.

Die Ergebnisse sind aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsmethodik nicht direkt miteinander vergleichbar, bilden jedoch eine gute Ausgangsbasis für die vorliegende Untersuchung.

2. Problemstellung und Arbeits-Hypothesen

Aus Aufzeichnungen des österreichischen Faustball-Nationalteamtrainers ALMHOFER (2004), der in den letzten 10 Jahren die wichtigsten internationalen Spiele analysiert hat, kann man die dominante Rolle des Faustballservice herauslesen. Diese Aufzeichnungen wurden im Kapitel Statistiken zum Faustballservice (Kapitel 1.2.2) auf Seite 23 dargestellt.

Die letzten Jahre haben gezeigt, dass ein gutes Service für den Erfolg einer Mannschaft von größter Bedeutung ist, und der Servicespieler oft im Alleingang ein Spiel entscheidet. Speziell auf nassem Rasen ist die Bedeutung des Service enorm, da ein Bodenkontakt auf nassem Grund eine äußerst schwierige Annahmesituation für die abwehrende Mannschaft darstellt, und somit noch mehr direkte Punkte über das Service erzielt werden können.

Es ist dennoch erstaunlich, dass keine wissenschaftlich fundierten Arbeiten bezüglich des Faustball-Service vorhanden sind. Die einzigen dem Autor bekannten Arbeiten sind eine Diplomarbeit von BAYER (1980), die sich hauptsächlich mit dem Service beschäftigt, eine Diplomarbeit von LEITNER (1993), die sich allgemein mit dem Faustball-Angriff beschäftigt, sowie eine unveröffentlichte Seminararbeit von WEISS (2003) am Institut für Sportwissenschaften Salzburg zum Thema „Videofeedbacktraining im Faustball“.

Da die für die vorliegende Arbeit am meisten relevante Untersuchung von BAYER (1980) sich auf eine Analyse des Standservice aus der Sagittalsicht (2D) beschränkt, es jedoch bei der Faustballbewegung zu vielen Rotationen und Bewegungen im dreidimensionalen Raum kommt, ist die Notwendigkeit einer dreidimensionalen Analyse gegeben. Nur bei Erfassung der drei Dimensionen können aussagekräftige Schlussfolgerungen für das Service gezogen werden.

Auch der vermehrten Anwendung des Sprungservice in der Praxis in den letzten Jahren wird in der Arbeit Tribut gezollt, da es bis dato keine bekannte kinematische Untersuchung zum Sprungservice gibt.

Für eine wissenschaftlich fundierte Trainingsarbeit muss zu aller erst einmal festgestellt werden, welche Parameter beim Faustballservice von entscheidender Bedeutung sind. Vielerorts sind die Trainings in den Vereinen auf Mutmaßungen und Tradition aufgebaut.

So ist ein Ziel der Arbeit, leistungsbestimmende Faktoren zu eruieren, um in der Praxis die notwendigen Trainingsziele stecken zu können. Eine „Technik-Leitbild“ existiert leider nur in den Köpfen der Trainer und ist durch keine empirischen Befunde belegt.

Ein wichtiger Aspekt ist, dass der Faustballschlag eine zielorientierte Bewegung ist, d. h. es auf das Endergebnis ankommt. So sind Vorgaben bezüglich Standardparameter der leistungsbestimmenden Faktoren immer mit Vorsicht zu genießen, da es für die Lösung der Bewegungsaufgabe „Schlage den Ball von der Servicelinie über die Leine so ins gegnerische Feld, sodass Du einen Punkt erzielst“ unzählige Lösungsvariationen gibt.

Wie in jeder Sportart gibt es aber auch im Faustball eine Leittechnik, an der sich die Bewegung orientiert und mit deren Hilfe die oben genannte Aufgabenstellung mit höherer Wahrscheinlichkeit erfolgreich absolviert werden kann.

Die vorliegende Arbeit soll als Grundlagenarbeit verstanden werden, die kinematische Daten über und für den Faustballsport liefert. Bestätigung oder Widerlegung von Mutmaßungen soll gefunden werden, und durch eine wissenschaftliche Vorgehensweise soll eine fundierte Basis für weitere, speziellere Untersuchung gelegt werden.

Mit der Arbeit wird auch das Ziel verfolgt, bei der immer größer werdenden Faustballgemeinschaft eine Öffnung für Neues zu fördern, und die Aktiven dazu aufrütteln, sich professionell mit der Sportart Faustball zu beschäftigen.

Da Probanden verschiedener Leistungsklassen untersucht wurden, können hier folgende Hypothesen aufgestellt werden. Die Hypothesenbildung basierte auf vielerlei Fragen aus der Praxis, die sich aus Beobachtungen von Faustball-Servicespielern ergaben

Leistungsunterschiede

Hypothese 1:

Es besteht ein Unterschied in den Körperpunktgeschwindigkeiten und der Ballabfluggeschwindigkeit bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau. (Stand- und Sprungservice)

- H1a:
Es besteht ein Unterschied in der Schlagschärfe (= maximale Ballgeschwindigkeit) bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1b:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit des schlagseitigen Beckens bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1c:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit der schlagseitigen Schulter bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1d:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit des schlagseitigen Ellbogens bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1e:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit des schlagseitigen Handgelenks bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1f:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit der schlagseitigen Faust bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.

Hypothese 2:

Es besteht ein Unterschied in der technischen Ausführung bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.

Die technische Ausführung wird wie folgt operationalisiert:

- H2a:
Wurfseitenfreiheit (Winkel zwischen Schulterachse und Bodenebene)
- H2b:
Ellbogenwinkel zum Zeitpunkt des Balltreffens
- H2c:
Schwungbeineinsatz (größter Winkel zwischen Standbein- und Schwungbeinoberschenkel)
- H2d:
Oberkörper torsion (Winkel zwischen Schulter- und Beckenachse)
- H2e
Ballabschlaghöhen
- H2f
Entfernung zur Leine zum Zeitpunkt des Balltreffens (Balltreffpunkt über Servicelinie hinaus)

Biomechanische Prinzipien

Hypothese 3

Der Faustballschlag weist eine zeitliche Koordination der Einzelimpulse auf (d. h. die Geschwindigkeitsmaxima sind von distal nach proximal zeitlich zum Balltreffpunkt hin versetzt).

Unterschiede zwischen Stand- und Sprungservice:

Hypothese 4

Es besteht ein Unterschied in der Schlagschärfe (= maximale Ballgeschwindigkeit) zwischen einem Standservice und einem Sprungservice.

Hypothese 5

Es besteht ein Unterschied in der Abschlaghöhe bei einem Standservice und einem Sprungservice

Hypothese 6

Es besteht ein Unterschied in den beobachteten Körperwinkel bei einem Standservice und einem Sprungservice.

3. Methodik

3.1. Datenaufnahme

3.1.1. Probanden

Die Probanden dieser Untersuchung wurden gezielt ausgewählt und kamen aus verschiedenen, österreichischen Vereinen.

Zwei bzw. drei (beim Sprungservice wurde nur in Könnern und Anfänger unterschieden, da die Probandenanzahl für drei Gruppen nicht ausreichend war) Kategorien wurden erstellt, in die die Probanden laut Expertenurteil des Autors eingeteilt wurden.

Dabei diente die Zugehörigkeit zu einer Meisterschaftsmannschaft in der jeweiligen Liga nur zur Orientierung, da die Spieler nach dem jeweiligen Können eingestuft wurden:

Kategorie/Gruppe 1: Spieler auf Bundesliganiveau bzw. Nationalspieler

Kategorie/Gruppe 2: Spieler auf Landesliganiveau

Kategorie/Gruppe 3: Spieler auf Bezirksliganiveau

| <i>Gruppe 1 (n=4)</i> | <i>Mittelwert</i> | <i>Minimum</i> | <i>Maximum</i> | <i>Standardabweichung</i> |
|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| <i>Alter (Jahre)</i> | 23,3 | 21,0 | 26,0 | ± 1,9 |
| <i>Gewicht (kg)</i> | 88,8 | 80,0 | 97,0 | ± 6,1 |
| <i>Größe (m)</i> | 1,89 | 1,85 | 1,95 | ± 0,04 |

| <i>Gruppe 2 (n=8)</i> | | | | |
|-----------------------|------|------|------|--------|
| <i>Alter (Jahre)</i> | 24,6 | 16,0 | 41,0 | ± 7,6 |
| <i>Gewicht (kg)</i> | 77,9 | 68,0 | 96,0 | ± 8,2 |
| <i>Größe (m)</i> | 1,79 | 1,70 | 1,88 | ± 0,05 |

| <i>Gruppe 3 (n=7)</i> | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <i>Alter (Jahre)</i> | <i>19,1</i> | <i>15,0</i> | <i>26,0</i> | <i>± 3,7</i> |
| <i>Gewicht (kg)</i> | <i>72,3</i> | <i>65,0</i> | <i>90,0</i> | <i>± 10,3</i> |
| <i>Größe (m)</i> | <i>1,77</i> | <i>1,67</i> | <i>1,83</i> | <i>± 0,05</i> |

Tabelle 3.1.1-a: Probandendaten Standservice (Gruppen)

Beim Sprungservice diente zur Orientierung bei der Einteilung auch die Anwendung des Sprungservice in der Meisterschaft.

| <i>Gruppe 1 (n=5)</i> | <i>Mittelwert</i> | <i>Minimum</i> | <i>Maximum</i> | <i>Standardabweichung</i> |
|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| <i>Alter (Jahre)</i> | <i>23,0</i> | <i>16,0</i> | <i>30,0</i> | <i>± 4,7</i> |
| <i>Gewicht (kg)</i> | <i>90,0</i> | <i>79,0</i> | <i>97,0</i> | <i>± 6,5</i> |
| <i>Größe (m)</i> | <i>1,87</i> | <i>1,80</i> | <i>1,95</i> | <i>± 0,05</i> |

| <i>Gruppe 2 (n=4)</i> | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <i>Alter (Jahre)</i> | <i>18,3</i> | <i>15,0</i> | <i>22,0</i> | <i>± 3,3</i> |
| <i>Gewicht (kg)</i> | <i>67,3</i> | <i>65,0</i> | <i>72,0</i> | <i>± 2,9</i> |
| <i>Größe (m)</i> | <i>1,74</i> | <i>1,67</i> | <i>1,78</i> | <i>± 0,04</i> |

Tabelle 3.1.1-b: Probandendaten Sprungservice (Gruppen)

Alle Probanden befanden sich zum Zeitpunkt der Aufnahme in einer Wettkampfphase (laufende Meisterschaft) und waren verletzungsfrei.

3.1.2. Messgeräte, Utensilien und Software

Folgende Geräte und Software kamen bei der Untersuchung zum Einsatz:

- zwei digitale Videokameras der Marke JVC
 - Aufnahmefrequenz 30 Hz (softwareunterstützt auf 60 Hz erhöht)
 - Shutter: 1/500 s
- 3 Stative
- 2 Zusatzscheinwerfer
- Fotokamera zur Erzeugung eines Synchronisationsblitzes
- Digitale Fotokamera der Marke Traveller
- Kalibrierungskubus der Firma Peak des IFBB Sport- und Bewegungswissenschaft
- Faustbälle der Marke RGW (Wettkampfspielbälle, Balldruck: 0,65 bar)
- Faustballanlage Halle
- (Körper)Marker
- Matten, Kästen und andere Hilfsgeräte
- Software:
 - SIMI 5.0
 - SPSS 11.0
 - Excel 2002
 - Word 2002



Abbildung 3.1.2-a: Verwendete Kamera (links) und Arbeitsplatz SIMI (rechts)

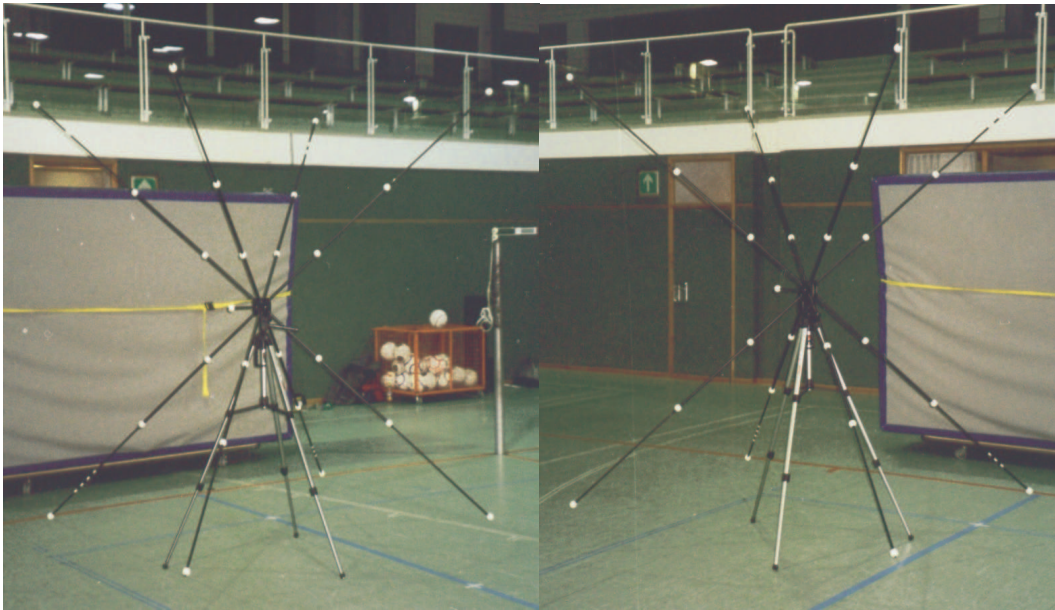


Abbildung 3.1.2-b: Kalibrierungskubus der Firma Peak

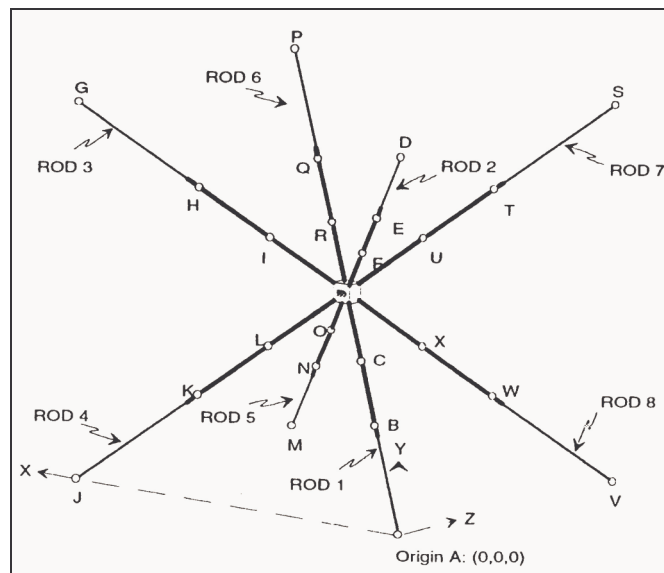


Abbildung 3.1.2-c: Kalibrierungskubus der Firma Peak

Die Körper- bzw. Kennpunkte wurden wie folgt ausgewählt und nach KOLLATH (1996) bestimmt. Auf eine Beklebung der Probanden wurde einerseits aus Untersuchungsökonomie verzichtet, andererseits würde durch die vielen Rotationen in der Bewegung und durch Haut- bzw. Muskelverschiebungen die Körpermarker nicht die erwünschten Kennpunkte bezeichnen.

Die Auswahl der Kennpunkte erfolgte nach unterschiedlichen Aspekten, sowie Beobachtungen aus der Praxis, und in Ahnlehnung an BAYER (1980) und WAGNER (2003). Aus diesen Kennpunkten wurde ein Ganzkörpermodell erstellt.

| <i>Kennpunkt</i> | | <i>Lokalisation</i> |
|-------------------------|------------------------|--|
| <i>Kopf</i> | <i>zentral</i> | |
| <i>Schultergelenk</i> | <i>li./re.</i> | <i>4,9 cm distal der Oberkante der Mitte des Acromion</i> |
| <i>Ellbogen</i> | <i>li./re.</i> | <i>1,1 cm proximal vom äußeren Ellbogengelenksspalt</i> |
| <i>Handgelenk</i> | <i>li./re.</i> | <i>0,6 cm distal der Spitze des Griffelfortsatzes des Radius</i> |
| <i>Faust</i> | <i>li./re.</i> | |
| <i>Darmbeinkamm</i> | <i>li./re.</i> | <i>= Hüfte</i> |
| <i>Großer Rollhügel</i> | <i>li./re.</i> | |
| <i>Kniegelenk</i> | <i>li./re.</i> | <i>2,6 cm proximal des äußeren Kniegelenkspalts</i> |
| <i>Sprunggelenk</i> | <i>li./re.</i> | <i>1,3 cm distal von der Spitze des Malleolus medialis</i> |
| <i>Ferse</i> | <i>li./re.</i> | <i>Fersenbein</i> |
| <i>Zehe</i> | <i>li./re.</i> | <i>Großzehenspitze</i> |
| <i>Faustball</i> | <i>Zentral</i> | <i>Geometrischer Mittelpunkt</i> |
| <i>3m-Linie</i> | <i>Anfang Ende</i> | <i>Selbstdefinierte Marker an der 3m-Linie</i> |

Tabelle 3.1.2-a: Kennpunkte und ihre Lokalisation am Körper

Die Kennpunkte wurden den jeweiligen Körperteilen entsprechend verbunden

3.1.3. Untersuchungsaufbau

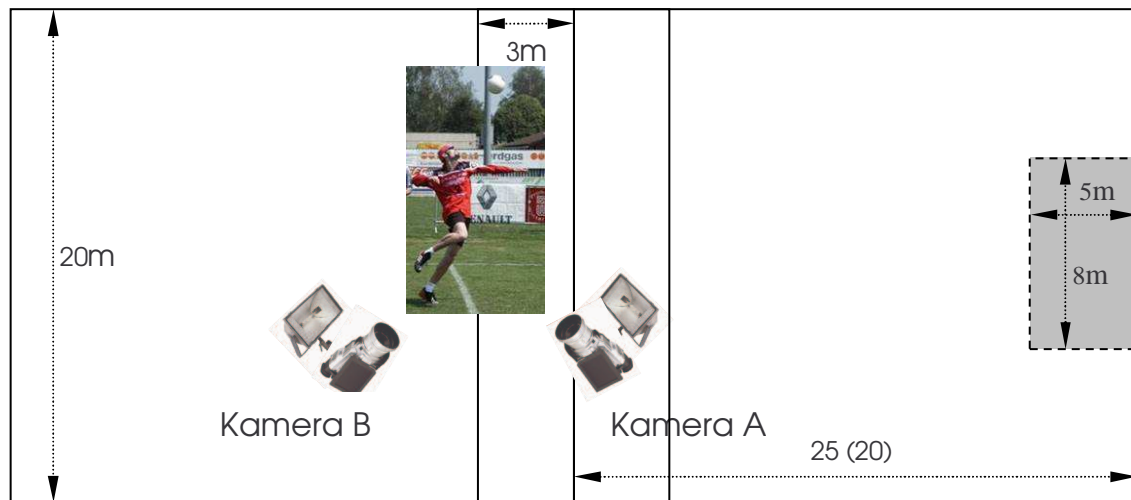


Abbildung 3.1.3-a: Schema des Versuchsaufbaus

Zwei Kameras wurden zur Aufnahme der Bewegung positioniert, wobei die erste Kamera (A) die Bewegung vom Probanden aus gesehen von rechts vorne aufzeichnete, die zweite Kamera (B) von rechts hinten. Der Grund für diese Aufstellung ist der, dass zwischen den optischen Achsen der Kameras ein Winkel zwischen 60 und 120 Grad gewählt werden muss, und dass es von diesen Blickwinkeln aus weniger Über- bzw. Verdeckungen von körperrelevanten Punkten gibt. Dies ist für die Auswertung von entscheidender Bedeutung.

Zusätzlich zum Hallenlicht wurden noch zwei Scheinwerfer am Kamerastandort eingesetzt, um beim verwendeten Shutter von 1/500 s noch ein ausreichend scharfes und helles Bild zu erreichen.

Die Faustballleine wurde regelkonform gespannt, und ein Zielfeld wie in Abbildung 3.4-a wurde zur Orientierung für die Spieler markiert.

Der jeweilige Aufbau wurde mit Bildern festgehalten, die in den nächsten drei Abbildungen zu sehen sind.

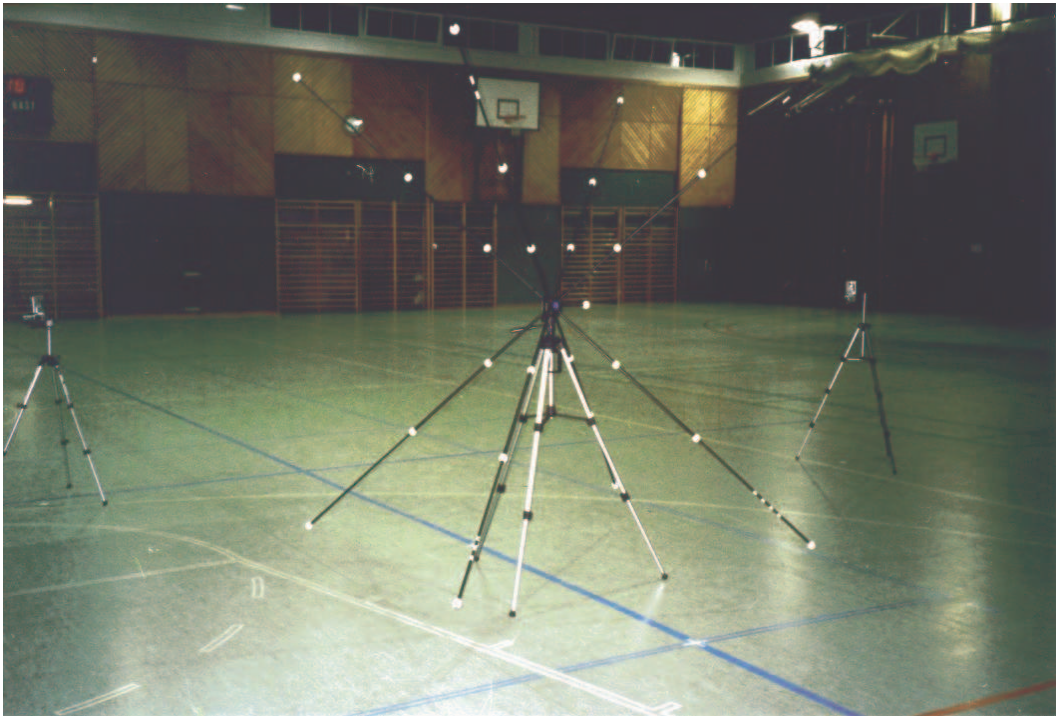


Abbildung 3.1.3-a: Versuchsaufbau in Laakirchen (27. Jänner 2004)



Abbildung 3.1.3-b: Versuchsaufbau in Urfahr (14. Mai 2004)

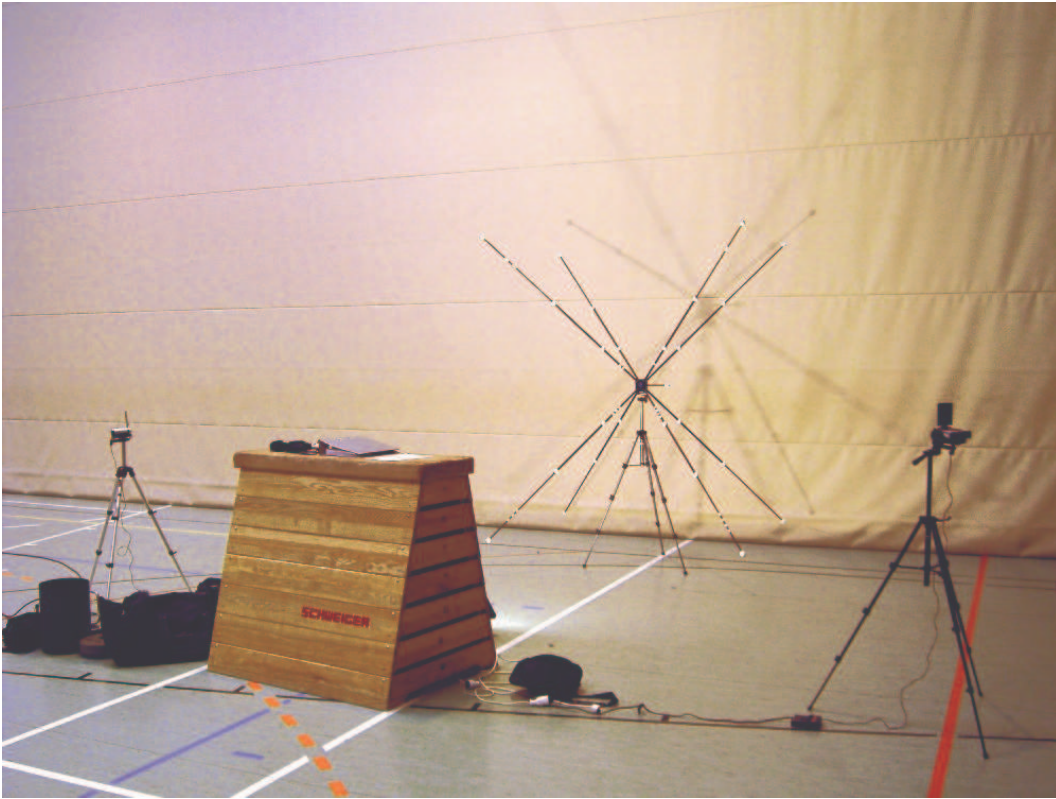


Abbildung 3.1.3-c: Versuchsaufbau in Linz/Gugl (2. Juni 2004)

3.1.4. Untersuchungsdurchführung

Der erste Termin der Datenaufnahme fand am 27. Jänner 2004 in der Sporthalle Laakirchen statt, der zweite Block am 14. Mai 2004 in der Sporthalle der Pädagogischen Akademie in Linz. Der dritte Block wurde im Rahmen der sportmotorischen Tests der österreichischen Faustballnationalmannschaften am 2. Juni 2004 in der Landessporthalle Linz (Gugl) durchgeführt.

Vor den Aufnahmen wurde der Kalibrierungskubus mit der Wasserwaage eingewogen und ausgerichtet, sowie die Kamerapositionen vermessen. Die Kalibrierungsbilder wurden aufgezeichnet und der Kubus entfernt.

Nach einem individuellen, wettkampfspezifischen Aufwärmen und ein paar Probeversuchen wurden die Aufschläge an der 3m-Linie von zwei Videokameras, die im Winkel von 90 Grad zueinander standen, aufgezeichnet. Die Anweisung lautete: „Mache ein den Faustballregeln konformes, langes, druckvolles Service auf die Grundlinie!“

Die Probanden hatten genügend Zeit, um nach einem Synchronisationsblitz, der vor jedem Versuch mithilfe einer Fotokamera erzeugt wurde, das Service auszuführen.

Nach der Serie der Standservice (8-10 Schläge pro Proband) wurde nach einer erneuten Kalibrierungsaufnahme des Kubus der Untersuchungsaufbau an die geänderten Rahmenbedingungen beim Sprungservice (Anlauf, Abschlagdistanz und -höhe,...) angepasst (Kamerapositionen verändert, Kalibrierungsbilder gefilmt,...). Danach wurde die Serie der Sprungservice aufgezeichnet (8-10 Versuche pro Proband) und zum Abschluss wieder eine neuerliche Kalibrierungsaufnahme erstellt.

3.2. Datenauswertung

3.2.1. Digitalisierung, Zeitversatz t_0 und 3D-Koordinatenbestimmung

Die Datenauswertung der aufgezeichneten Videos erfolgte mittels des EDV-Programmes SIMI 5.0. Vom jeweiligen Probanden wurde jener Versuch ausgewählt, der ein regelkonformes und technisch einwandfreies Service darstellte. Bei den Sprungservice wurden auch Versuche zur Auswertung herangezogen, die nicht zur Gänze regelkonform waren, wie zum Beispiel Übertritte oder knapp ins „Aus“ geschlagene Bälle, da sonst von einigen Probanden kein Datenmaterial zur Verfügung gestanden hätte

Zur Kalibrierung des Aktionsraumes wurden in der vorliegenden Arbeit alle 25 Koordinaten des Peak-Kubus verwendet²², wobei die Kalibrierung für die jeweiligen fünf Aufbauten (dreimal Stand- und zweimal Sprungservice) nur einmal durchgeführt wurde, und dann für die anderen Versuche der gleichen Serie diese Kalibrierung verwendet wurde, um die exakt gleiche Kalibrierung jedes einzelnen Versuches zu gewährleisten.

Nachdem der Aktionsraum kalibriert war, wurden die Körperkennpunkte bzw. sonstige Kennpunkte (vgl. dazu Tabelle 3.1.2-a: Kennpunkte und ihre Lokalisation am Körper) für jedes Video manuell abgetastet. Der zeitlich erfasste Abschnitt reichte vom Verlassen des Balles vom Handteller bis zum ersten Bodenkontakt des Schwungbeines nach dem Balltreffen.

Die somit gewonnenen Bildkoordinaten wurden ohne Glättung oder Filterung für die 3D-Berechnung verwendet

²² Die Koordinaten des verwendeten Kalibrierungs-Kubus sind im Anhang zu finden.

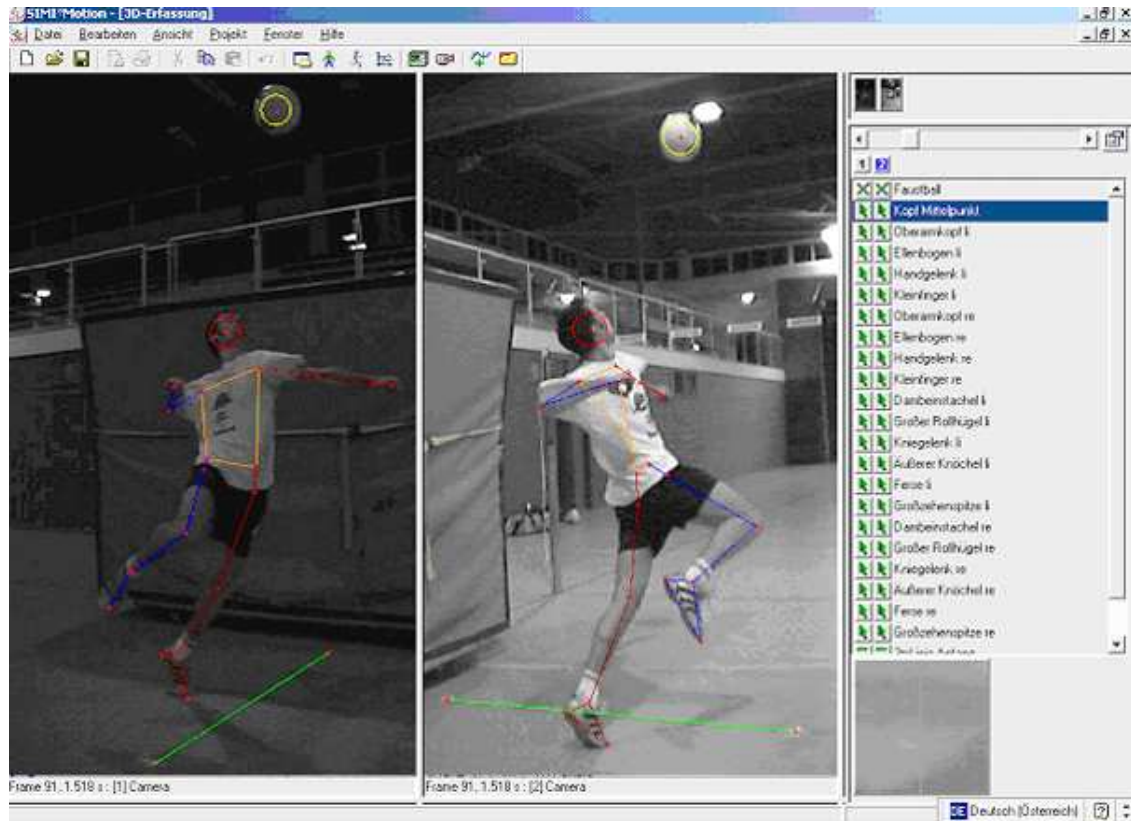


Abbildung 3.2.1-a: Arbeitsoberfläche von SIMI 5.0 (Digitalisierung)

Um die exakte Synchronisation der Kameras zu erzwingen und jenes Δt zu berechnen, das die Differenz zwischen den beiden Aufnahmen angibt, wurde das Prellen des Balles bzw. der Balltreffpunkt verwendet. Da die Kameras nicht synchron aufnehmen und den genauen Zeitpunkt des Ballaufpralls (im Allgemeinen) nicht exakt aufzeichnen, wurden die beiden Bilder vor bzw. nach dem Aufprall - mit Zeitcode versehen - verwendet, um mit Hilfe einer linearen Interpolation den exakten Zeitpunkt rechnerisch zu bestimmen. Folgendes Zeit-Weg-Diagramm soll die Rechnung verdeutlichen:

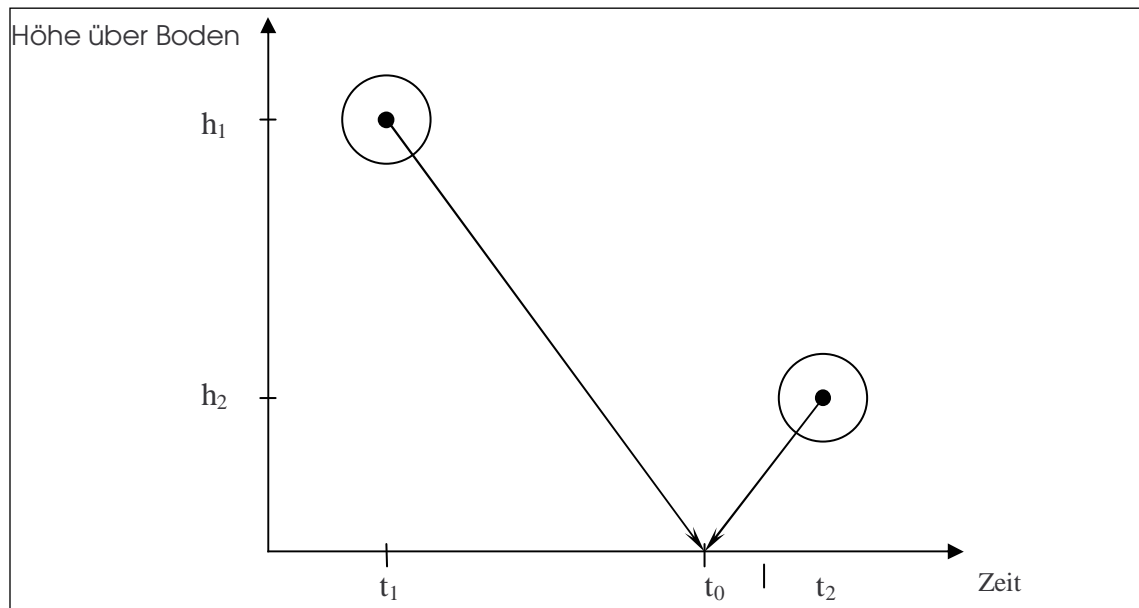


Abbildung 3.2.1-b: lineare Interpolation zur Berechnung des Aufprallzeitpunkts

Die Bestimmung des genauen Treffpunkts zum Zeitpunkt t_0 wurde mit Hilfe folgender leicht nachvollziehbarer Beziehung aufgestellt:

$$t_0 = \frac{t_1 \cdot h_2 - t_2 \cdot h_1}{h_2 - h_1}$$

Die Schwierigkeit bestand darin, die beiden Höhen bzw. Distanzen aus den Videos zu bestimmen.

Für beide Kameras wurde diese Ausgleichsrechnung mehrmals an verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt und Δt wurde als Mittelwert der mehrmaligen Berechnung festgelegt. Diese Vorgangsweise ist deswegen möglich, da die Kameras zu keiner Zeit der Aufnahme ausgeschaltet wurden und somit Δt während der gesamten Aufnahme unverändert blieb.

Die lineare Ausgleichsrechnung stellte zwar nur eine Näherung dar, da der Ball sich vor und nach dem Aufprall keineswegs linear bewegt.

Somit ergaben sich folgende Δt , die für die Verrechnung der dreidimensionalen Daten benutzt wurden (Zeitverschiebung einer Datenreihe):

| Datum | Ort | Zeitversatz Δt (s) |
|--------------------------------|--------------|----------------------------|
| 27. Jänner 2004 | Laakirchen | 0,005 |
| 14. Mai 2004 (Standservice) | Linz (PädAk) | 0,002 |

| | | |
|---------------------------------|--------------|-------|
| 14. Mai 2004 (Sprungservice) | Linz (PädAk) | 0,002 |
| 2. Juni 2004 (Standservice) | Linz (Gugl) | 0,004 |
| 2. Juni 2004 (Sprungservice) | Linz (Gugl) | 0,001 |

Tabelle 3.2.1-a: rechnerisch bestimmter Zeitversatz Δt der Kameras bei der Datenaufnahme

Nach der Berechnung der 3D-Ortskoordinaten der Kennpunkte, wurde das Koordinatensystem noch so gedreht und verschoben, sodass sich der Ursprung am markierten 3m-Linienanfang befand. Da der Punkt A des Kalibrierungskubus als relativer Nullpunkt für die weitere Untersuchung nicht sinnvoll war, wurde der Bezug zum globalen Koordinatensystem über den definierten Kennpunkt „3m-Linie-Anfang“ hergestellt. Auch eine Drehung des Koordinatensystems wurde vorgenommen, um die x-Achse in die 3m-Linie verlegen zu können, sodass die y-Achse der Schlagrichtung und die z-Achse der Raumkoordinate nach oben entsprach.

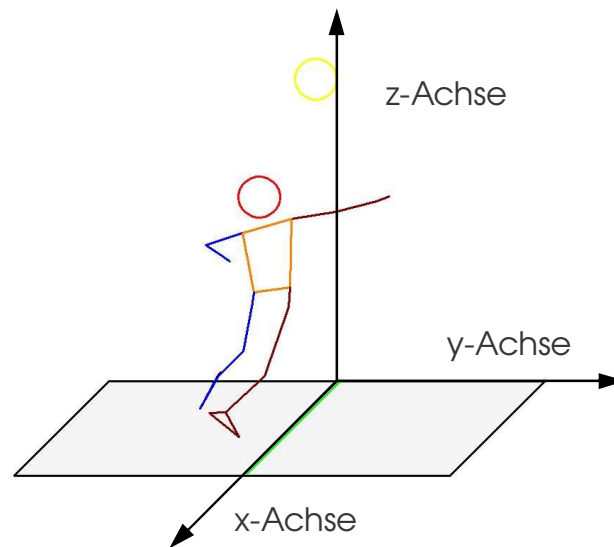


Abbildung 3.2.1-c: definiertes Koordinatensystem

3.2.2. Untersuchungsparameter

Aus den so gewonnenen 3D-Daten wurden folgende Parameter erhoben:

3.2.2.1. Geschwindigkeit

Für die Berechnung der Geschwindigkeit der einzelnen Körperkennpunkte wurde die Funktion „Bahngeschwindigkeit“ verwendet. Der Grund hierfür ist, dass sich die beobachteten (Körper)Kennpunkte sehr stark im dreidimensionalen Raum bewegen, obwohl z. B. für die Abfluggeschwindigkeit des Balles nur die y-Komponente der Faust von Bedeutung ist.

Folgende (Körper)Kennpunktsgeschwindigkeiten wurden ermittelt:

- Schlagseitige Hüfte (Darmbeinstachel)
- Schlagseitige Schulter (Oberarmkopf)
- Schlagseitige Ellbogen
- Schlagseitige Handgelenk
- Schlagseitige Faust
- Faustball (Zentrum)

Für die statistische Auswertung wurden jeweils die Geschwindigkeits-Maxima der jeweiligen Kennpunkte herangezogen.

3.2.2.2. Winkel

Die zu untersuchenden Körperwinkel ergaben sich aus Beobachtungen von guten und schlechten Spielern in der Praxis, sowie daraus resultierenden Vermutungen (siehe Hypothesen).

- Schulterachse
- Beckenachse
- Vorlagewinkel
- Ellbogenwinkel
- Kniewinkel
- Torsion

- Abspreizwinkel
- Bogenspannung

Die Winkel der „Schulterachse“ (Verbindung Schulter rechts – Schulter links) und „Beckenachse“ (Darmbeinkamm rechts – Darmbeinkamm links) wurden über die 3D-Winkel-Funktion in SIMI bestimmt. Sie sind als Winkel zwischen der Schulter- bzw. Beckenachse und der Bodenebene definiert.

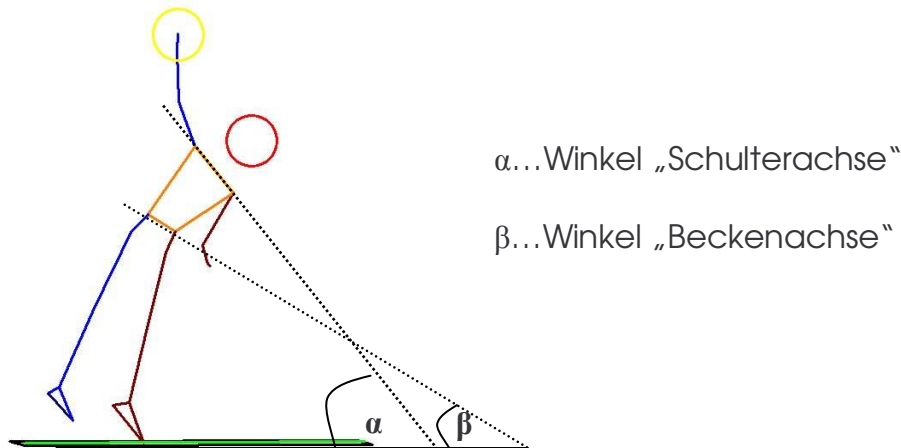


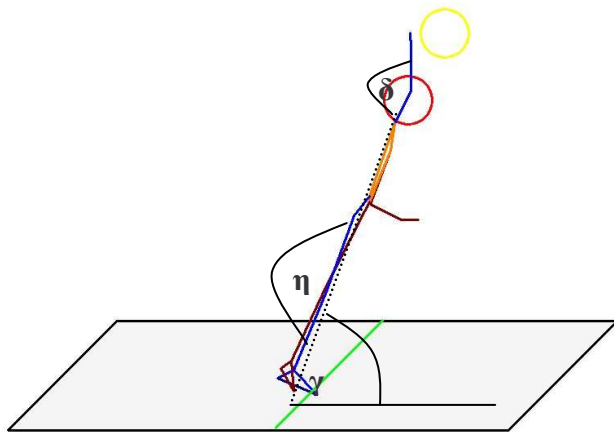
Abbildung 3.2.2-a: Darstellung der Winkel „Schulterachse“ und „Beckenachse“

Der Wert zum Zeitpunkt des Balltreffens wurde für die statistische Auswertung dieser Parameter herangezogen.

Ebenso wurde der Parameter „Vorlagewinkel“ (Schulter rechts – Darmbeinkamm rechts) bestimmt.

Der „Ellbogenwinkel“ wurde als 3D-Winkel zwischen rechtem Handgelenk, Ellbogen und rechter Schulter definiert und zum Zeitpunkt des Balltreffens gewertet. Zum gleichen Zeitpunkt wurde der Wert für den „Kniewinkel“ – definiert als Winkel zwischen Großem Rollhügel, Kniegelenk und äußerem Sprunggelenk – bestimmt.²³

²³ Beim Sprungservice entfällt die Auswertung des Kniewinkels, da er nicht leistungsrelevant ist.



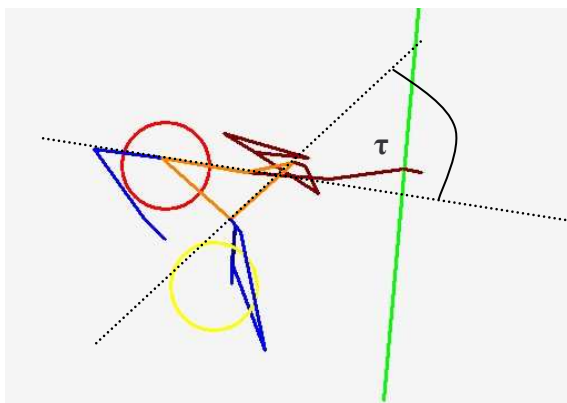
γ ...Vorlagenwinkel

δ ...Ellbogenwinkel

η ...Kniewinkel

Abbildung 3.2.2-b: Darstellung des „Vorlagenwinkels“ und „Ellbogenwinkels“

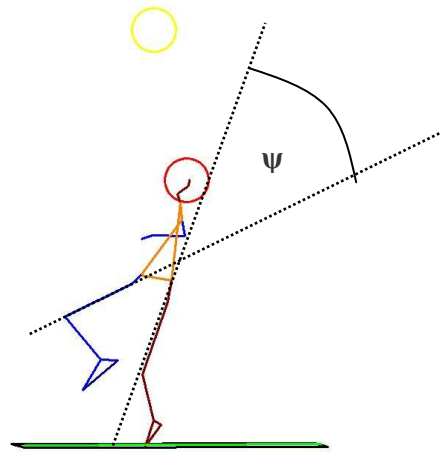
Ebenso verhält es sich mit der „Torsion“, womit die Oberkörperverwindung zwischen Schulter- und Beckenachse gemeint ist. Wobei es sich hier um jenen Winkel handelt; der durch die Differenz der Projektion von Schulter- und Beckenachse auf den Boden bestimmt wurde. So ergibt die „Torsion“ den Winkel zwischen Schulter- und Beckenachse bei Betrachtung der Probanden von kranial entlang der z-Achse.



τ ...Torsion

Abbildung 3.2.2-c: Darstellung des Winkels „Torsion“

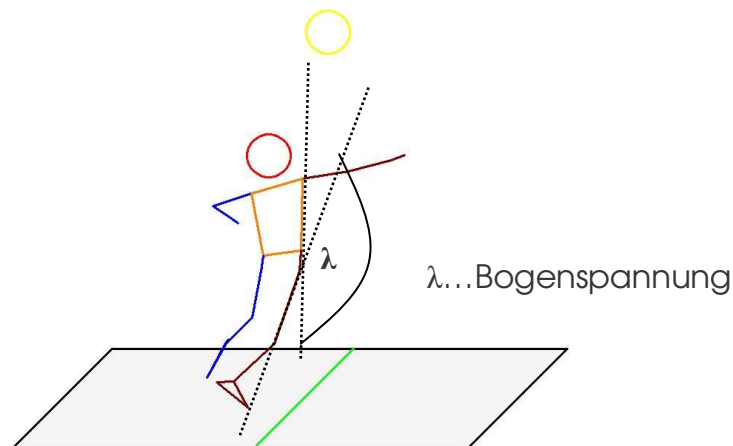
Unter „Abspreizwinkel“ wird der Winkel zwischen Schwungbein- und Standbein-Oberschenkel verstanden (Rollhügel – Kniegelenk). Dieser Parameter soll den Schwungbeineinsatz charakterisieren, und so wurden als Werte desselben die Maxima in der Bewegung herangezogen.



ψ ...Abspreizwinkel

Abbildung 3.2.2-d: Darstellung des Abspreizwinkels

Der Parameter „Bogenspannung“ wurde als Winkel zwischen linker Oberkörperseite (Schulter – Hüfte) und linkem Oberschenkel (Rollhügel – Knie) definiert und soll die Körperspannung operationalisieren. Für die statistische Auswertung wurde das Minimum im Verlauf der Bewegung verwendet.



λ ...Bogenspannung

Abbildung 3.2.2-e: Darstellung des Winkels „Bogenspannung“

3.2.2.3. Ballkoordinaten

Zwei Parameter des Faustballes wurden für die Auswertung herangezogen:

- Leinenüberhöhung
- 3m-Überreichung

Mit der „Leinenüberhöhung“ ist diejenige vertikale Distanz gemeint, wo sich der Ballschwerpunkt über der 2m-Leine zum Zeitpunkt des Balltreffens befindet

(z-Koordinate weniger 2m). Die „3m-Überreichung“ gibt die horizontale Entfernung von den 3m-Linie zum Schwerpunkt des Balles an (y-Koordinate).

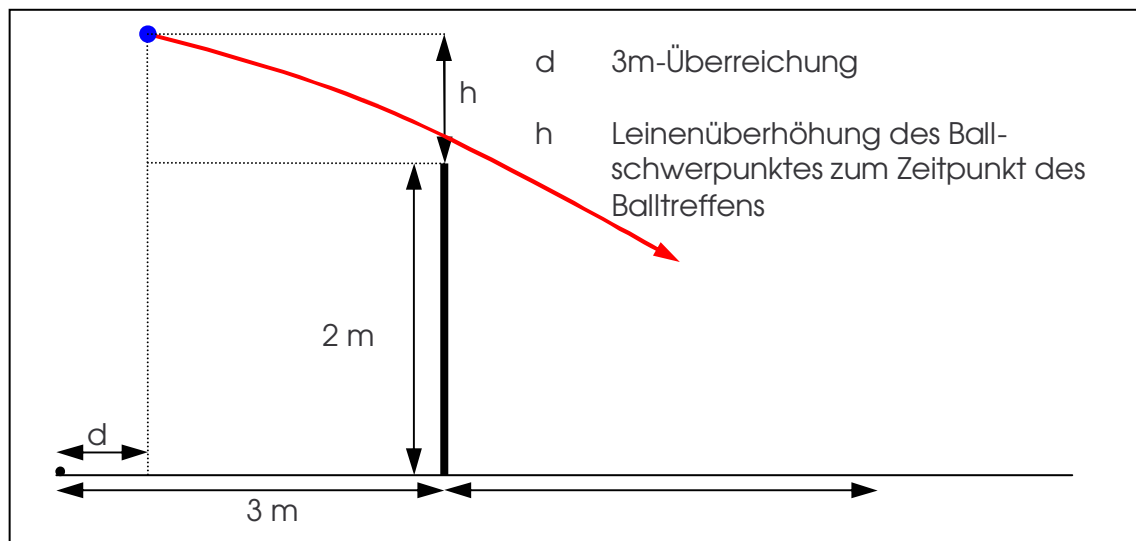


Abbildung 3.2.2-f: Darstellung der Parameter „Leinenüberhöhung“ und „3m-Überreichung“

3.2.2.4. Effektive Schlagmasse, Körperschwerpunkt und Bahnkrümmung

Wie in Kapitel 1.4.1 „Theoretischer/physikalischer Hintergrund“ schon erwähnt kann bei gegebener Faustgeschwindigkeit und resultierender Ballgeschwindigkeit aus der Formel für den teilelastischen Stoß

$$v_B = \frac{m_B \cdot v_{0,B} + m_F \cdot v_F - (v_{0,B} - v_F) \cdot m_F \cdot e}{m_B + m_F}$$

| | |
|-----------|--|
| v_B | Abfluggeschwindigkeit des Balles |
| m_B | Masse des Balles (Sollwert zwischen 350 g und 380 g) |
| $v_{0,B}$ | Anfangsgeschwindigkeit des Balles zum Zeitpunkt des Treffens |
| m_F | Masse Faust |
| v_F | Geschwindigkeit der Faust zum Zeitpunkt des Treffens |
| e | Elastizitätskoeffizient |

die effektive Schlagmasse berechnet werden. Sie kann als Maß für die Güte eines Schlages verwendet werden, denn wenn ein Spieler (bei gleicher Geschwindigkeit) mehr Masse zum Zeitpunkt des Balltreffens in den Schlag legen kann, dann wird auch dem Ball ein größerer Impuls erteilt.

Aus den 3D-Daten wurde mithilfe des Programms SIMI 5.0 der Körperschwerpunkt (nach HANAVAN) bestimmt.

Auch die Bahnkrümmung der Faust wurde exemplarisch ausgewertet, wobei die Krümmung wie folgt definiert ist:

DEF: Sei $x(s)$ eine Funktion eine Raum-Kurve in Parameterdarstellung (nach ihrer Bogenlänge parametrisiert $\leftrightarrow |x'(s)| \equiv 1$)

Der Wert der Funktion $\kappa(s) := |x''(s)|$ heißt **Krümmung** der Kurve im Punkt $x(s)$.

Die Einheit der Krümmung ist 1/„Länge“, also m^{-1} .

Mit der Beziehung

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad (\text{wobei } \rho \text{ der Radius des Schmiegekreises})$$

kann die Krümmung einer Kurve durch deren Schmiegekreis illustriert werden.

Ein Krümmungs-Wert von $1 m^{-1}$ bedeutet also, dass sich ein Körper auf einem Kreis mit Radius 1 m bewegen würde.

3.2.3. Fehlerabschätzung/Reliabilitätsprüfung

Um den Fehler bei der Digitalisierung abschätzen zu können und die Reliabilität der gewonnenen Daten zu prüfen, wurde ein Versuch eines Probanden an verschiedenen Tagen mehrfach (5x) digitalisiert und die untersuchten Parameter ausgewertet. Dabei ergaben sich folgende Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen und ein 95%-Konfidenzintervall, das wie folgt bestimmt wurde:

$$c_{0,95} = \pm 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Das bedeutet, dass $c_{0,95}$ zum Mittelwert jeweils addiert bzw. subtrahiert werden muss, um ein das 95%-Konfidenzintervall zu bekommen. So liegt der „wahre“ Wert der Faustballgeschwindigkeit mit 95%-Wahrscheinlichkeit zwischen 28,8 m/s und 30,4 m/s.

| <i>Mehrfachdigitalisierung (n = 5)</i> | <i>Mittelwert</i> | <i>Minimum</i> | <i>Maximum</i> | <i>Standard- abweichung</i> | |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------|
| <i>Bahngeschwindigkeiten</i> | \bar{v} (m/s) | v_{\min} (m/s) | v_{\max} (m/s) | σ (m/s) | $c_{0,95}$ |
| Hüfte rechts | 3,9 | 3,8 | 4,0 | 0,1 | ± 0,09 |
| Schulter rechts | 5,8 | 5,6 | 6,0 | 0,2 | ± 0,15 |
| Ellbogen rechts | 12,8 | 12,5 | 13,2 | 0,3 | ± 0,24 |
| Handgelenk rechts | 17,5 | 17,1 | 18,0 | 0,4 | ± 0,36 |
| Faust rechts | 20,5 | 19,8 | 21,3 | 0,6 | ± 0,51 |
| Faustball | 29,6 | 28,3 | 30,8 | 0,9 | ± 0,82 |
| <i>Winkel</i> | $\bar{\alpha}$ (°) | α_{\min} (°) | α_{\max} (°) | σ (°) | $c_{0,95}$ |
| Abspreizwinkel | 64,0 | 61,0 | 67,0 | 2,2 | ± 1,96 |
| Schulterachse | 40,8 | 39,0 | 43,0 | 1,5 | ± 1,30 |
| Beckenachse | 30,0 | 29,0 | 31,0 | 0,7 | ± 0,62 |
| Torsion | 62,6 | 61,0 | 64,0 | 1,1 | ± 1,00 |
| Ellbogenwinkel | 174,2 | 171,0 | 178,0 | 2,9 | ± 2,51 |
| Kniewinkel | 177,6 | 175,0 | 179,0 | 1,5 | ± 1,33 |

Abbildung 3.2.3-a: Ergebnisse der Mehrfachdigitalisierung zur Fehlerabschätzung (Reliabilität)

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass sich die untersuchten Parameter geringfügig unterscheiden. Die größten Differenzen treten (erwartungsgemäß) bei den schnellsten Körperteilen auf, da die zurückgelegte Wegstrecke zwischen zwei Bildern vor dem Balltreffer bis zu 30 cm beträgt, sowie beim Parameter „Abspreizwinkel“. Als Ursache für letzteres ist wahrscheinlich eine ungenaue Abtastung des Körperkennpunkts „Großer Rollhügel“ zu sehen.

3.2.4. Statistische Auswertung

Die deskriptive Statistik wurde mittels Excel 2002 erstellt. Es werden bei den Parametern jeweils Mittelwert, Minimum, Maximum und Standardabweichung angegeben. In den Abbildungen wurde immer der Mittelwert mit der dazugehörigen Standardabweichung aufgetragen.

Die schließende Statistik wurde mit Hilfe von Excel 2002 und SPSS 11.0 bewerkstelligt.

Die Daten wurden aufgrund der kleinen Stichprobenanzahl einem Kolmogorov-Smirnoff-Test zur Überprüfung auf Normalverteilung unterzogen, der durchwegs die Normalverteilungsannahme bestätigt.

Die Signifikanzprüfung beim Vergleich der drei Standservice-Gruppen erfolgte über eine einfaktorielle Faktorenanalyse (Faktor: Gruppe) mit der Auswertesoftware SPSS 11.0. Die post-hoc-Tests wurden mit einem Tamhane-Test durchgeführt, um die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen auch statistisch festlegen zu können.

Bei den Sprungservicegruppen wurde ein einseitiger, unabhängiger T-Test verwendet (Annahme: verschiedene Varianzen).

Der Vergleich der Parameter zwischen den beiden Techniken „Standservice“ und „Sprungservice“ erfolgte mittels eines zweiseitigen, unabhängigen t-Tests (Annahme: verschiedene Varianzen).

Die Korrelation zweier Merkmale erfolgte mittels PEARSON'schen Korrelationskoeffizienten, wobei die Signifikanzen sich auf einen zweiseitigen Test bezogen.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde für signifikante Aussagen $\alpha = 0,05$, für hochsignifikante Aussagen $\alpha = 0,01$, sowie $\alpha = 0,001$ für höchstsignifikante Aussagen definiert.

4. Ergebnisse

4.1. *Bilder und Animationen*

Ein klarer Vorteil von dreidimensionalen kinematischen Analysen besteht darin, für einen vollständig digitalisierten Versuch ein komplettes, dreidimensionales Kinegramm der Bewegung zu erhalten, das von verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden kann. Die Möglichkeit, auch nicht alltägliche Ansichten eines Faustballservice darzustellen, fasziniert ungemein und bringt einige Aufschlüsse. So können bereits aus den Abbildungen bzw. Animationen wichtige Aspekte vom geschulten Auge herausgefiltert werden.

In einer schriftlichen Arbeit können leider keine Animationen dargestellt werden. Es werden hier nur Kinegramme und Bilder dargestellt.

Serienbilder aus den Videoaufnahmen stehen am Anfang der jeweiligen Darstellung, gefolgt von Kinegrammen²⁴ in den wichtigsten Ansichten (Sagittalsicht, Frontalsicht, Sicht von oben). Weiters wurden spezielle Funktionen des Programms SIMI 5.0 genutzt, um die Wegverläufe etwas zu verdeutlichen.

Zu bemerken ist, dass der Oberkörper in Orange gehalten ist, der gelbe Kreis stellt den Faustball dar, der rote Kreis symbolisiert den Kopf. Die Schwungkörperseite ist weinrot, die schlagende Körperseite blau eingefärbt. Der Abschnitt der Servicelinie ist hellgrün markiert worden.

4.1.1. **Standservice**

Für die optische Darstellung des Standservice wurden die Aufnahmen des Probanden 1 mit der größten Ballgeschwindigkeit gewählt. Auch die Kinegramme sind von diesem Probanden abgeleitet.

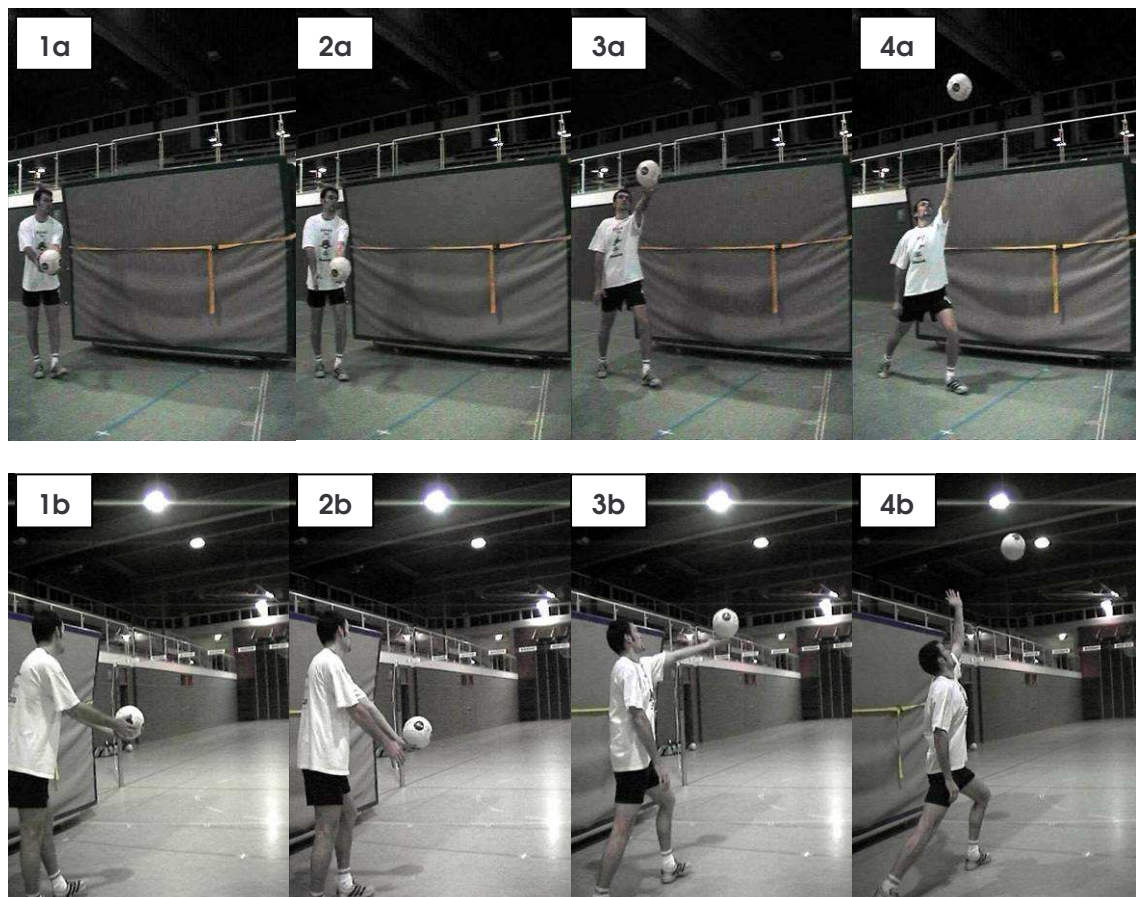
²⁴ Die Abbildungen sind alle mit dem Programm SIMI 5.0 erstellt worden.

Zuerst werden Serienbilder der beiden Videoaufnahmen dargestellt. Die erste Zeile eines Abschnitts stellt die Sicht von Kamera A dar, die zweite Zeile die von Kamera B.

Zur besseren Darstellung und zur Vorstellung der Bewegung wurden zwölf Bilder mit folgenden wichtigen Bildern als Knotenpunkte ausgewählt:

| <i>Bild Nr.</i> | <i>Bilder vor Treffpunkt (Zeit)</i> | <i>Beschreibung</i> |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 2 | -39 (-0,65) | KSP nach vorne |
| 3 | -32 (-0,53) | Abwurf |
| 5 | -19 (-0,32) | Höchster Ballpunkt |
| 6 | -11 (-0,18) | Maximaler Abspreizwinkel |
| 11 | 0 (0,00) | Treffpunkt Ball |
| 12 | +12 (0,20) | Bodenkontakt Schwungbein |

Tabelle 4.1.1-a: Knotenpunkte mit Bild- und Zeitcode der Standservicebewegung



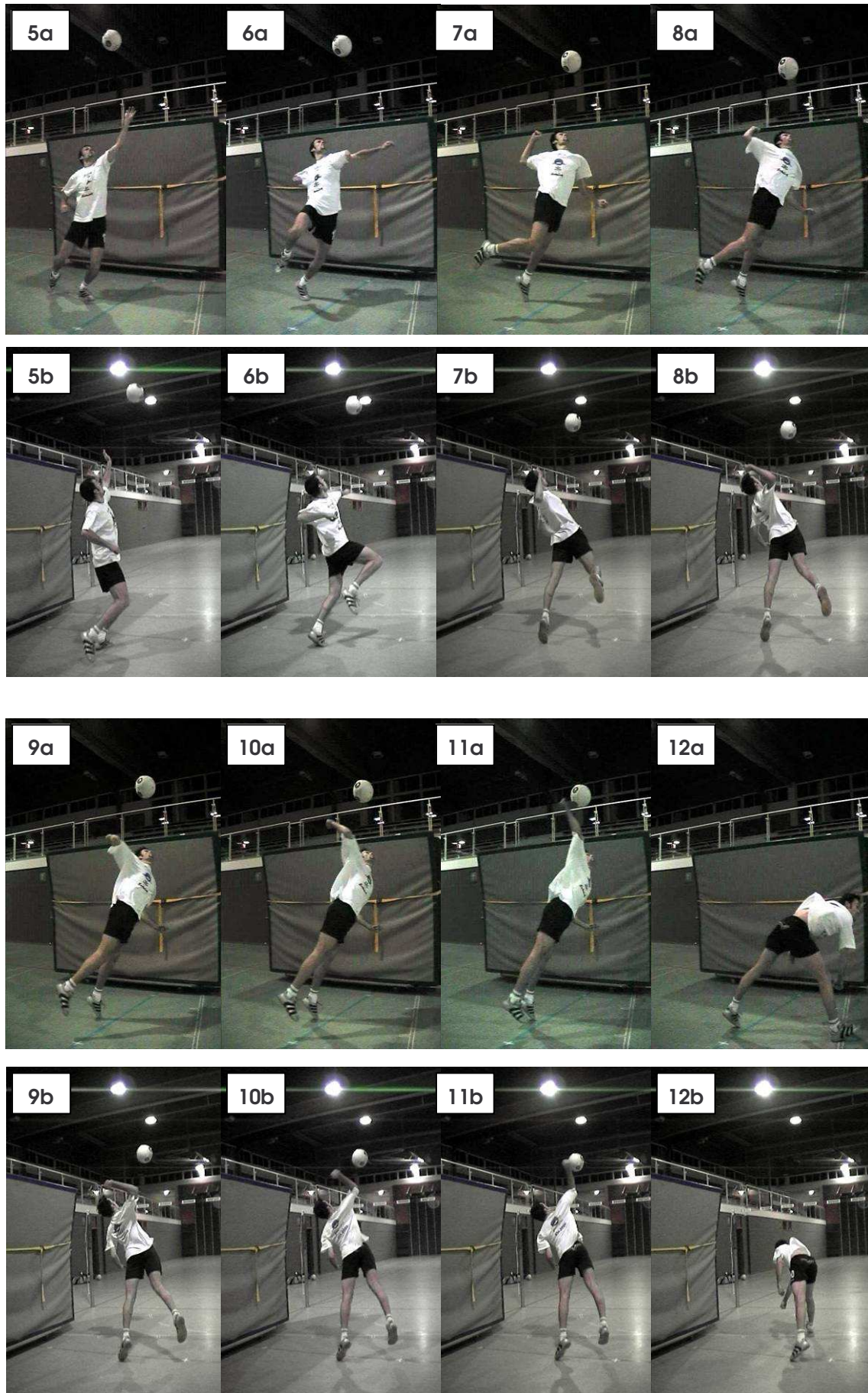


Abbildung 4.1.1-a: Bilderserie Standservice (oben: Video A – unten: Video B)

Es folgen die Kinegramme der Standservice-Bewegung (eingangs erwähnte Knotenpunkt-Bilder). Links die Sagittalsicht, in der Mitte die Ansicht von vorne und rechts die Sicht von oben.

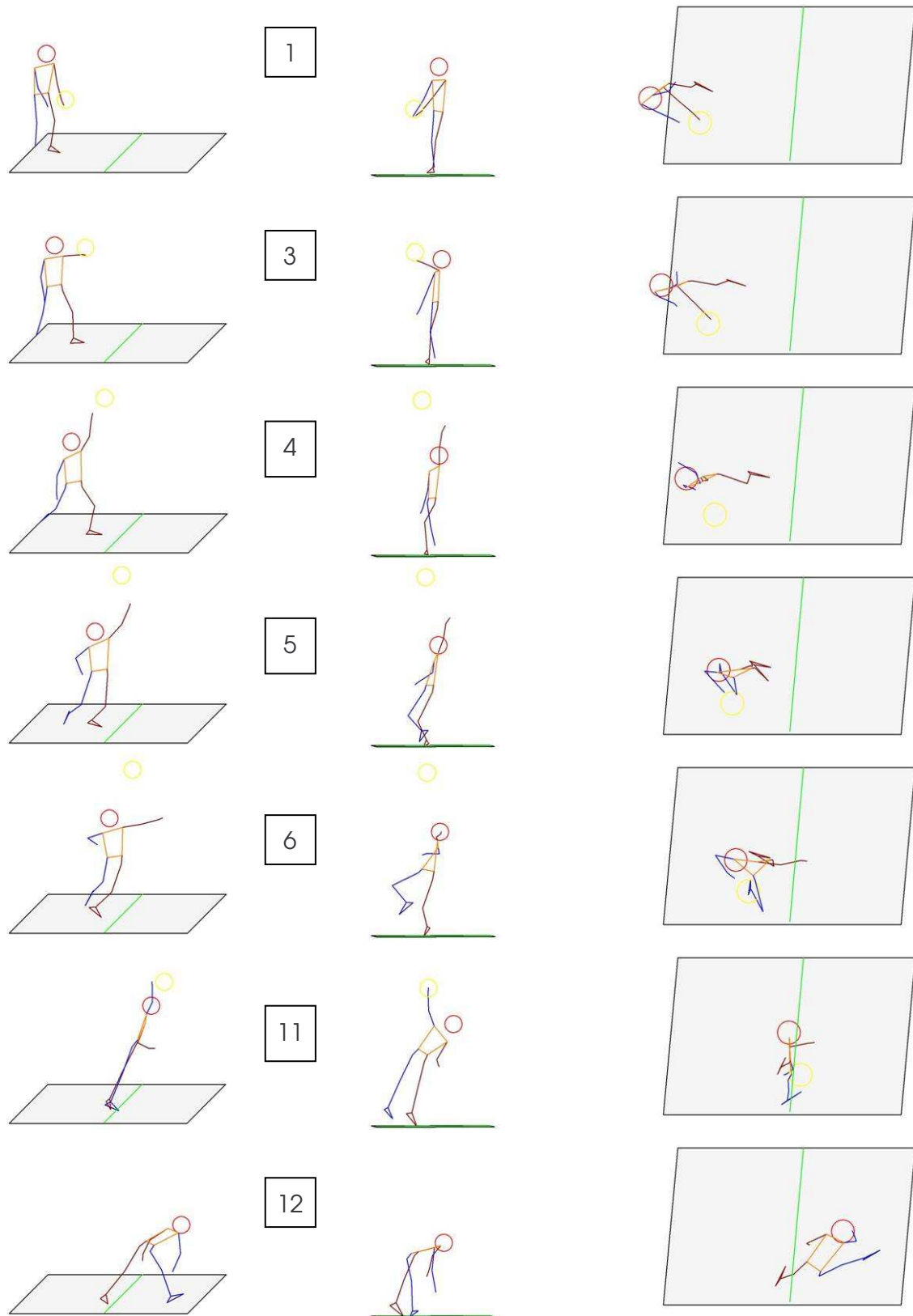


Abbildung 4.1.1-b: Kinegramme Standservice
(Sagittalsicht, Frontalsicht, Sicht von oben)

Deutlich ist einerseits im Bild 6 eine starke Vorlage des Körpers zum Zeitpunkt des Balltreffens, andererseits auch ein Ausweichen des Oberkörpers zur Seite, um die Schlagschulter nach oben zu bringen (=Wurfseitenfreiheit), zu sehen. Auf Bild 5 sieht man in der Sicht von oben den hohen Torsionswinkel zwischen Becken- und Schulterachse.

Die vollkommene Streckung des Körpers zum Ball hin ist gut sichtbar. Auch kann ein Fixieren des Schwungarmes auf Hüfthöhe beobachtet werden (vgl. dazu BAYER 1980).

Das letzte Bild zeigt den Ausfallschritt nach vorne, um das Körpergewicht abzufangen, während das Standbein hinter der Servicelinie bleibt.

Weiters wurde die Funktion ‚Verbindungsüberlagerung‘ von SIMI 5.0 genutzt, um eine Art Stroboskop-Effekt zu erzielen (Frequenz = 59,94 Hz). D. h. jedes Bild wird eingefroren und die nachfolgenden Bilder überlagern sich.

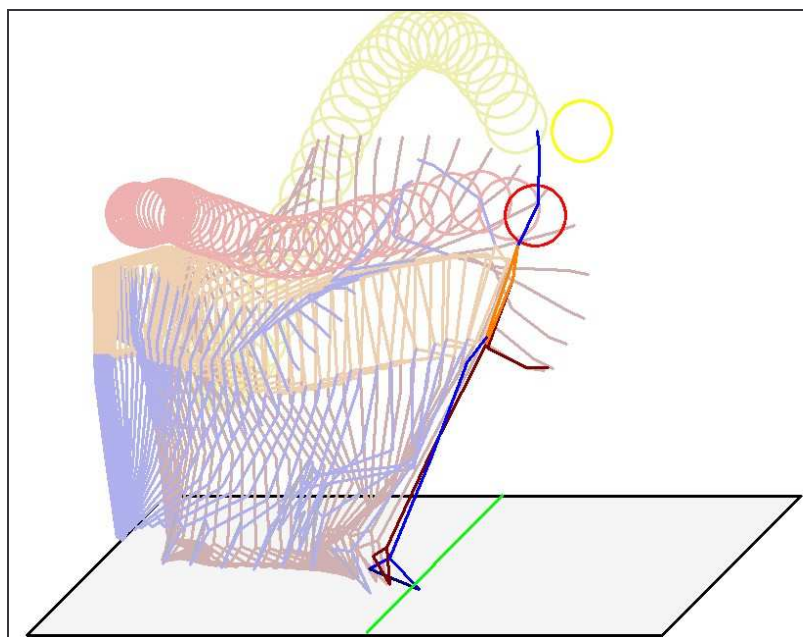


Abbildung 4.1.1-c: Kinogramm Standservice (Stroboskop)

Aus dieser Abbildung ist der parabelförmige Verlauf des Balls gut ersichtlich, auch der Verlauf des KSP von hinten unten nach vorne oben kann beobachtet werden.

Das letzte Bild kennzeichnet den Balltreffpunkt. Zu sehen ist, dass zwischen dem vorletzten und letzten Bild der Unterarm eine weite Strecke zurücklegt; so ist

auch der genaue Zeitpunkt des Treffers nicht dargestellt, da dies durch die verwendete, niedrige Frequenz nicht möglich ist.

Folgend wurde die Funktion ‚Punktverfolgung‘ von SIMI 5.0 genutzt, womit der Verlauf der Gelenksachsenpunkte der rechten Körperseite (Hüfte, Schulter, Ellbogen, Handgelenk, Faust) speziell betrachtet werden kann.

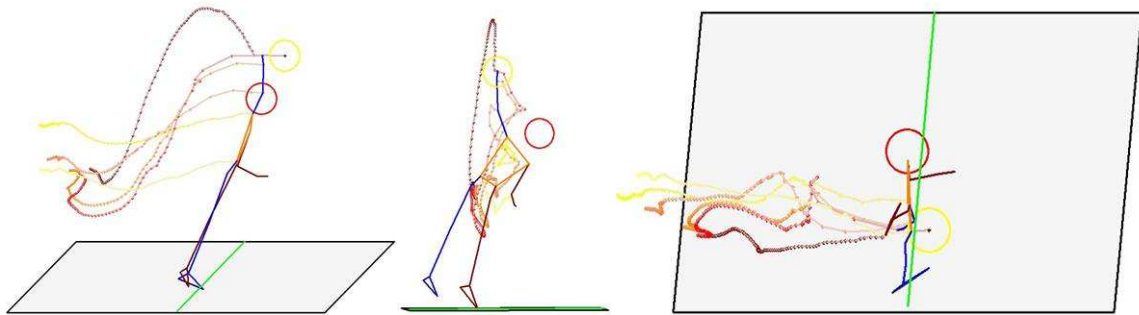


Abbildung 4.1.1-d: Kinogramm Standservice (Punktverfolgung)
(Sagittalsicht, Frontalsicht, Sicht von oben)

Aus dieser Abbildung ergeben sich interessante Erkenntnisse bezüglich der Beschleunigungswege der jeweiligen Gelenksachsenpunkte sowie die der Flugbahn des Balles. Besonders sticht die nicht gerade verlaufende Beschleunigungsbahn der Faust hervor.

Hier sei exemplarisch die Krümmung der Beschleunigungsbahn der Faust von Proband A angeführt. Laut HOCHMUTH's Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges müsste sie null bzw. konstant sein.

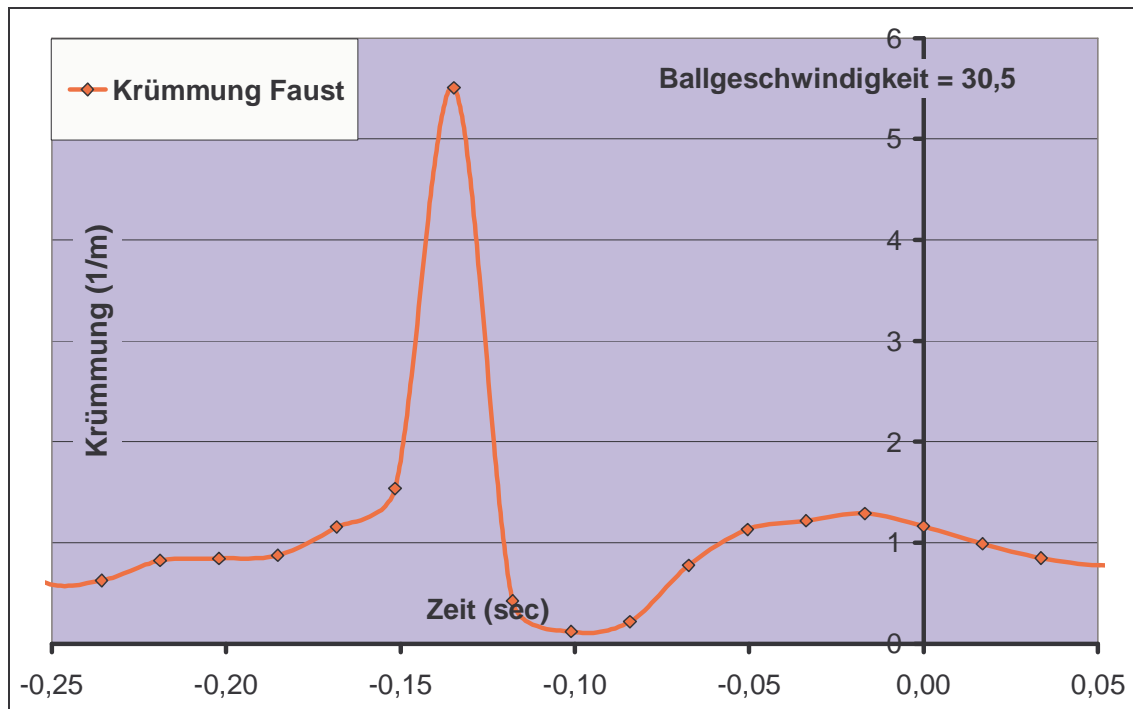


Abbildung 4.1.1-e: Bahnkrümmung der Faust beim Standservice (Proband A)

Gut zu sehen ist das Maximum der Krümmung bei ungefähr 0,12 s vor dem Balltreffen (gekennzeichnet als Schnittpunkt der Achsen zum Zeitpunkt 0). Zu diesem Zeitpunkt beginnt die Beschleunigungsphase der Faust. Bis zum Balltreffpunkt steigt sie nur mehr unter $1,5 \text{ m}^{-1}$ an, wobei sie zu Beginn der Beschleunigung das Minimum der gesamten Kurve erreicht.

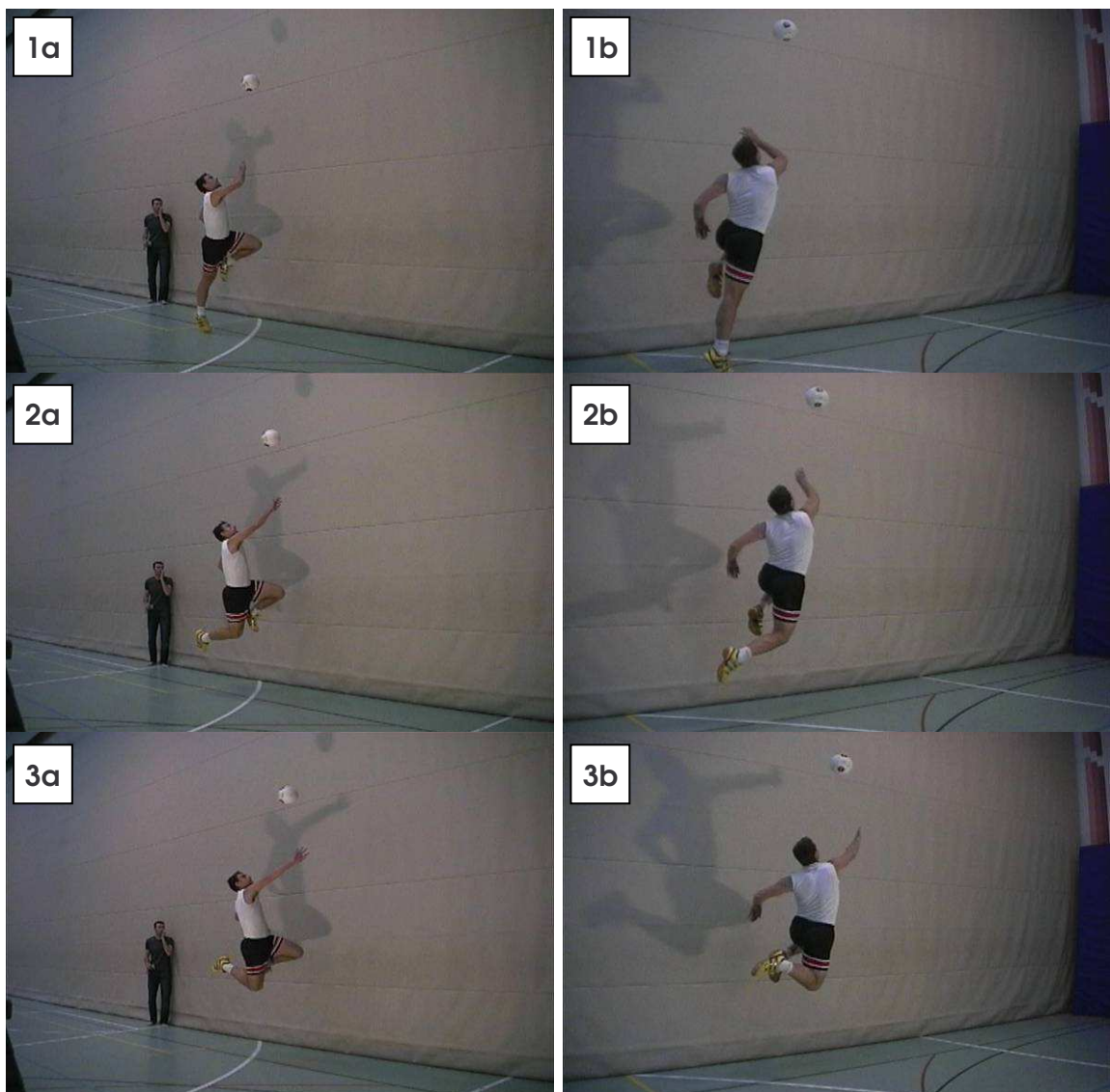
4.1.2. Sprungservice

Die folgenden Bilder und Kinegramme sind von Proband B, der derzeit wohl als weltbesten Sprungservicespieler gilt und diese Technik seit ungefähr 7 Jahren praktiziert. Die Aufnahmen stammen vom dritten Aufnahmetermin in Linz/Gugl. Die linke Spalte stellt Ausschnitte aus der Videoaufzeichnung der Kamera A dar, die rechte Spalte das Gegenstück von Kamera B.

Die Bilder bezeichnen folgende interessante Knotenpunkte der Bewegung:

| Bild Nr. | Bilder vor Treffpunkt (Zeit) | Beschreibung |
|----------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | -26 (-0,43) | Absprung = Letzter Bodenkontakt |
| 2 | -21 (-0,35) | Größter Abspreizwinkel Hüfte |
| 3 | -17 (-0,28) | Höchster Ballpunkt |
| 4 | -7 (-0,12) | Beginn Beschleunigung Faust |
| 8 | 0 (0,00) | Treffpunkt Ball |
| 9 | +9 (0,15) | Landung = Erster Bodenkontakt |

Tabelle 4.1.2-a: Knotenpunkte mit Bild- und Zeitcode der Sprungservicebewegung





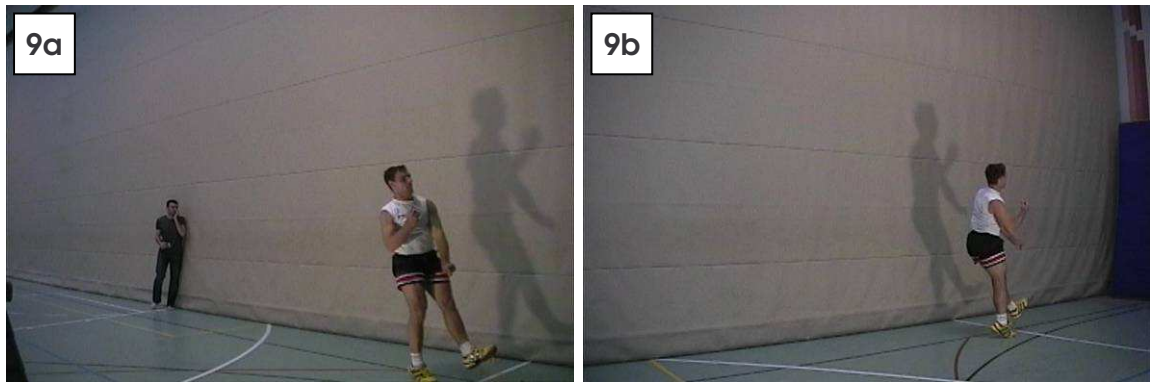


Abbildung 4.1.2-a: Sequenzfotos des Sprungservice (Kamera A links – Kamera B rechts)

Der Zeitpunkt, zu dem der Ball beim Aufwurf die Hand verlässt, ist auf der Videoaufzeichnung von Kamera B nicht erfasst, sondern nur bei Kamera A und deswegen nicht dargestellt. Zu beachten ist der sehr starke Einsatz des Schwungbeines²⁵ (Bilder 1, 2 und 3), sowie die starke Bogenspannung (Bild 4). Auch hier sieht man die Fixierung des Schwungarmes auf Hüfthöhe, sowie die leichte Vorlage des Körpers zum Zeitpunkt des Balltreffers (Bild 8). Auch die regelkonforme Landung vor der Servicelinie ist in Bild 9 gut ersichtlich.

Auf der folgenden Seite sind die Kinegramme des Sprungservice abgebildet. Aus Gründen der besseren Darstellung wurde wieder die Ansicht von der Schlagseite gewählt.

²⁵ In diesem Fall das linke Bein, da der Proband Linkshänder ist.

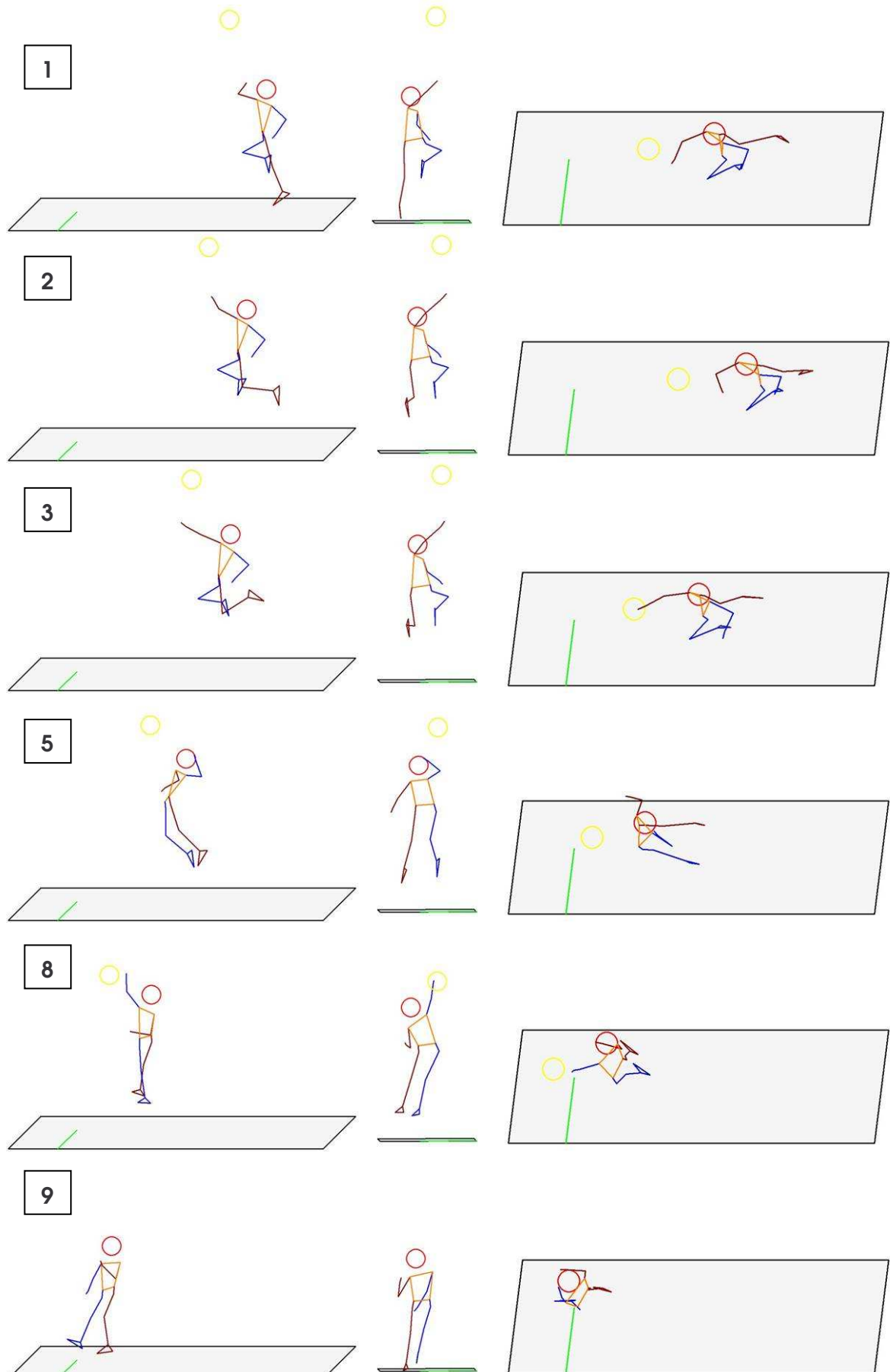


Abbildung 4.1.2-b: Kinogramm des Sprungservice
(Sagittalsicht, Frontalansicht, Sicht von oben)

Aus der Darstellung ist die Sprungweite (2,75 m) zu erkennen. In Bild 8 ist der „Knick“ des Körpers auf Beckenhöhe in der Frontalansicht ersichtlich. Um die Wurfseitenfreiheit herstellen zu können, ist es notwendig, die Schulterachse gegenüber der Bodenebene zu neigen. Da beim Sprungservice kein Widerlager am Boden (wie beim Standservice) mehr gegeben ist, müssen die Beine eine Gegenbewegung (nach NEWTON's ‚actio et reactio‘ – Prinzip) vollziehen.

Bei der Ansicht von oben ist wieder eindeutig die Oberkörper torsion (Bild 3) sowie der starken Einsatz des Schwungbeines nach vorne erkennbar. Die Landung erfolgt (den Regeln entsprechend) hinter der 3m-Linie auf dem Sprungbein (rechts) und kurz danach setzt das andere Bein vor der 3m-Linie auf.

Die folgenden Kinegramme stellen den Verlauf des Sprungservice dar, wobei wieder der Stroboskop-Effekt jedes Bild einfriert (Frequenz = 59,94 Hz). Das letzte stärker dargestellte Bild zeigt den Zeitpunkt nach dem Balltreffen.

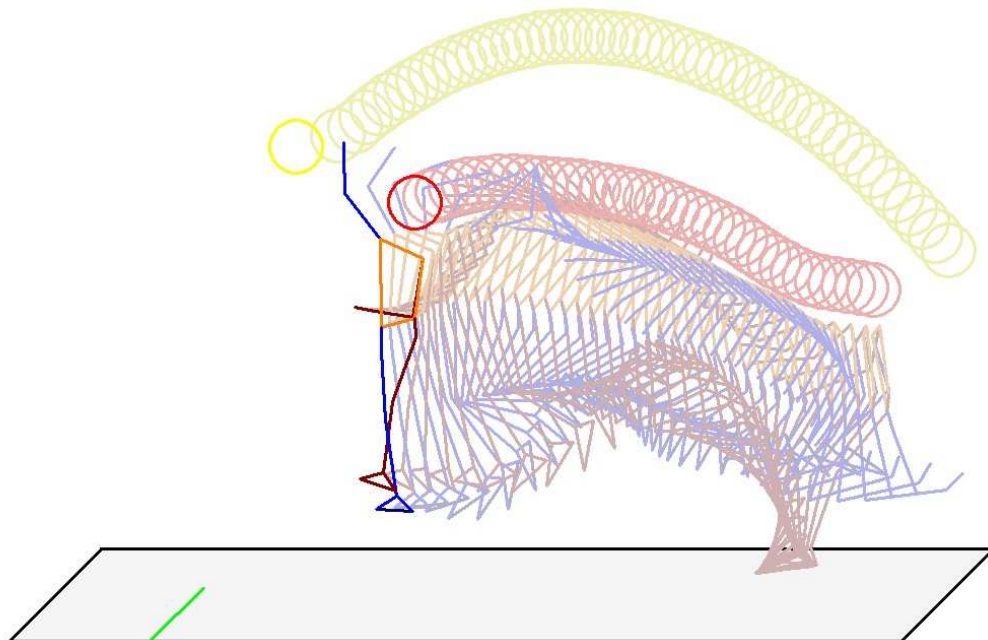


Abbildung 4.1.2-c: Bewegungsverlauf (Stroboskop) des Sprungservice (Seitenansicht)

Gut erkennbar ist der parabelförmige Verlauf des Balles (gelb) und des Kopfes (rot).

Auch die Funktion ‚Punktverfolgung‘ wurde wieder verwendet, was zu folgenden Darstellungen führt:

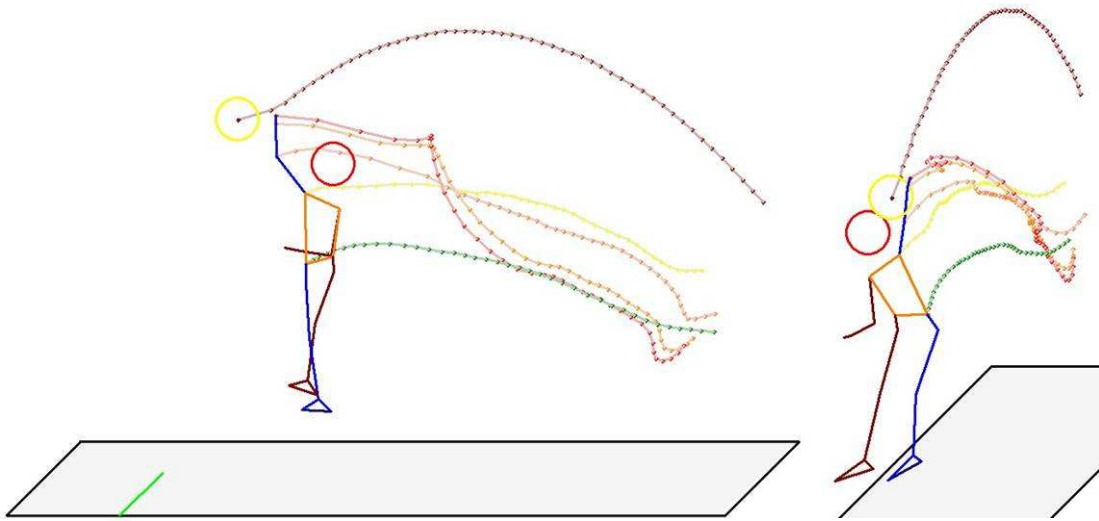


Abbildung 4.1.2-d: Bewegungsverlauf (Punkteverfolgung) des Sprungservice
(Sagittalsicht, Ansicht von links vorne)

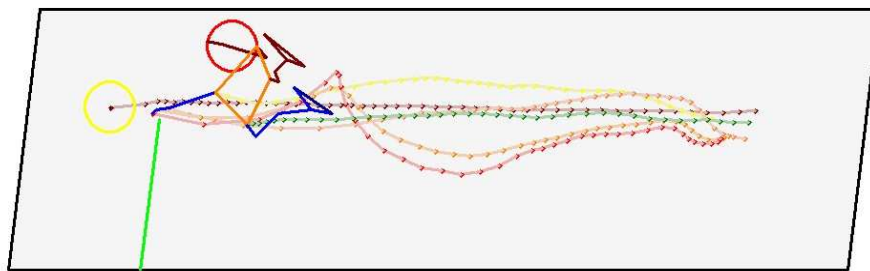


Abbildung 4.1.2-e: Bewegungsverlauf (Punkteverfolgung) des Sprungservice
(Ansicht von oben)

Auch hier sieht man wiederum die Beschleunigungswege der rechten Körperseite ganz deutlich.

Aus der Ansicht von oben ist zu erkennen, dass die Faust keineswegs geradlinig zum Ball hin beschleunigt wird, sondern auf einer gekrümmten Bahn verläuft. Hierzu die Ergebnisse der Bahnkrümmung aus der Berechnung von SIMI 5.0.

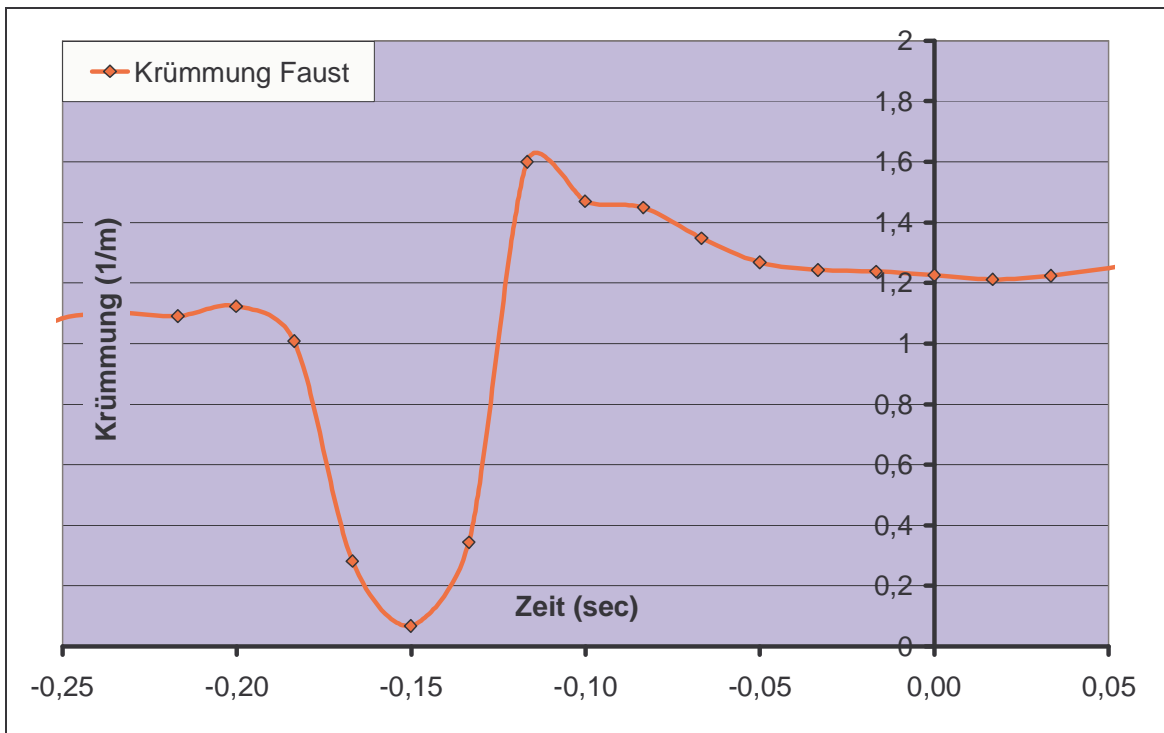


Abbildung 4.1.2-f: Bahnkrümmung der Faust beim Sprungservice (Proband B)

Der Punkt 0 kennzeichnet den Zeitpunkt des Balltreffers. Man sieht, dass die Krümmung in den fünf vorangegangenen Bildern konstant $\sim 1,25$ beträgt. Das bedeutet, dass in der Beschleunigungsphase die Bahn der Faust sich zwar krümmt, aber dies mit einem annähernd konstanten Wert, was die Forderung HOCHMUTH's erfüllt.

4.2. Körper(teil)geschwindigkeiten

4.2.1. Standservice

Interessant in Gruppe 1 ist Proband A, der in allen beobachteten Gelenksachsenpunktgeschwindigkeiten das Maximum erzielt. Somit ergibt sich die Schlussfolgerung, dass eine hohe Hüftgeschwindigkeit auch hohe weiteren Körperpunktgeschwindigkeiten impliziert.

Hierzu das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm des Versuches von Spieler 1 von der Beschleunigungsphase. Der Zeitpunkt 0 kennzeichnet den Zeitpunkt des Balltreffens.

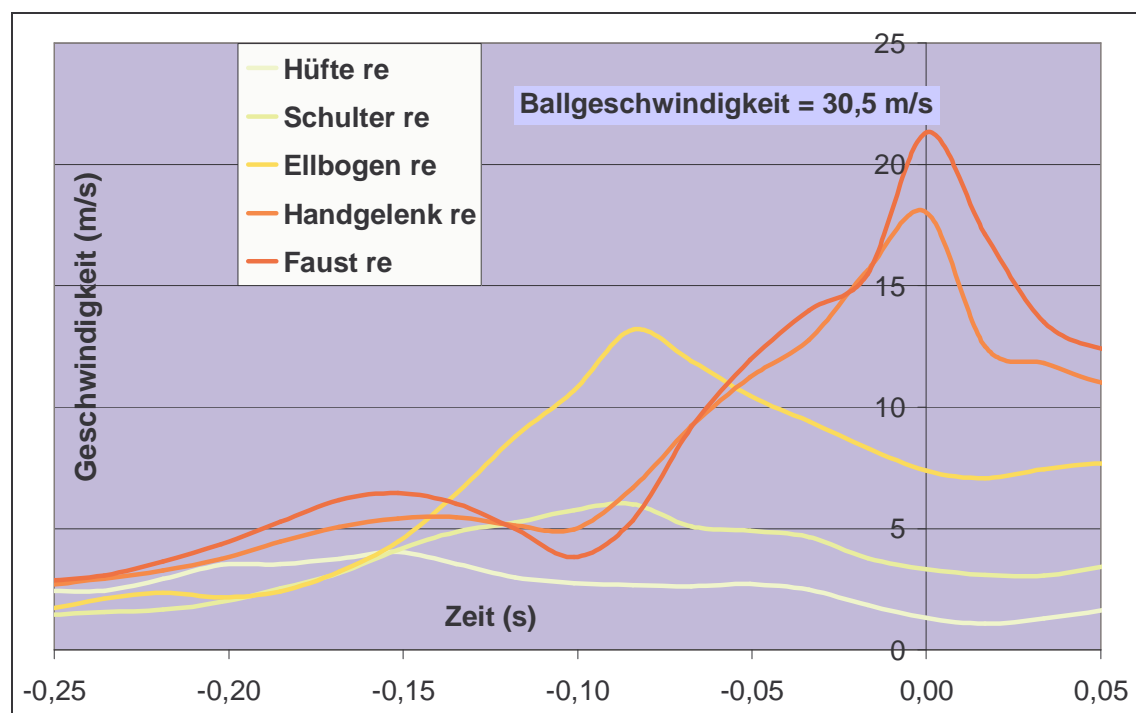


Abbildung 4.2.1-a: Geschwindigkeitsverläufe der rechten Körperpunkte
Standservice Proband A (max. Ballgeschwindigkeit)

Deutlich erkennbar ist das zeitliche Nacheinander der Geschwindigkeitsmaxima von proximal nach distal, wobei die Maxima der Faust und des Handgelenkes mit dem Balltreffen zusammenfällt. Die schlagseitige Hüfte (rechts) erreicht schon 0,15 s vor dem Balltreffen ihr Geschwindigkeitsmaximum, was auch auf den Abbildungen in Kapitel 4.1.1 gut ersichtlich ist (Bild 6 und 7).

Schulter und Ellbogen folgen bei $\sim 8/100$ s vor Balltreff mit ihren Geschwindigkeitsmaxima (6,0 m/s bzw. 13,2 m/s) und es ist zu erkennen, dass die Geschwindigkeiten zum Balltreffen hin wieder abfallen. Dies ist durch die Innervation der Antagonisten der beteiligten Muskulatur zu erklären, sodass der Impuls auf die proximalen Glieder übertragen wird.

Auch der zeitliche Versatz von Hüft- und Schultermaximum ist zu beachten, was schon auf eine hohe Oberkörper torsion hinweist.

Das starke Abfallen der Geschwindigkeiten von Faust und Handgelenk nach dem Zeitpunkt des Balltreffens ist erkennbar, wobei die zeitliche Auflösung nicht ausreicht, um den Geschwindigkeitsverlust bei der Kraffteinwirkung der Faust auf den Ball zu sehen.

Es folgt die Darstellung der einzelnen Gruppen.

| Gruppe 1 (n=4) | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Hüfte rechts | 3,6 | 3,1 | 4,0 | $\pm 0,4$ |
| Schulter rechts | 4,6 | 3,9 | 6,0 | $\pm 0,8$ |
| Ellbogen rechts | 12,4 | 11,9 | 13,2 | $\pm 0,5$ |
| Handgelenk rechts | 17,7 | 17,3 | 18,0 | $\pm 0,3$ |
| Faust rechts | 20,5 | 20,1 | 21,3 | $\pm 0,4$ |

Tabelle 4.2.1-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Standservice - Gruppe 1)

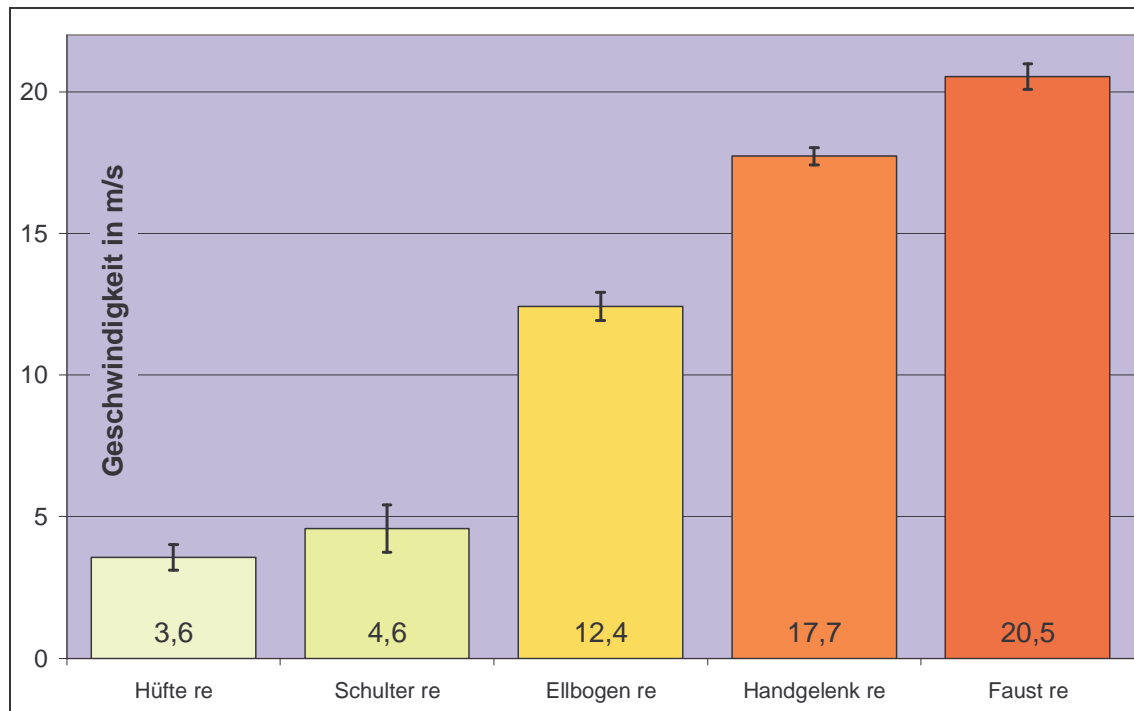


Abbildung 4.2.1-c: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Standservice - Gruppe 1)

Die gemessenen Geschwindigkeiten ergeben einen klaren Anstieg von proximal nach distal (begründet in der kinematischen Kette). Zu beachten ist der Geschwindigkeitszuwachs von ~170 % zwischen Schulter und Ellbogen. Dagegen nimmt die Geschwindigkeit zum nächsten distalen Glied - dem Handgelenk - nur mehr um ~40 % und von da zur Faust nochmals um ~15 % zu. Somit ist der Geschwindigkeitszuwachs keinesfalls als linear anzunehmen.

| Gruppe 2 (n=8) | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Hüfte rechts | 2,6 | 1,5 | 3,7 | $\pm 0,6$ |
| Schulter rechts | 3,7 | 2,8 | 4,5 | $\pm 0,5$ |
| Ellbogen rechts | 11,4 | 10,5 | 12,3 | $\pm 0,5$ |
| Handgelenk rechts | 16,3 | 15,9 | 17,0 | $\pm 0,4$ |
| Faust rechts | 18,9 | 18,4 | 19,7 | $\pm 0,5$ |

Tabelle 4.2.1-d: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Standservice - Gruppe 2)

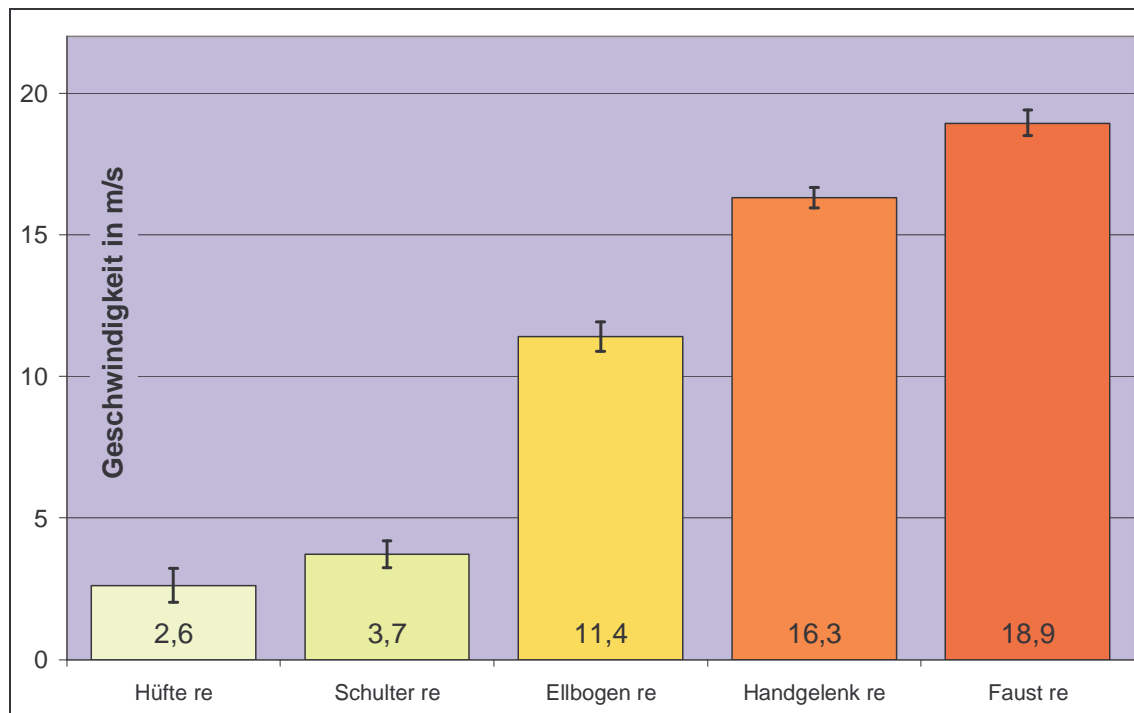


Abbildung 4.2.1-e: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Standservice - Gruppe 2)

Grundsätzlich liegen alle Körperpunktesgeschwindigkeiten in Gruppe 2 unter denen von Gruppe 1, sind jedoch ähnlich gestreut. Der relative Unterschied ist bei allen Körperpunktesgeschwindigkeiten ähnlich (~10 %).

Auch mit den Geschwindigkeitszuwächsen vom proximalen zum distalen Glied verhält es sich ähnlich.

Der größte Unterschied findet sich in der Geschwindigkeit der rechten Hüfte. Sie ist hier um ~25 % im Mittel geringer als bei Gruppe 1.

| Gruppe 3 (n=7) | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Hüfte rechts | 2,1 | 1,8 | 2,3 | $\pm 0,2$ |
| Schulter rechts | 3,5 | 3,2 | 3,9 | $\pm 0,2$ |
| Ellbogen rechts | 9,8 | 8,5 | 10,7 | $\pm 0,7$ |
| Handgelenk rechts | 14,9 | 13,4 | 16,0 | $\pm 1,0$ |
| Faust rechts | 17,4 | 15,2 | 18,8 | $\pm 1,1$ |

Tabelle 4.2.1-f: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Standservice - Gruppe 3)

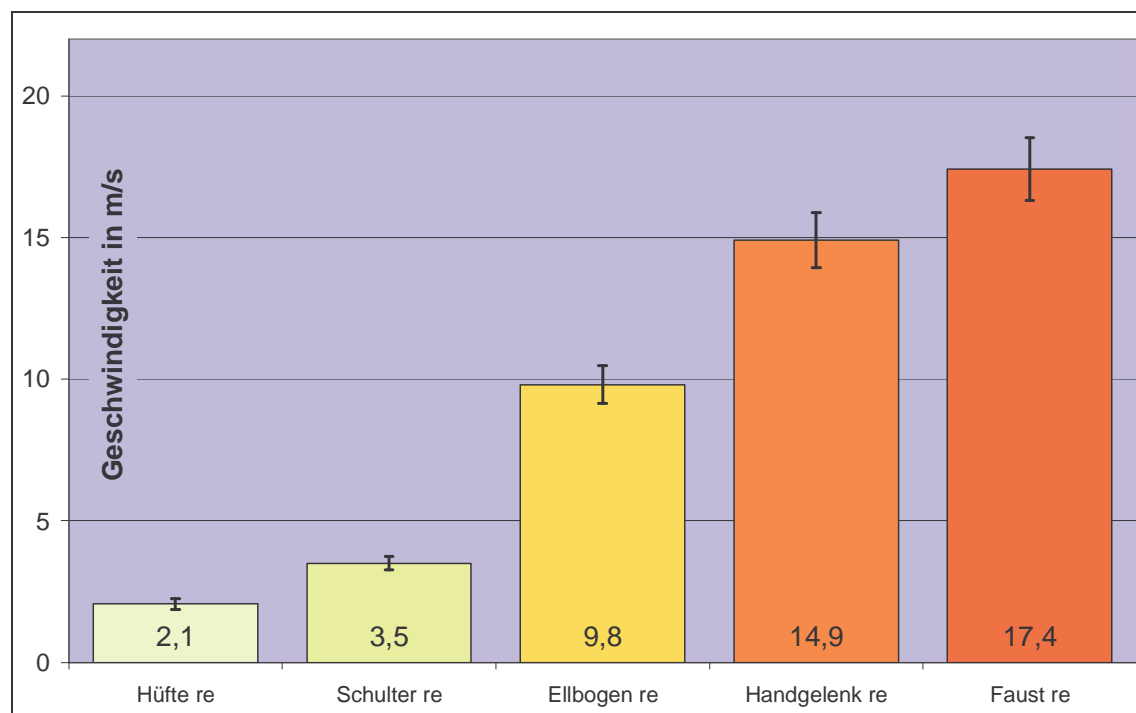


Abbildung 4.2.1-g: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Standservice - Gruppe 3)

In Gruppe 3 fallen die Körperpunktgeschwindigkeiten noch einmal ab. Der größte relative Unterschied (zu Gruppe 1) findet sich hier ebenfalls in der Hüftgeschwindigkeit mit ~45 %.

Zur genaueren Beobachtung sei hier der direkte Vergleich zwischen den Gruppen mit den Signifikanzen aus einer Varianzanalyse (Oneway-ANOVA-Test) angegeben.

| Unterschiedsprüfung | p |
|---------------------|----------|
| Oneway - ANOVA | |
| Hüfte rechts | 0,001** |
| Schulter rechts | 0,022* |
| Ellbogen rechts | 0,000*** |
| Handgelenk rechts | 0,000*** |
| Faust rechts | 0,000*** |

Tabelle 4.2.1-a: Signifikanzen der Geschwindigkeitsunterschiede beim Standservice

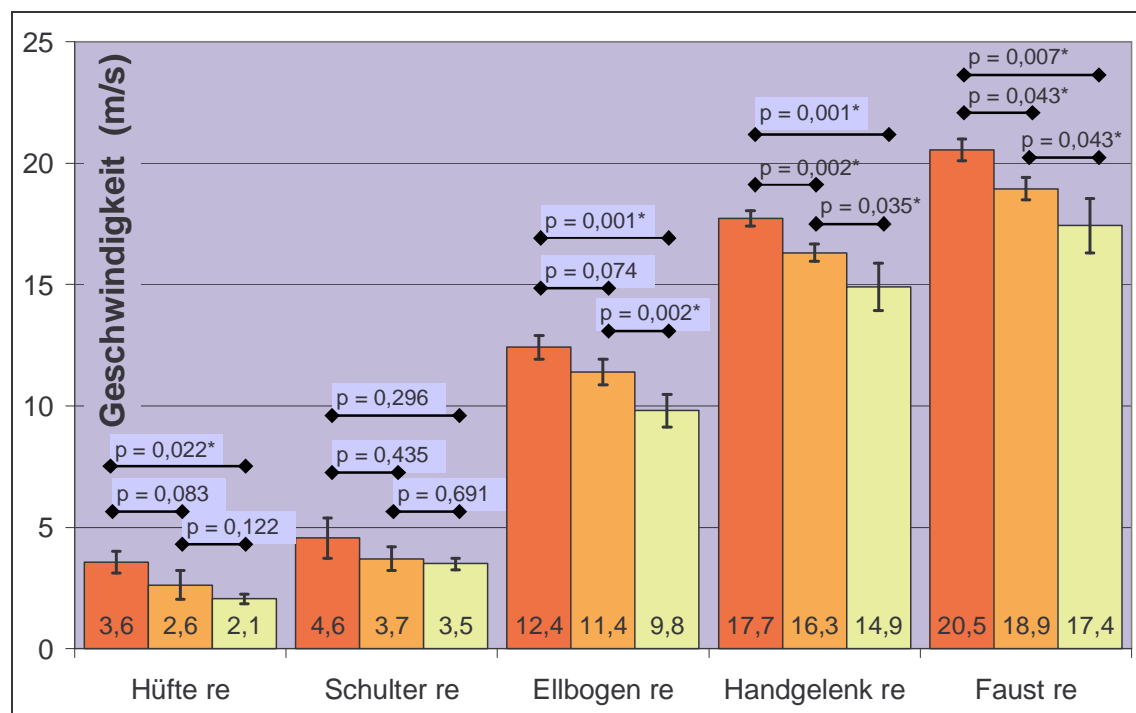


Abbildung 4.2.1-h: Maximale Körperpunktgeschwindigkeiten im Vergleich (Standservice alle Gruppen)

Bei allen maximalen Körperpunktgeschwindigkeiten gibt es zwischen den drei Gruppen hochsignifikante Unterschiede, wobei sich bei den drei distalen Gliedern (Ellbogen, Handgelenk und Faust) die größten Unterschiede ergeben, was die Leistungsunterschiede der drei Gruppen widerspiegelt.

In der Abbildung 4.2.1-h: Maximale Körperpunktgeschwindigkeiten im Vergleich (Standservice alle Gruppen) sind die Signifikanzen der Post-HOC-Tests (Tamhane) zwischen den einzelnen Gruppen eingetragen.

Weiters wurden von den 19 Probanden die Maxima der Körperpunktgeschwindigkeiten mit der Ballgeschwindigkeit verglichen und korreliert. Dieser Vorgang wurde gewählt, um bestimmen zu können, ob und welche Körperpunktgeschwindigkeiten mit der Ballgeschwindigkeit zusammenhängen oder nicht.

| Gesamt (n=19) | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) | Korrelation mit Ball |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Hüfte | 2,6 | 1,5 | 4,0 | 0,7 | 0,79** |
| Schulter | 3,8 | 2,8 | 6,0 | 0,7 | 0,60** |
| Ellbogen | 11,0 | 8,5 | 13,2 | 1,2 | 0,88** |
| Handgelenk | 16,1 | 13,4 | 18,0 | 1,2 | 0,91** |
| Faust | 18,7 | 15,2 | 21,3 | 1,4 | 0,92** |

Tabelle 4.2.1-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Komplett) und Korrelation mit Ballgeschwindigkeit – Standservice (** Korrelation signifikant für $\alpha = 0,01$)

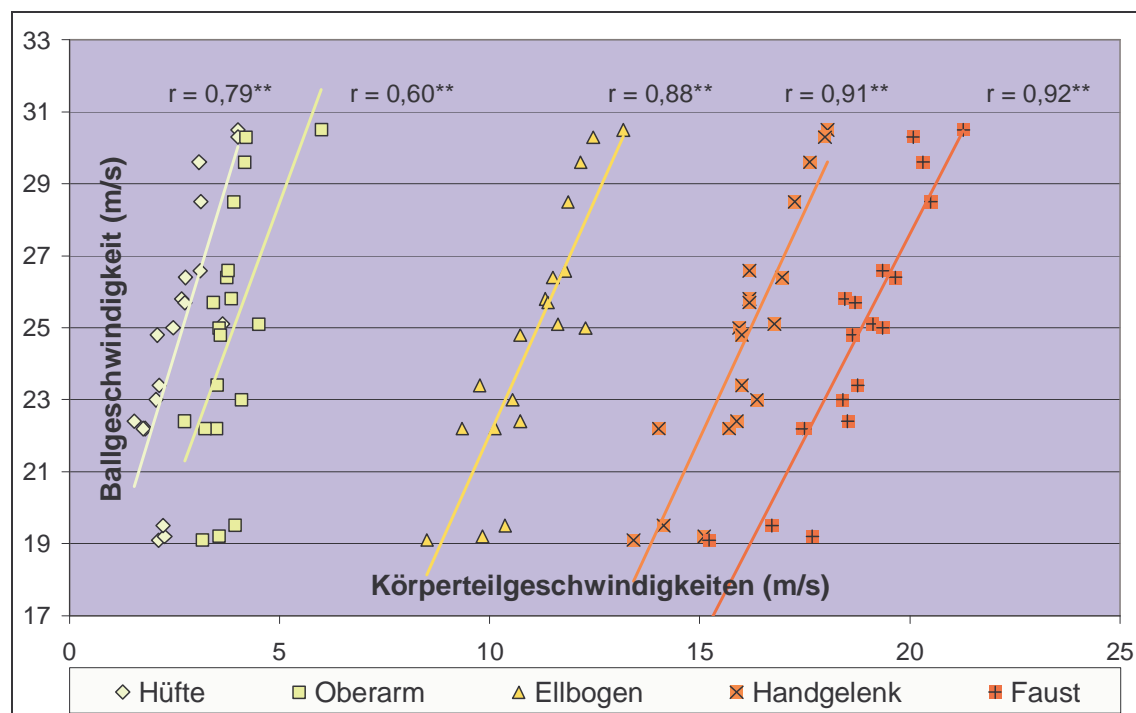


Abbildung 4.2.1-i: Korrelation zwischen maximalen Körperpunktgeschwindigkeiten und der Ballgeschwindigkeit – Standservice (** Korrelation hochsignifikant für $\alpha = 0,01$)

Es ist ersichtlich, dass alle Körperpunkte hochsignifikant mit der resultierenden Ballgeschwindigkeit korrelieren. Der hohe Wert von $r = 0,92$ bei der Korrelation zwischen Faust- und Ballgeschwindigkeit ist bei genauerer Betrachtung trivial, da die Faust die Kontaktstelle zum Ball ist und somit jenes Körpersegment darstellt, das den Impuls auf den Ball überträgt. Es stellt sich eher die Frage, warum keine Korrelation von $r = 1$ erreicht wird. Dies kann aus zwei verschiedenen Gründen resultieren:

- Die verschiedenen Probanden setzen unterschiedliche Massen als Schlagmasse ein, und so ergeben sich bei gleicher Faustgeschwindigkeit, unterschiedliche Ballgeschwindigkeiten.
- Da nicht jeder Spieler den Ball gleich trifft (Fauststellung, lokale Trefferstelle am Ball,...) ist die Energieübertragung sehr unterschiedlich. Dadurch kann die kinetische Energie der Faust zwar gleich sein, jedoch nicht auf den Ball übertragen werden.

Weitaus interessanter ist der Korrelationswert von $r = 0,79$ zwischen Hüfte und Ballgeschwindigkeit, da daraus abgeleitet werden kann, wie wichtig die Geschwindigkeit der Hüfte beim Standservice für die Ballabflugeschwindigkeit ist.

Auch untereinander korrelieren die jeweiligen Körperpunkte hochsignifikant miteinander, was die Annahme der kinematischen Kette von Hüfte zur Faust bestätigt.

4.2.2. Sprungservice

Proband B erreicht bei allen Teilgeschwindigkeiten und der Ballgeschwindigkeit das Maximum beim Sprungservice. Der Verlauf der gesamten Beschleunigungsphase sei nachfolgend wieder dargestellt.

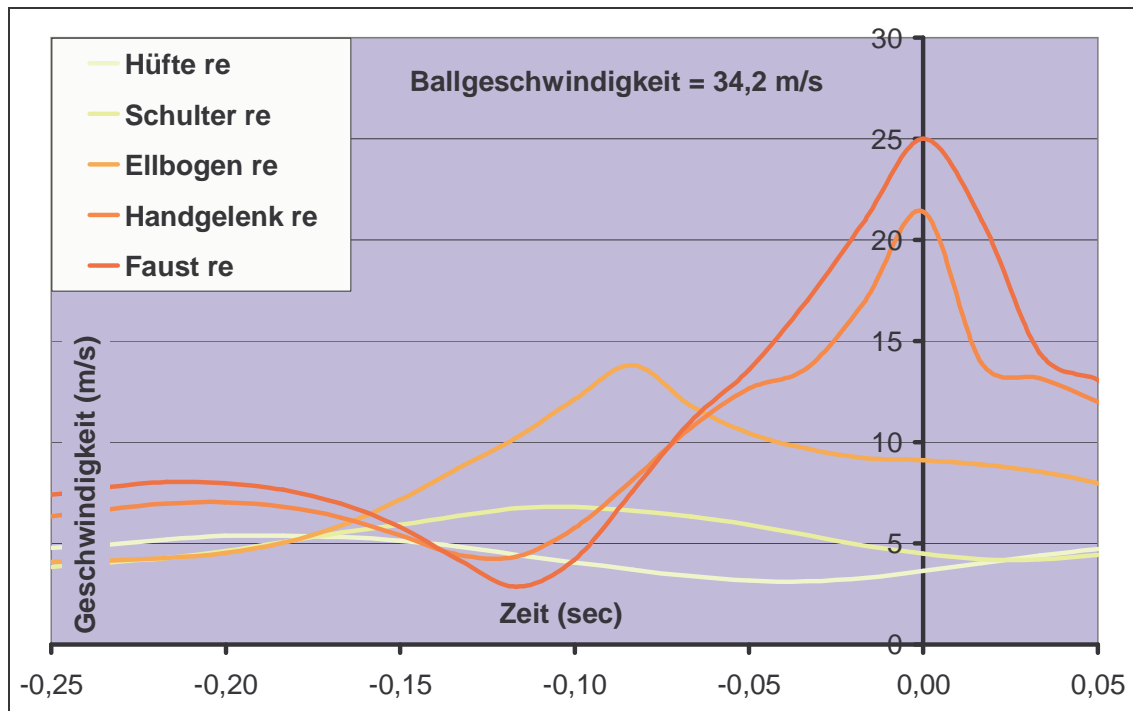


Abbildung 4.2.2-a: Geschwindigkeitsverläufe der rechten Körperpunkte
Sprungservice Proband B (max. Ballgeschwindigkeit)

Erwartungsgemäß sieht man wieder das zeitliche Nacheinander der Geschwindigkeitsmaxima, wobei sich die Zeiträume ziemlich genau mit denen vom Standservice decken. Auch der Verlauf der Kurven – nur mit höheren Geschwindigkeiten – deckt sich nahezu identisch (obwohl hier zwei verschiedene Probanden als Datenlieferant dienen).

Auffallend sind aber die stetig hohen Werte der Hüft- und Schultergeschwindigkeit (kein so starkes Abfallen wie beim Standservice erkennbar). Dies kann dahingehend erklärt werden, dass sich der Sportler im Sprung bezüglich des Raumes als Ganzes bewegt, und somit die y-Komponente der Absprunggeschwindigkeit dem Rumpf (mit Hüfte und Schulter) schon eine Basisgeschwindigkeit (relativ zum Raum) vorgibt, die bis zum Balltreffpunkt aufrechterhalten bleibt. Die KSP-Geschwindigkeit²⁶ beträgt im Sprung in y-Richtung 4 m/s, wobei die Anlaufgeschwindigkeit bei 5,5 m/s liegt.

Somit ergibt sich aber folgendes Fazit: Beim Sprungservice kann keineswegs die beim Standservice erreichbare Hüft- und Schultergeschwindigkeit einfach zur

²⁶ Nach HANAVAN berechnet.

KSP-Geschwindigkeit beim Sprungservice addiert werden²⁷. Jedoch ist bei geeignetem, optimiertem Anlauf das Geschwindigkeits-Ausgangspotenzial erhöht, worauf die Geschwindigkeitszuwächse für die distalen Glieder aufgebaut werden können. Rein physikalisch nutzt man die große Masse des Körpers aus, um mit der Sprunggeschwindigkeit in Schlagrichtung einen relativ großen Impuls zu erzeugen, der dann über die kinematische Kette bis in die Faust (teilweise) übertragen wird.

²⁷ Der Grund hierfür müsste gesondert untersucht werden, dürfte aber in den anatomisch bedingten Voraussetzungen der Hüfte liegen bzw. im Absprungverhalten des Sportlers. Es bleibt keine Zeit nach dem Absprung, die Hüfte nach hinten zu führen, um sie dann wieder nach vorne zu beschleunigen, wie beim Standservice der Fall ist

| Gruppe 1 (n=4) | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Hüfte rechts | 5,1 | 4,3 | 5,9 | $\pm 0,5$ |
| Schulter rechts | 6,2 | 5,4 | 6,9 | $\pm 0,6$ |
| Ellbogen rechts | 13,8 | 12,9 | 14,2 | $\pm 0,4$ |
| Handgelenk rechts | 19,5 | 17,4 | 21,4 | $\pm 1,7$ |
| Faust rechts | 23,1 | 21,5 | 25,0 | $\pm 1,7$ |

Tabelle 4.2.2-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Sprungservice - Gruppe 1)

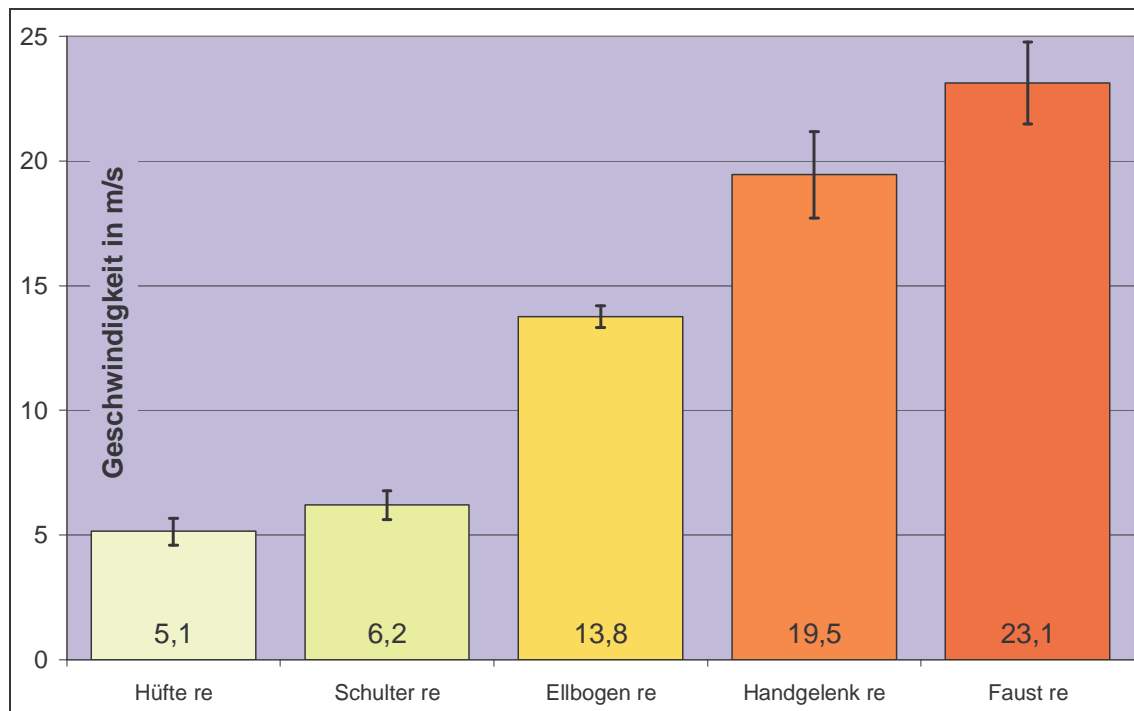


Abbildung 4.2.2-c: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Sprungservice - Gruppe 1)

Auch beim Sprungservice sieht man den starken Geschwindigkeitsanstieg vom proximalen zum distalen Körperpunkt. Hier beträgt der relative Zuwachs²⁸ von der Schulter- zur Ellbogengeschwindigkeit 120 %, weiter zum Handgelenk 40 %, und zur Faust nochmals 20 %, also vergleichbar mit dem Standservice.

²⁸ Der relative Zuwachs ist immer auf das proximale Segment bezogen.

| Gruppe 2 (n=4) | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Hüfte rechts | 4,9 | 4,3 | 5,2 | $\pm 0,4$ |
| Schulter rechts | 5,9 | 5,5 | 6,4 | $\pm 0,4$ |
| Ellbogen rechts | 12,2 | 11,1 | 12,9 | $\pm 0,7$ |
| Handgelenk rechts | 16,9 | 16,5 | 17,1 | $\pm 0,2$ |
| Faust rechts | 19,5 | 19,1 | 19,9 | $\pm 0,3$ |

Tabelle 4.2.2-d: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Sprungservice - Gruppe 2)

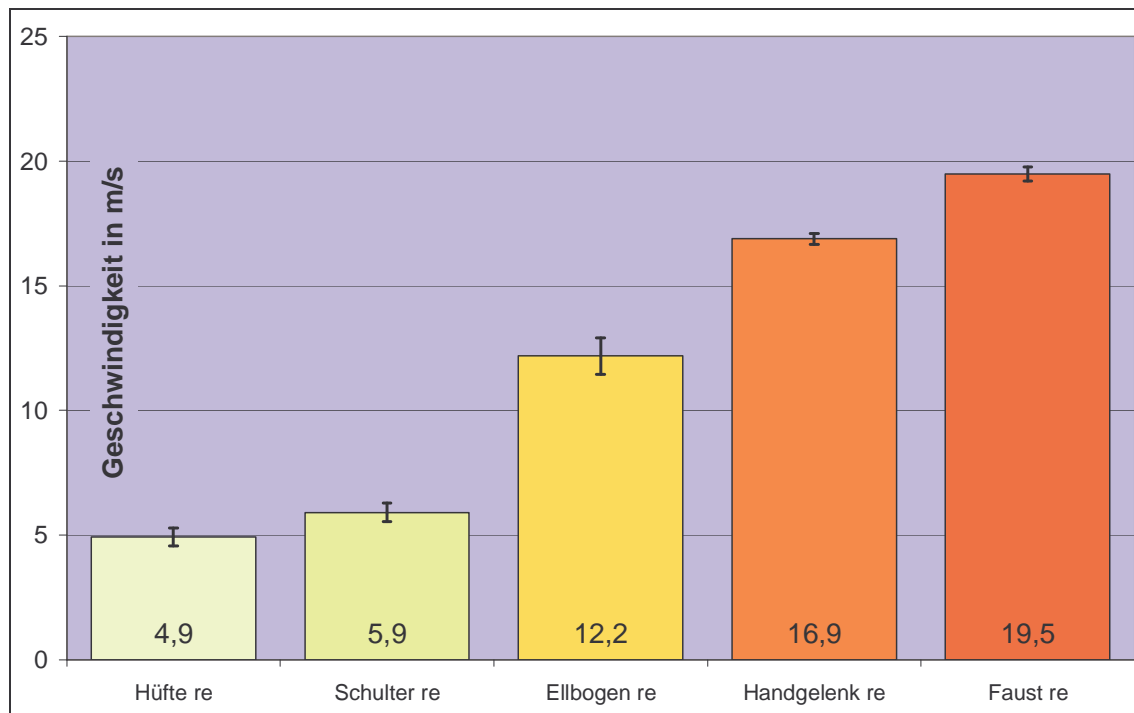


Abbildung 4.2.2-e: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte
(Sprungservice - Gruppe 2)

In Gruppe 2 sieht man wieder einen klaren Anstieg der Teilgeschwindigkeiten von proximal nach distal, jedoch nicht so ausgeprägt wie in Gruppe 1. Interessant ist auf alle Fälle der geringe Unterschied zu Gruppe 1 in den maximalen Geschwindigkeiten der Hüfte und der Schulter. Er beträgt unter 5 % und ist somit deutlich geringer als beim Standservice, währenddessen sich die Faustgeschwindigkeit um ~15 % unterscheidet.

Zu erwähnen sind noch die geringen Varianzen in Gruppe 2, was auf eine sehr hohe Leistungshomogenität der Gruppe zurückzuführen ist.

| Unterschiedsprüfung | p |
|----------------------------------|---------|
| Einseitiger, unabhängiger t-Test | |
| Hüfte rechts | 0,276 |
| Schulter rechts | 0,226 |
| Ellbogen rechts | 0,012* |
| Handgelenk rechts | 0,029* |
| Faust rechts | 0,005** |

Tabelle 4.2.2-a: Signifikanzen der Geschwindigkeitsunterschiede beim Sprungservice

(* Unterschied signifikant für $\alpha = 0,05$ ** Unterschied signifikant für $\alpha = 0,01$)

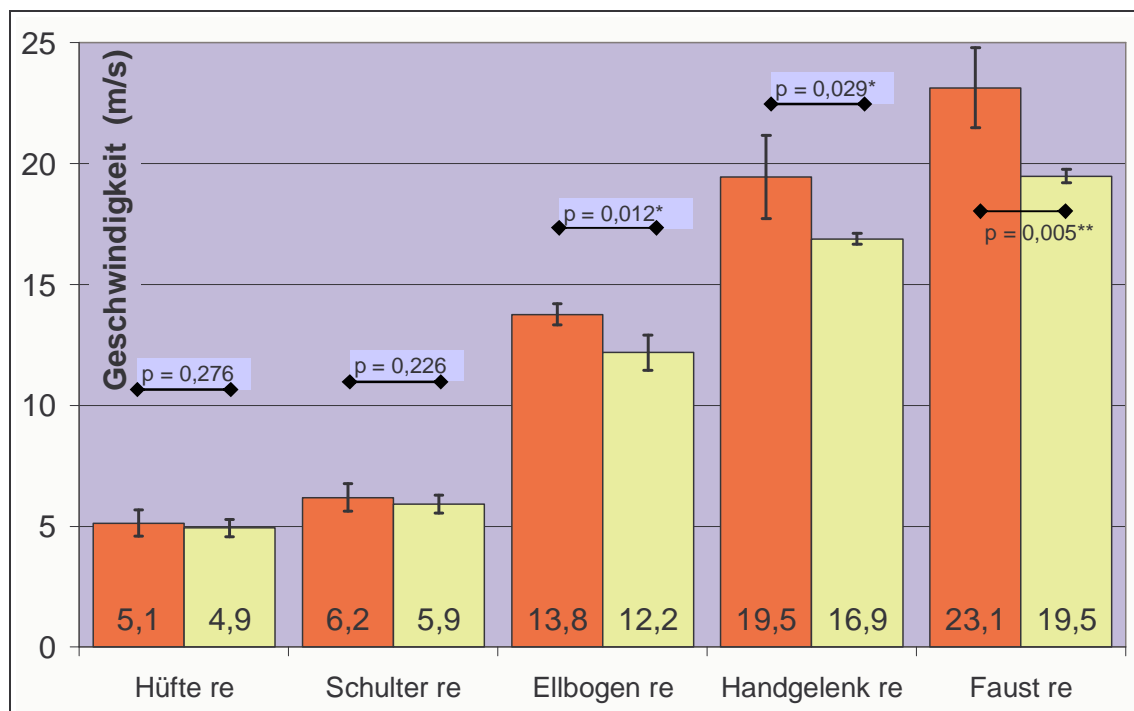


Abbildung 4.2.2-f: Maximale Körpergelenksachsenpunkt- und Ballgeschwindigkeiten im Vergleich (Sprungservice beide Gruppen)

Wie bereits erwähnt, gibt es keine signifikanten Unterschiede in den maximalen Hüft- und Schultergeschwindigkeiten, jedoch signifikante Unterschiede in der Ellbogen- und Handgelenksgeschwindigkeiten und hochsignifikante

Unterschiede in den Faustgeschwindigkeiten. Dies bedeutet, dass die schlechteren Spieler mit fast gleichen Oberkörpergeschwindigkeiten das Sprungservice ausführen, jedoch bei der Übertragung des Impulses zu den distalen Gliedern etwas Geschwindigkeit einbüßen. Eine mögliche Erklärung dafür kann nach einem genauen Blick auf die Stichprobe gefunden werden. Die Probanden der Gruppe 2 sind im Durchschnitt um 23 kg (!) leichter als die der Gruppe 1 und können dadurch – nach physikalischer Voraussetzung $p = m \cdot v$ – bei gleicher Geschwindigkeit nicht den gleichen Impuls erzeugen.

Auch beim Sprungservice wurde wieder untersucht, inwieweit die maximalen Körperpunktgeschwindigkeiten mit der Ballgeschwindigkeit korrelieren.

| <i>Gesamt (n=9)</i> | <i>Mittelwert \bar{v} (m/s)</i> | <i>Minimum v_{\min} (m/s)</i> | <i>Maximum v_{\max} (m/s)</i> | <i>Standardabweichung σ (m/s)</i> | <i>Korrelation mit Ball</i> |
|-------------------------|--|--|--|---|---------------------------------|
| Hüfte | 5,0 | 4,3 | 5,9 | ± 0,5 | 0,233 |
| Schulter | 6,1 | 5,4 | 6,9 | ± 0,5 | 0,456 |
| Ellbogen | 13,1 | 11,1 | 14,2 | ± 1,0 | 0,855** |
| Handgelenk | 18,1 | 16,5 | 21,4 | ± 1,7 | 0,844** |
| Faust | 21,4 | 19,1 | 25,0 | ± 2,1 | 0,924** |

Tabelle 4.2.2-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Gesamt) und Korrelation mit Ballgeschwindigkeit – Sprungservice

*(** Korrelation hochsignifikant für $\alpha = 0,01$)*

Interessanterweise kann man keine so starke Korrelation zwischen Hüft- und Ballgeschwindigkeit wie beim Standservice feststellen ($r = 0,233$), was wiederum die oben angeführten Erläuterungen des Masseunterschieds stützt.

Jedoch sticht erwartungsgemäß abermals die Korrelation mit $r = 0,924^{**}$ zwischen Faust- und Ballgeschwindigkeit heraus.

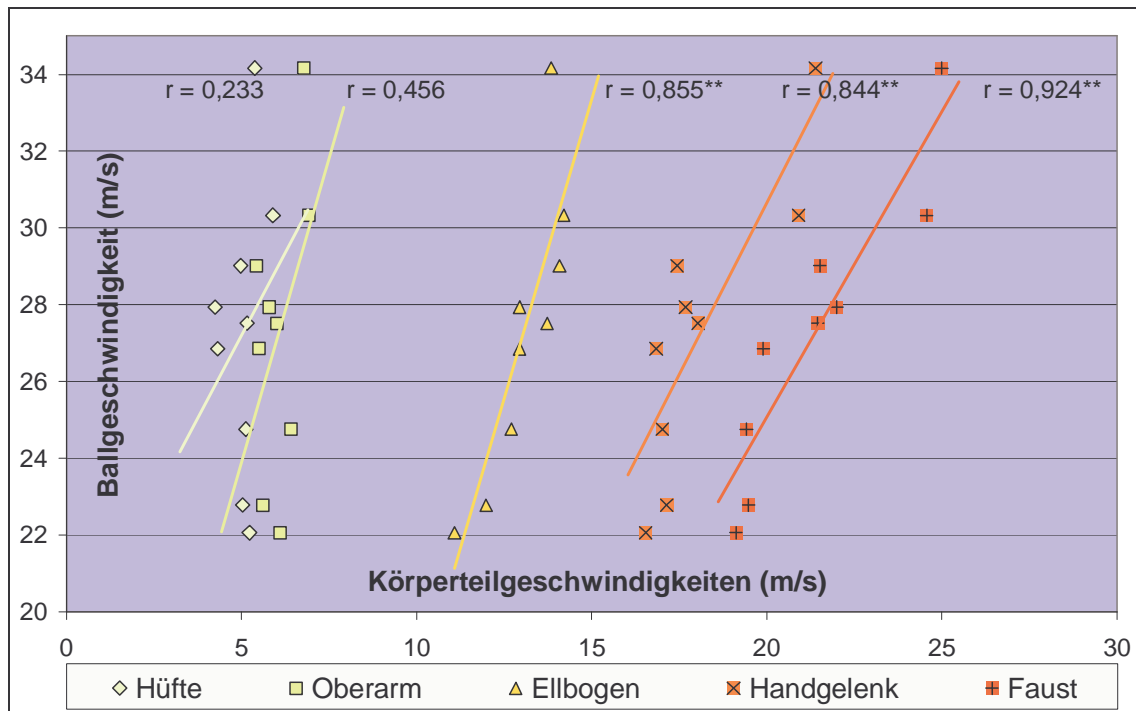


Abbildung 4.2.2-c: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Komplett) und Korrelation mit Ballgeschwindigkeit – Sprungservice
(** Korrelation hochsignifikant für $\alpha = 0,01$)

4.2.2.1. Anlaufgeschwindigkeit und Sprungweite beim Sprungservice

Es muss trotz obigem Hinweis der schwachen Korrelation zwischen Hüft- und Ballgeschwindigkeit angenommen werden, dass die Anlaufgeschwindigkeit beim Sprungservice einen wichtigen Faktor für die Abfluggeschwindigkeit des Faustballes darstellt. Diese wird in der Praxis aber kaum als Maximum gefordert, sondern soll optimal auf die ganzheitliche Bewegung abgestimmt sein.

Da in diesem Fall die Geschwindigkeit des Körpers von Bedeutung ist, wurde für die Untersuchung der Anlaufgeschwindigkeit die horizontale Geschwindigkeit des Körperschwerpunkts (nach HANAVAN) in Richtung des Ballabflugs zum Zeitpunkt vor dem letztem Bodenkontakt (Absprung) verwendet.

Davon zu unterscheiden ist die horizontale Geschwindigkeits-Komponente des Sprunges, da ja nicht die gesamte Anlaufgeschwindigkeit in Sprunggeschwindigkeit umgewandelt werden kann.

| Anlauf-Geschwindigkeit | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Gruppe 1 (n = 5) | 4,7 | 3,6 | 5,5 | $\pm 0,7$ |
| Gruppe 2 (n = 4) | 4,0 | 3,6 | 4,8 | $\pm 0,5$ |

Tabelle 4.2.2-d: Anlaufgeschwindigkeiten beim Sprungservice (gruppenspezifisch)

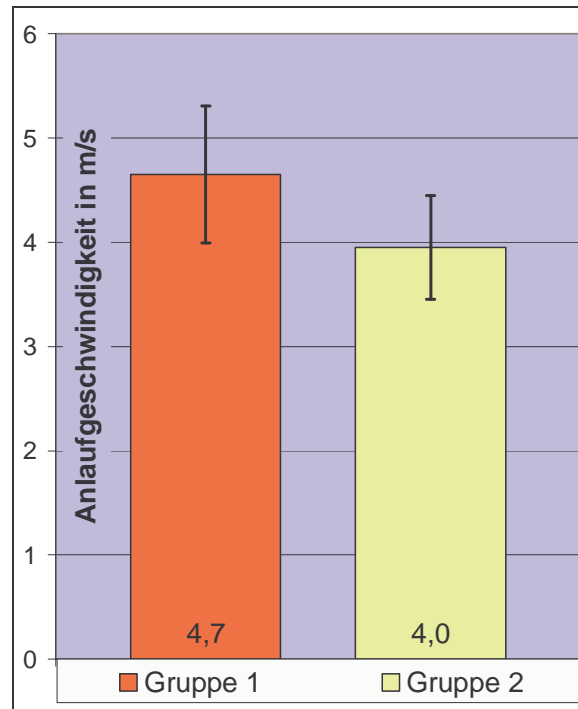


Abbildung 4.2.2-g: Anlaufgeschwindigkeit Sprungservice

Zwischen den beobachteten Anlaufgeschwindigkeiten besteht kein signifikanter Unterschied ($p = 0,076$), obwohl die Probanden der Gruppe 1 tendenziell eine höhere Anlaufgeschwindigkeit aufweisen als jene aus Gruppe 2.

Mit 5,5 m/s (19,8 km/h) liegt die maximale Anlaufgeschwindigkeit (Proband B) weit unter der seiner maximalen Laufgeschwindigkeit (~50 %), was durch die Sichtung der Videos noch weiter bestätigt wird, da der Proband nur fünf Schritte für den Anlauf verwendet.

Der Zusammenhang zwischen Anlaufgeschwindigkeit und Abfluggeschwindigkeit des Balles wurde in folgendem Diagramm dargestellt.

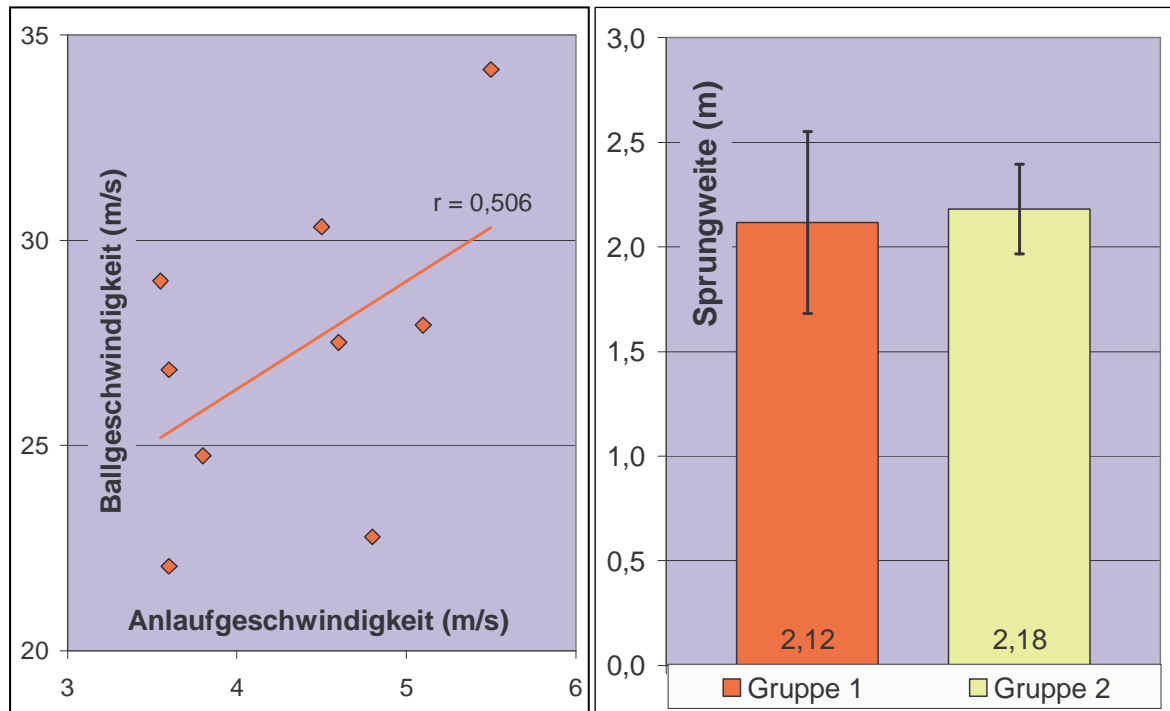


Abbildung 4.2.2-h: Korrelation zwischen Anlaufgeschwindigkeit und Ballgeschwindigkeit (Sprungservice)

Abbildung 4.2.2-i: Sprungweite beim Sprungservice (gruppenspezifisch)

Die Anlaufgeschwindigkeit korreliert mit der Ballabfluggeschwindigkeit zwar mit $r = 0,506$ mäßig, entgegen der Erwartung jedoch nicht signifikant. Aus den kinematischen Analysen ging hervor, dass einige Probanden einen sehr flachen und weiten Sprung ausführten, während andere eher einen Steigsprung praktizierten (vgl. dazu Abbildung 4.2.2-i: Sprungweite beim Sprungservice (gruppenspezifisch) bezüglich Sprungweite). Auch hier sticht Proband B mit der maximalen Sprungweite von 2,75 m wieder hervor.

4.2.3. Vergleich Stand- und Sprungservice

Beim Vergleich der beiden Techniken miteinander sind bei allen maximalen Körperpunktgeschwindigkeiten hochsignifikante Unterschiede feststellbar. Die größten relativen Unterschiede²⁹ ergeben sich bei der Hüftgeschwindigkeit (100 %) und bei der Schultergeschwindigkeit (60%).

²⁹ Wert beim Standservice = 100%

Hierbei ist festzuhalten, dass bei Spielern der Gruppe 1 nicht so drastische Unterschiede zwischen Stand- und Sprungservice auftreten wie bei Spielern der Gruppe 2.

Auch wenn man die Körperteilgeschwindigkeiten der Probanden, die beide Techniken ausgeführt (n = 9) haben, sichtet, kann man eindeutig feststellen, dass sie beim Sprungservice höher liegen.

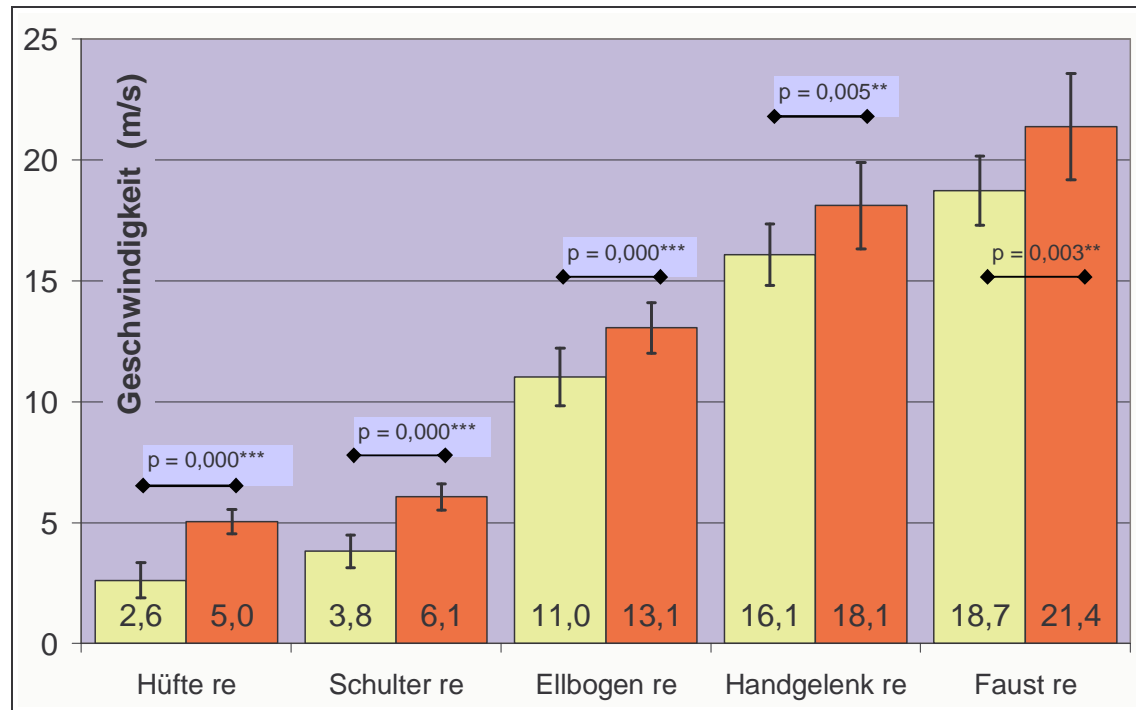


Abbildung 4.2.3-a: Vergleich der Gelenksachsenpunktgeschwindigkeiten zwischen Stand- und Sprungservice (***) Unterschied signifikant für $\alpha = 0,001$; ** Unterschied signifikant für $\alpha = 0,01$)

| Unterschiedsprüfung | p |
|----------------------------------|---------|
| Einseitiger, unabhängiger T-Test | |
| Hüfte rechts | 0,000** |
| Schulter rechts | 0,000** |
| Ellbogen rechts | 0,000** |
| Handgelenk rechts | 0,005** |
| Faust rechts | 0,003** |

Tabelle 4.2.3-a: Signifikanzen der Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Stand- und Sprungservice

4.3. Körperwinkel

4.3.1. Standservice

Zu Beginn sei hier der Verlauf der Körperwinkel vom Probanden mit der höchsten Ballgeschwindigkeit dargestellt. Der Zeitpunkt 0 stellt wieder den Zeitpunkt des Balltreffens dar:³⁰

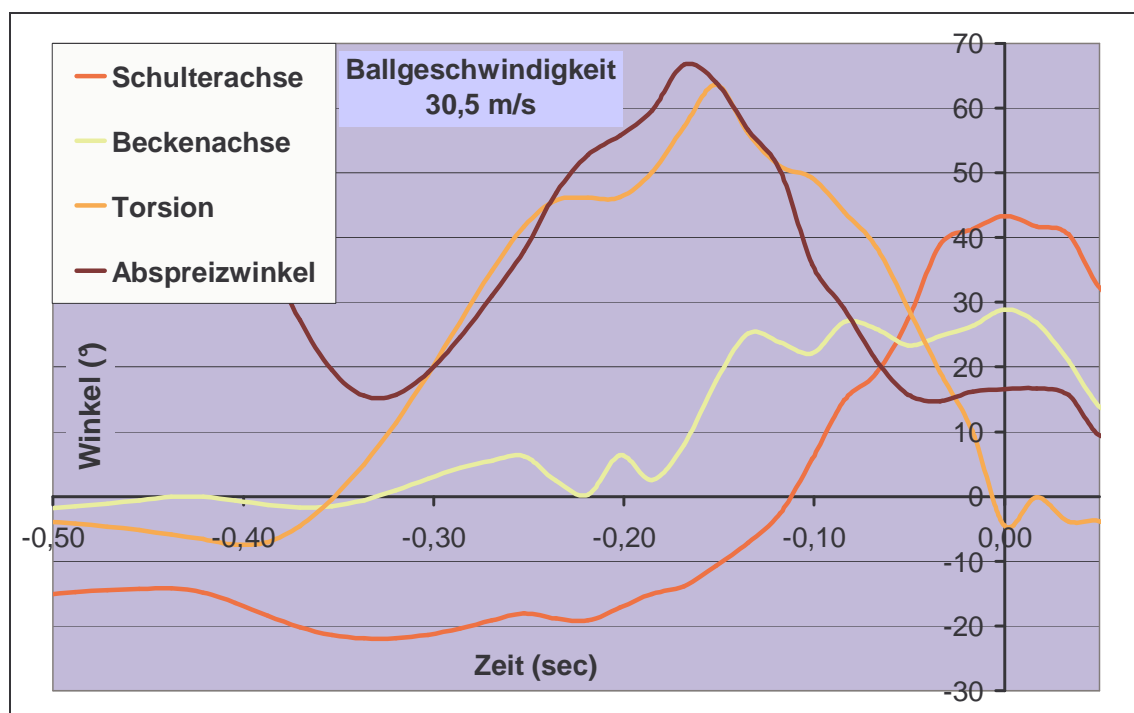


Abbildung 4.3.1-a: Verlauf ausgesuchter Körperwinkel (1) von Proband A

Sehr gut sieht man das Anstellen der Schulterachse mit 22° zur Bodenebene ungefähr 0,30 s - 0,35 s vor dem Balltreffen. Nachdem dies ein dreidimensionaler Winkel ist, kann nur aus dem Kineogramm erkenntlich werden, dass zu diesem Zeitpunkt die linke Schulter in Schlagrichtung zeigt, das bedeutet, dass die Schulterachse zu jenem Zeitpunkt 90° zur 3m-Linie verdreht steht, was auch aus der Analyse hervorgeht.

Auch der Wert dieses Winkels zum Zeitpunkt des Balltreffens ist mit $\sim 45^\circ$ gut erkennbar, während die Beckenachse eine Neigung von 29° zur Bodenebene erreicht.

³⁰ vgl. dazu auch die Bilder und Kinematogramme in 4.1.1. Standservice

Weiters geht aus dem Verlauf der Torsion gut hervor, dass der Oberkörper bis 0,4 s vor dem Balltreffen als Ganzes bewegt wird, und erst ab diesem Zeitpunkt die Beckenachse der Schulterachse zuvorkommt. Das Maximum der Torsion (64°) wird zugleich mit der maximalen Hüftgeschwindigkeit $\sim 0,15$ Sekunden vor dem Balltreffen erreicht.

Auch erkennt man bei $\sim 0,2$ Sekunden vor Balltreff das Maximum des Abspreizwinkels von $\sim 65^\circ$, der stark in Schlagrichtung ausgeprägt ist.

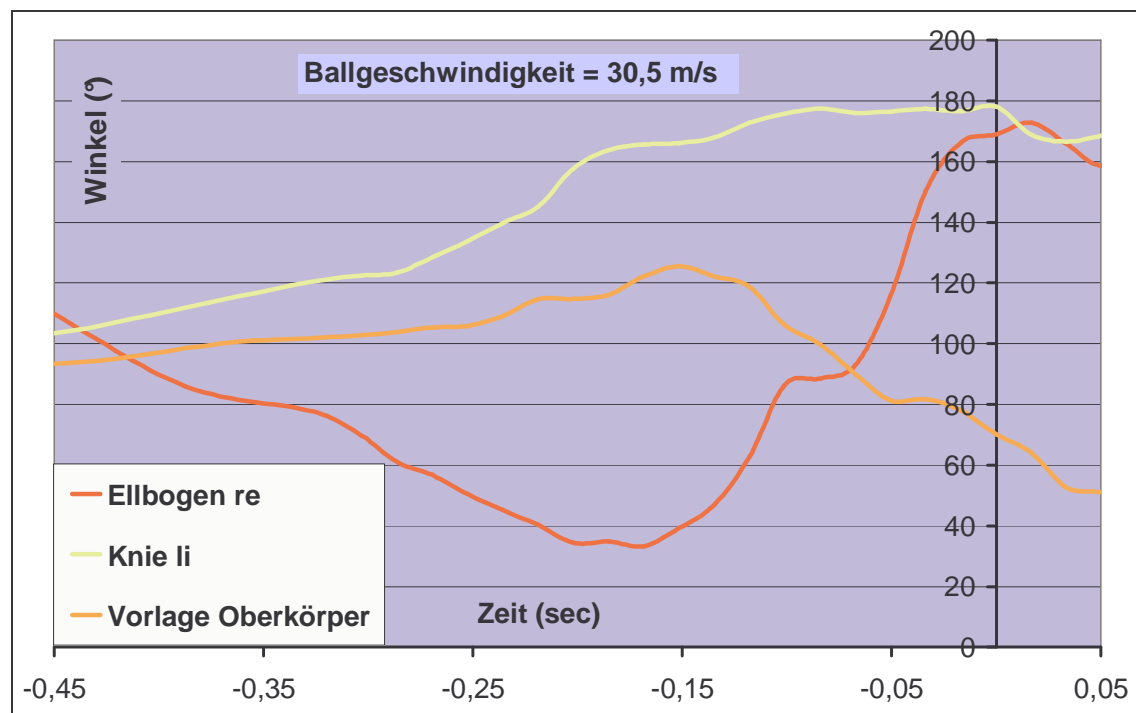


Abbildung 4.3.1-b: Verlauf ausgesuchter Körperwinkel (2) von Proband A

Aus der Abbildung erkennt man eindeutig die Maximierung des Ellbogen- und Kniegelenkwinkels zum Balltreffzeitpunkt hin, der idealerweise bei 180° erfolgen soll. Auch das Minimum des Ellbogenwinkels ist gut ersichtlich, woran erkennbar ist, dass die Faust aus einer starken Ellbogenbeugung heraus beschleunigt wird. Weiters ist aus dem Vorlagewinkel abzulesen, dass der Oberkörper einerseits zum Zeitpunkt des Balltreffers mit der Bodenebene einen Winkel von $\sim 72^\circ$ einschließt, andererseits vor Beschleunigung der distalen Glieder eine Rücklage (Winkel $> 90^\circ$) einnimmt, und somit noch zusätzlich Geschwindigkeit aus dem „Nachvorklappen“ gewinnen kann.

| <i>Gruppe 1 (n=4)</i> | <i>Mittelwert</i> $\bar{\alpha}$ (°) | <i>Minimum</i> α_{\min} (°) | <i>Maximum</i> α_{\max} (°) | <i>Standardabweichung</i> σ (°) |
|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Schulterachse (t ₀) | 47 | 41 | 54 | ± 4 |
| Beckenachse (t ₀) | 26 | 23 | 31 | ± 3 |
| Torsion (max) | 56 | 38 | 67 | ± 11 |
| Vorlagewinkel (t ₀) | 80 | 78 | 82 | ± 1 |
| Abspreizwinkel (max) | 75 | 62 | 86 | ± 9 |
| Ellbogenwinkel (t ₀) | 171 | 165 | 174 | ± 3 |
| Kniewinkel Standbein (t ₀) | 171 | 166 | 177 | ± 4 |

Tabelle 4.3.1-a: Ausgesuchte Körperwinkel (Standservice Gruppe 1)

| <i>Gruppe 2 (n=8)</i> | <i>Mittelwert</i> $\bar{\alpha}$ (°) | <i>Minimum</i> α_{\min} (°) | <i>Maximum</i> α_{\max} (°) | <i>Standardabweichung</i> σ (°) |
|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Schulterachse (t ₀) | 46 | 35 | 58 | ± 7 |
| Beckenachse (t ₀) | 30 | 20 | 38 | ± 6 |
| Torsion (max) | 51 | 34 | 66 | ± 12 |
| Vorlagewinkel (t ₀) | 82 | 74 | 88 | ± 4 |
| Abspreizwinkel (max) | 51 | 32 | 91 | ± 18 |
| Ellbogenwinkel (t ₀) | 167 | 162 | 177 | ± 5 |
| Kniewinkel Standbein (t ₀) | 166 | 149 | 175 | ± 9 |

Tabelle 4.3.1-b: Ausgesuchte Körperwinkel (Standservice Gruppe 2)

| <i>Gruppe 3 (n=7)</i> | <i>Mittelwert</i> $\bar{\alpha}$ (°) | <i>Minimum</i> α_{\min} (°) | <i>Maximum</i> α_{\max} (°) | <i>Standardabweichung</i> σ (°) |
|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Schulterachse (t ₀) | 36 | 20 | 49 | ± 9 |
| Beckenachse (t ₀) | 24 | 12 | 34 | ± 7 |
| Torsion (max) | 38 | 24 | 61 | ± 13 |
| Vorlagewinkel (t ₀) | 85 | 82 | 90 | ± 3 |
| Abspreizwinkel (max) | 51 | 32 | 91 | ± 18 |
| Ellbogenwinkel (t ₀) | 169 | 151 | 178 | ± 8 |
| Kniewinkel Standbein (t ₀) | 169 | 162 | 175 | ± 4 |

Tabelle 4.3.1-c: Ausgesuchte Körperwinkel (Standservice Gruppe 3)

Die verschiedenen Körperwinkel variieren sehr stark um den Mittelwert. Besonders bei Gruppe 3 ist bei der Untersuchungsvariablen „Abspreizwinkel“ eine sehr große Bandbreite festzustellen. Aus den kinematischen Analysen ist aber zu sehen, dass Gruppe 1 während der Schlagbewegung das Knie tendenziell eher nach vorne oben führt, wogegen die Probanden mit hohen Abspreizwinkeln in der Gruppe 3 das Knie des Schwungbeins eher seitlich hochführen.

Der Parameter „Kniewinkel“ muss mit Vorbehalt betrachtet werden, da einige Spieler während des Balltreffers keinen Kontakt mehr zum Boden haben und durch diesen leichten Absprung auch der Kniewinkel zum Zeitpunkt des Balltreffers nicht mehr maximal sein muss.³¹

Zum Untersuchungsparameter „Schulterachse“ sei auf das Phänomen der Wurfseitenfreiheit im Kapitel „Die biomechanischen Prinzipien des Faustballschlages“ verwiesen (Kapitel 1.3.3, S. 52). Das Maximum von 54° ist bemerkenswert, da man bedenken muss, wie weit bei einem solchen Schulterachsenwinkel der Oberkörper zur Seite geneigt werden muss. Das Minimum ist mit 20° fast nur ein Drittel dieser Größe und zeigt doch die starken Unterschiede in den Bewegungen der jeweiligen Spieler.

Die Variable „Schulterachse“ korreliert (erwartungsgemäß) hochsignifikant ($r = 0,601^{**}$) mit der Variablen „Beckenachse“, da ja nur bei geneigtem Becken auch die Schulterachse derart angestellt werden kann.

Zum Ellbogenwinkel sei angemerkt, dass durch die relativ niedrige Aufnahmefrequenz (59,94 Hz) eine exakte Erfassung zum Zeitpunkt des Balltreffers nicht gewährleistet ist, und dadurch die Validität eingeschränkt ist.

³¹ Auch wenn kein Bodenkontakt mehr besteht wird diese Technik in die Kategorie „Standservice“ eingeordnet, da kein vorhergehender Anlauf erfolgt.

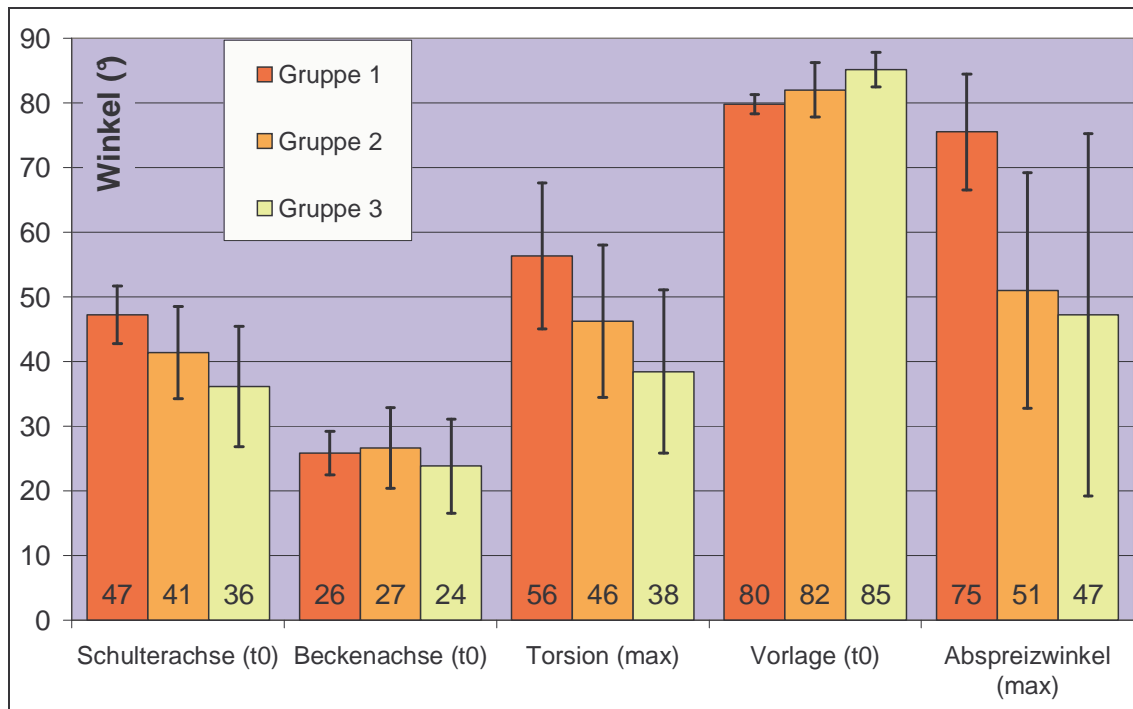


Abbildung 4.3.1-c: Ausgewählte Körperwinkel (Standservice – Teil 1)

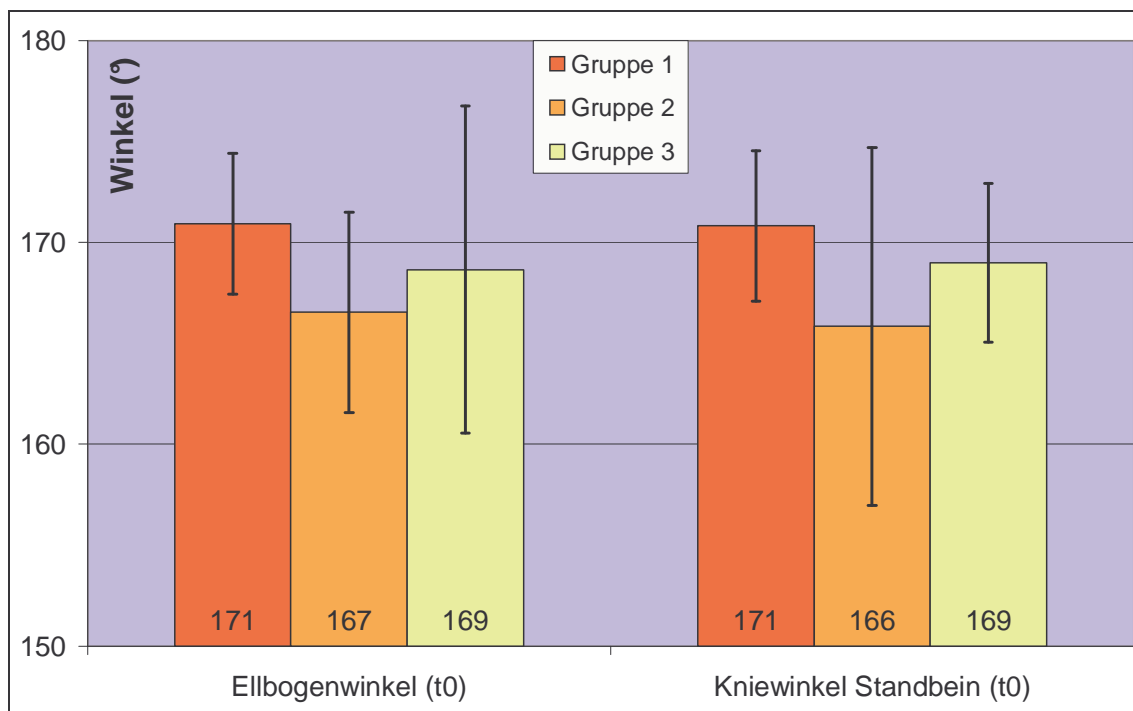


Abbildung 4.3.1-d: Ausgewählte Körperwinkel (Standservice – Teil 2)

Zwischen den untersuchten Parametern gibt es keine signifikanten Unterschiede bis auf die Variable „Schulterachse“ bezüglich der Gruppen, wobei ein Trend bei der Torsion ($p = 0,16$) erkennbar ist. Spieler der Gruppe 1 den Oberkörper mehr verdrehen als die der Gruppe 2 oder 3. Beim Abspreizwinkel ($p = 0,14$)

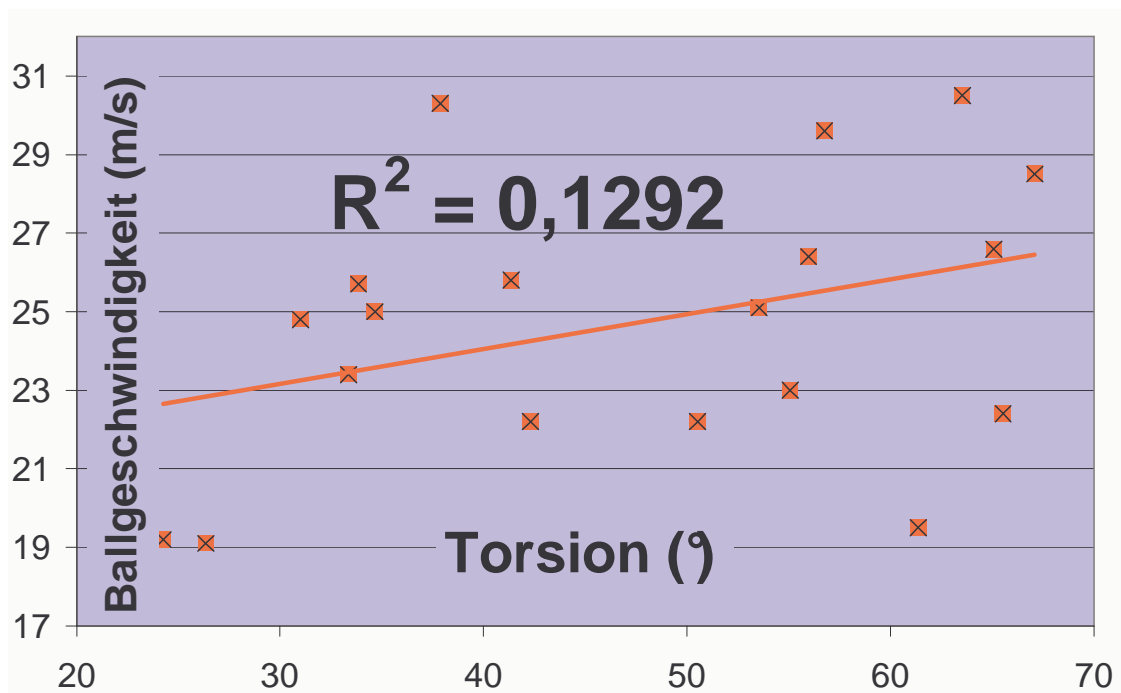
kann festgestellt werden, dass Spieler der Gruppe 1 einen größeren Schwungbeineinsatz (besonders nach vorne) haben als jene von Gruppe 2 und 3.

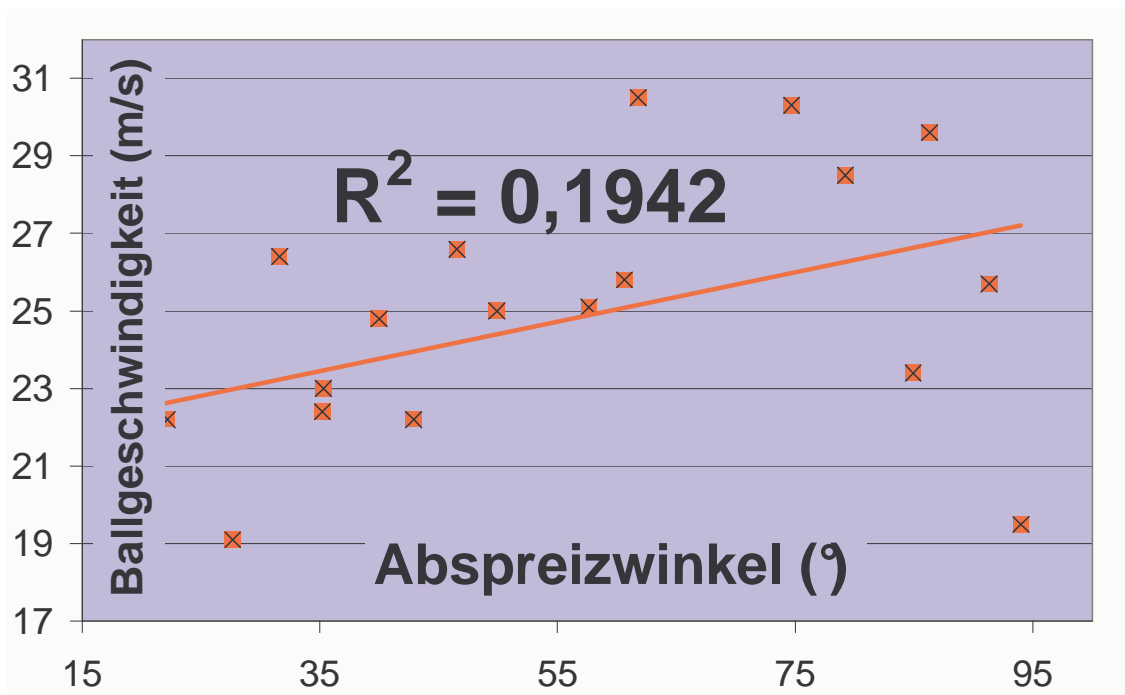
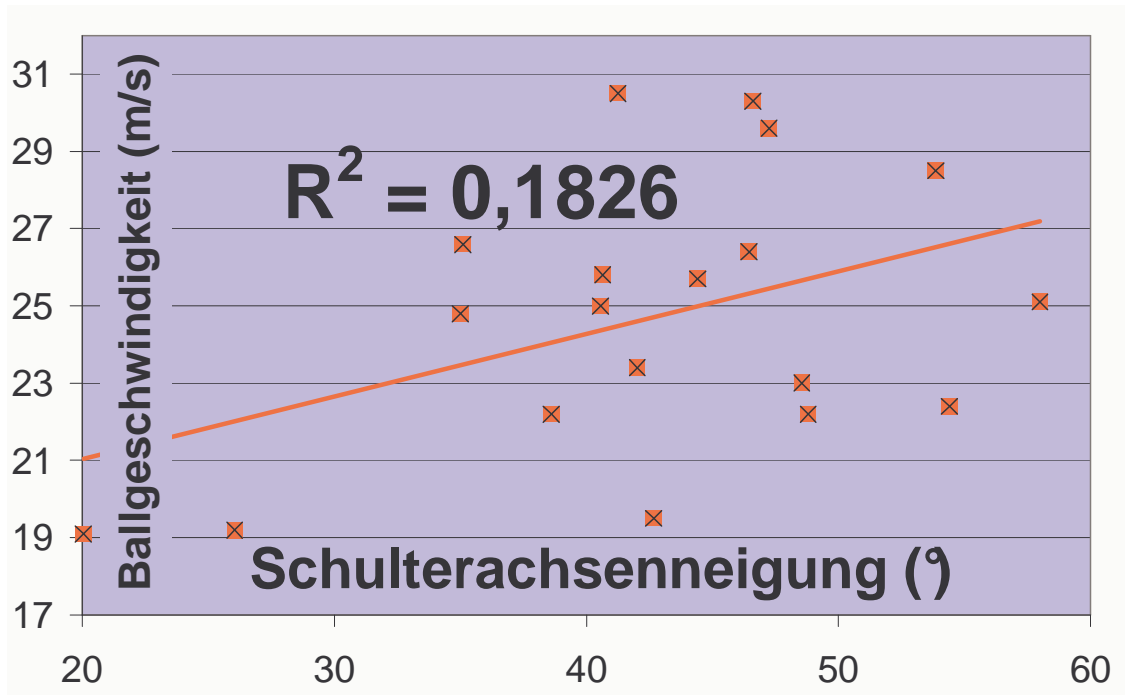
Die nachfolgende Tabelle zeigt die Werte des Oneway-ANOVA Tests.

| Unterschiedsprüfung Oneway - ANOVA | <i>p</i> |
|---------------------------------------|----------|
| Schulterachse (t_0) | 0,049* |
| Beckenachse (t_0) | 0,201 |
| Torsion (max) | 0,160 |
| Ellbogenwinkel (t_0) | 0,555 |
| Kniewinkel (t_0) | 0,418 |
| Abspreizwinkel (max) | 0,138 |

Tabelle 4.3. 1-d: Signifikanzen der Winkelunterschiede beim Standservice

Korreliert man die Parameter „Torsion“, „Schulterachse“ sowie „Abspreizwinkel“ mit der Ballabfluggeschwindigkeit so ergibt sich folgende Bilder:





Dies bedeutet, dass keine Zusammenhänge zwischen den beobachteten Parametern und der Ballgeschwindigkeit besteht.

4.3.2. Sprungservice

Auch hier werden zuerst wieder die Winkelverläufe von Proband B dargestellt:

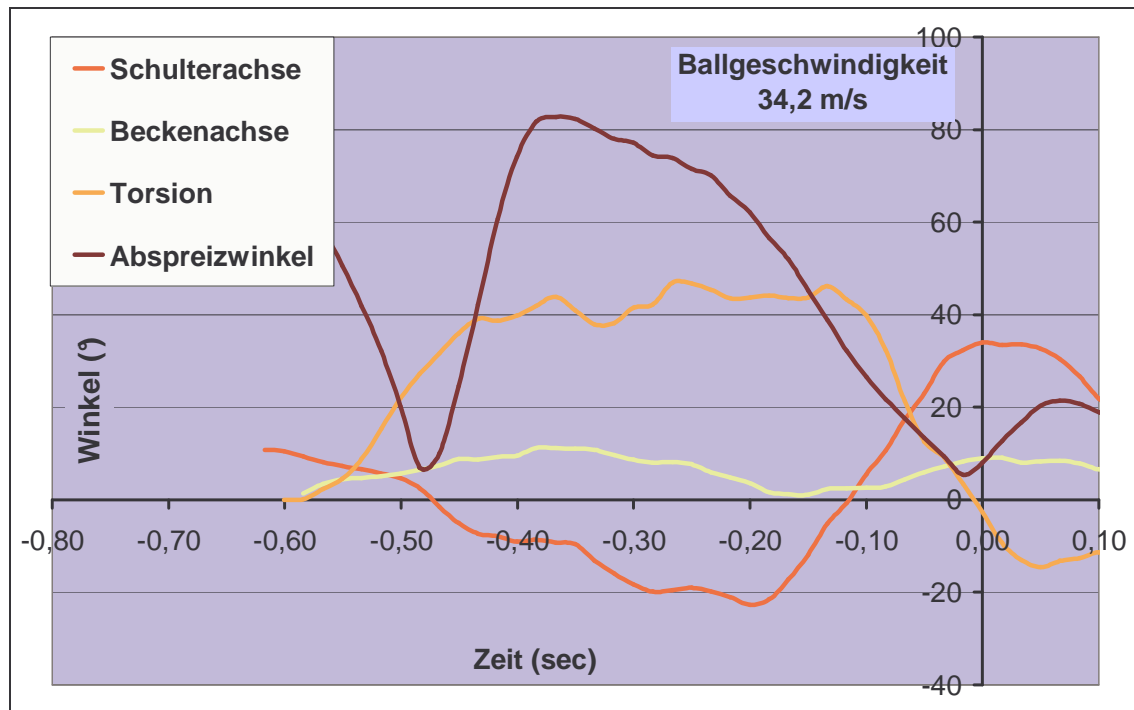


Abbildung 4.3.2-a: Verlauf ausgesuchter Körperwinkel von Proband B (Sprungservice)

Wieder sieht man gut den typischen Verlauf der Schulterachse mit einem Anstellen von $\sim 25^\circ$ bezüglich der Bodenebene 0,2 s vor Balltreff, sowie den Maximalwert zum Zeitpunkt des Balltreffers mit 35° . Dagegen ist die Beckenachse sichtlich geringer zur Bodenebene geneigt und erreicht nur 10° . Besonders auffällig ist der Verlauf des Abspreizwinkels. Das Minimum wird ungefähr 0,50 s vor dem Balltreffen erreicht. Dies kann als „Vorbeischwingen“ des Beines am Absprungbein interpretiert werden (= Absprung). Bei $t = -0,35$ erreicht er sein Maximum mit beachtenswerten 85° und fällt dann stetig zum Balltreffzeitpunkt hin ab.

Auch die Torsion ist typisch für ein Sprungservice. Schon 0,4 s vor Balltreff ist der Oberkörper stark verdreht (\sim Absprung), was bis 0,10 s vor dem Balltreffen anhält (Maximalwert $\sim 50^\circ$). Der Oberkörper „fliegt“ sozusagen schon verdreht in Richtung Ball.

| | $\bar{\alpha}$ (°) | α_{\min} (°) | α_{\max} (°) | σ (°) |
|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Schulterachse (t_0) | 39 | 35 | 48 | ± 5 |
| Beckenachse (t_0) | 14 | 9 | 22 | ± 4 |
| Torsion (max) | 49 | 43 | 55 | ± 5 |
| Abspreizwinkel (max) | 68 | 43 | 83 | ± 14 |
| Ellbogenwinkel (t_0) | 173 | 168 | 177 | ± 3 |
| Bogenspannung (min) | 149 | 142 | 158 | ± 5 |

Tabelle 4.3.2-a: Ausgesuchte Körperwinkel (Sprungservice Gruppe 1)

| Gruppe 2 (n=4) | Mittelwert $\bar{\alpha}$ (°) | Minimum α_{\min} (°) | Maximum α_{\max} (°) | Standardabweichung σ (°) |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Schulterachse (t_0) | 43 | 38 | 48 | ± 4 |
| Beckenachse (t_0) | 16 | 12 | 22 | ± 4 |
| Torsion (max) | 49 | 28 | 60 | ± 13 |
| Abspreizwinkel (max) | 78 | 53 | 100 | ± 18 |
| Ellbogenwinkel (t_0) | 172 | 169 | 175 | ± 2 |
| Bogenspannung (min) | 140 | 130 | 155 | ± 10 |

Tabelle 4.3.2-b: Ausgesuchte Körperwinkel (Sprungservice Gruppe 2)

Beim Sprungservice ergeben sich ähnliche Werte der Winkel. Besonders zu erwähnen ist der Maximalwert der Schulterachse mit 48° und des Abspreizwinkels mit 100° in Gruppe 2. Für den Parameter „Bogenspannung“ gilt es, einen möglichst geringen Wert zu erreichen, wobei Proband F mit 130° in der Gruppe 2 hier das Minimum erzielte.

Beachtenswert ist auch wieder die starke Streuung bei den „Abspreizwinkel“-Werten. Dies ist großteils wieder auf die unterschiedliche, technische Ausführung zurückzuführen.

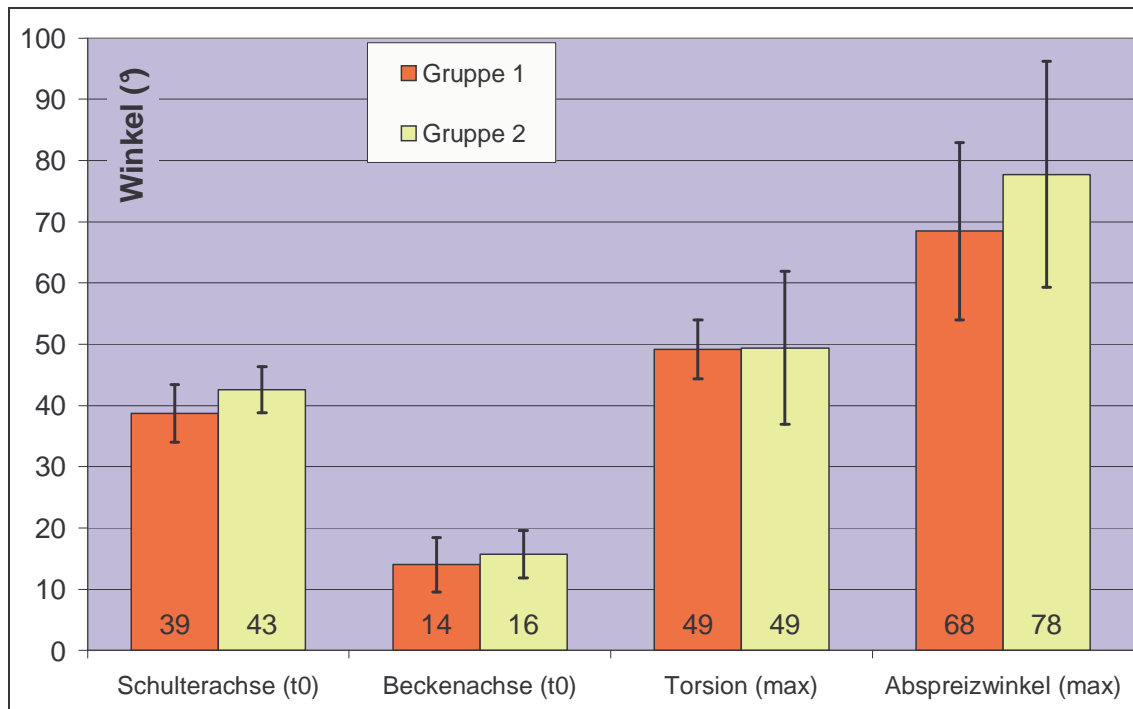


Abbildung 4.3.2-b: Ausgewählte Körperwinkel Sprungservice (Teil 1)

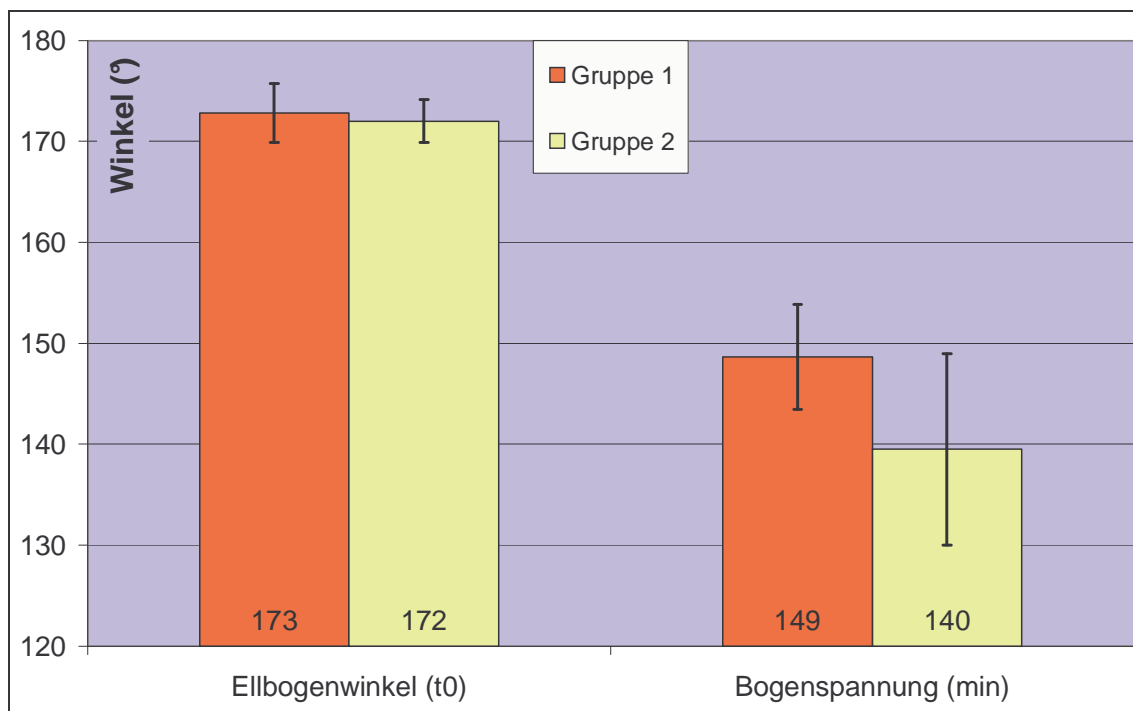


Abbildung 4.3.2-c: Ausgewählte Körperwinkel Sprungservice (Teil 2)

Beim Sprungservice finden sich keine signifikanten Unterschiede in den untersuchten Winkeln; es ist nicht einmal ein Trend festzustellen. Am deutlichsten unterscheiden sich noch „Schulterachse“, „Bogenspannung“.

Die Ergebnisse der t-Tests können in der folgenden Tabelle abgelesen werden:

| <i>Unterschiedsprüfung</i> | <i>p</i> |
|--|----------|
| <i>zweiseitiger, unabhängiger t-Test</i> | |
| Schulterachse (t ₀) | 0,261 |
| Beckenachse (t ₀) | 0,614 |
| Torsion (max) | 0,977 |
| Abspreizwinkel (max) | 0,688 |
| Ellbogenwinkel (t ₀) | 0,499 |
| Bogenspannung (min) | 0,201 |

Tabelle 4.3.2-c: Signifikanzen der Winkelunterschiede beim Sprungservice (T-Test)

4.3.3. Vergleich Stand- und Sprungservice

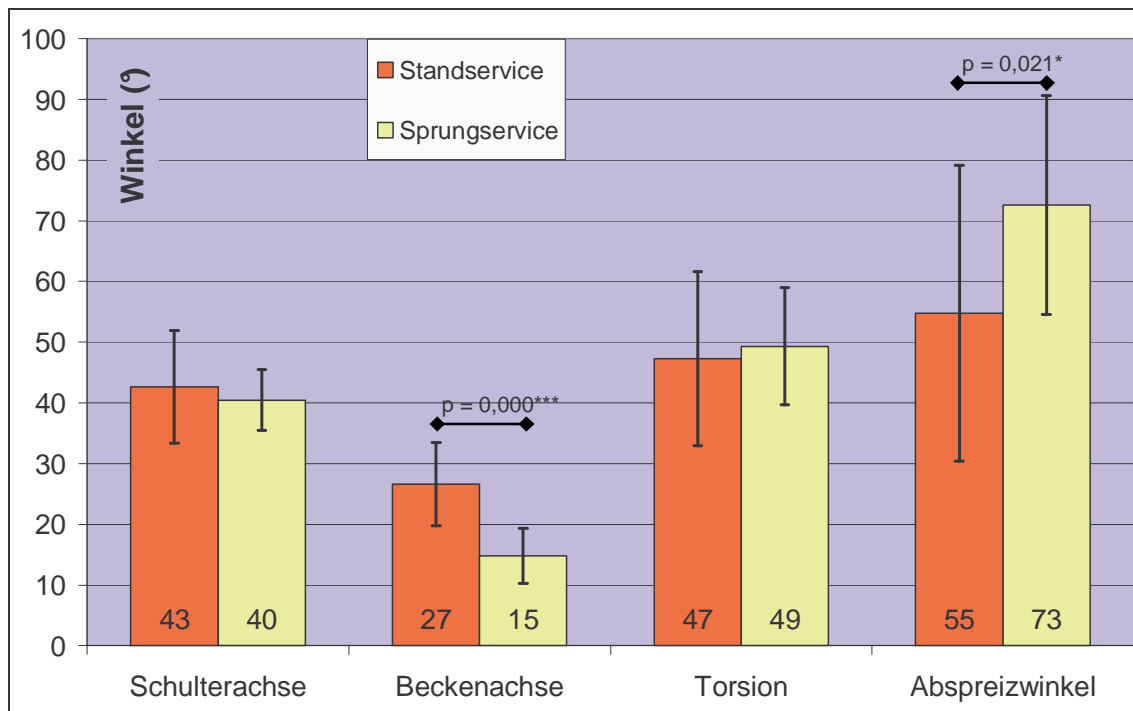


Abbildung 4.3.3-a: Vergleich der Körperwinkel zwischen Stand- und Sprungservice (1)
 (***) Unterschied signifikant für $\alpha = 0,001$; * Unterschied signifikant für $\alpha = 0,05$)

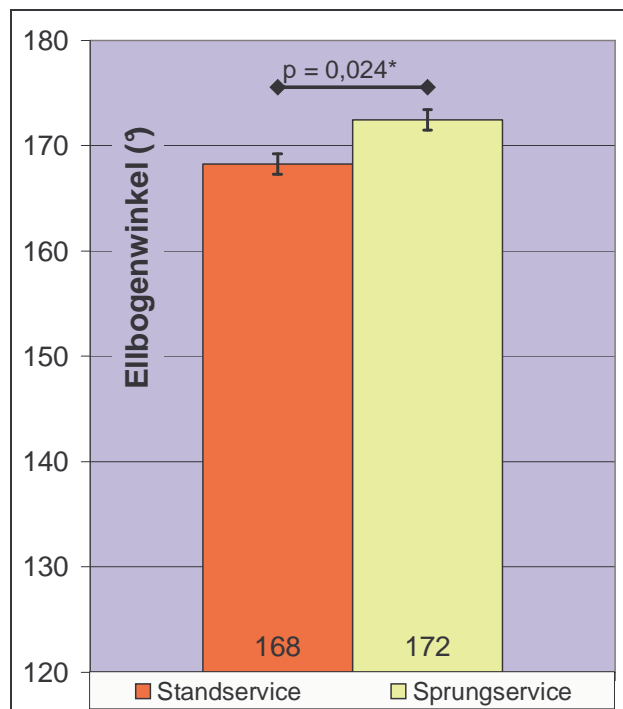


Abbildung 4.3.3-b: Vergleich der Körperwinkel zwischen Stand- und Sprungservice (2)

Die Daten sind bezüglich Mittelwert und Standardabweichung bis auf die Variable „Beckenachse“ einander ähnlich. Der Winkel der Beckenachse erreicht beim Sprungservice nur mehr die Hälfte des Wertes beim Standservice und unterscheidet sich davon mit höchster Signifikanz ($p = 0,000^{***}$). Der Grund dafür ist wahrscheinlich, dass es beim Sprungservice kein Widerlager am Boden gibt und wie schon oben erwähnt, der Körper einen leichten Knick in der Hüfte zur Seite vollzieht.

Einen weiteren signifikanten Unterschied kann man bei der Variable „Abspreizwinkel“ erkennen, wobei beim Sprungservice ein um 30 % höherer Winkel erreicht wurde. Dies ist aus anatomischen und funktionellen Aspekten erklärbar, da das abgespreizte Bein als Schwungbein beim Absprung eingesetzt wird und auch der gesamte Körper sich in der Luft bewegt. Deswegen fällt die Stützaktivität der Standbeinhüfte weg und so kann das Schwungbein weiter abgespreizt werden. Der Unterschied in den Ellbogenwinkeln ist aus der technischen Ausführung heraus nicht erklärbar, kann aber eventuell auf die starken Ausreißer bei den Standservice-Versuchen zurückgeführt werden (Minimum mit 153°).

| <i>Unterschiedsprüfung</i> | <i>p</i> |
|---|----------------------|
| <i>Einseitiger, unabhängiger T-Test</i> | |
| Schulterachse | 0,427 |
| Beckenachse | 0,000 ^{***} |
| Torsion | 0,669 |
| Ellbogenwinkel | 0,024 |
| Abspreizwinkel | 0,042 [*] |

Tabelle 4.3.3-a: Signifikanzen der Winkelunterschiede beim Sprungservice (T-Test)

4.4. Ballparameter

4.4.1. Ballgeschwindigkeiten

Der wohl wichtigste Parameter im Faustball und somit auch in der Untersuchung ist die maximale Ballabfluggeschwindigkeit.

In den vergangenen 15 - 20 Jahren konnte man verfolgen, dass der Faustballsport immer mehr durch schnelle Angriffsschläge dominiert wurde. Obwohl vielerorts die Devise „Ziel vor Schärfe“ ausgegeben wird, ist es doch die Schlagschärfe (= Ballabfluggeschwindigkeit), die in der Praxis durch Training maximiert werden soll und auch wird.

Die Geschwindigkeit des Faustballes wurde mithilfe der 3D-Streckenmessung zwischen den beiden Bildern nach dem Balltreffen händisch³² berechnet mit:

$$v = \frac{s}{t}$$

(t ergab sich aus der Aufnahme Frequenz von 59,94 Hertz (Softwaremäßig erreicht) somit mit $1/59,94 \approx 0,01668335$ s)

4.4.1.1. Standservice

| <i>Maximale Ballgeschwindigkeit</i> | <i>Mittelwert \bar{v} (m/s)</i> | <i>Minimum v_{\min} (m/s)</i> | <i>Maximum v_{\max} (m/s)</i> | <i>Standardabweichung σ (m/s)</i> |
|-------------------------------------|--|--|--|---|
| Gruppe 1 | 29,7 | 28,5 | 30,5 | ± 0,8 |
| Gruppe 2 | 25,0 | 22,4 | 26,6 | ± 1,4 |
| Gruppe 3 | 21,5 | 24,8 | 19,1 | ± 2,1 |

Tabelle 4.4.1-a: Ballabfluggeschwindigkeiten Standservice (gruppenspezifisch)

³² Aufgrund der wenigen Nachlaufbilder der Videoaufnahme lieferte SIMI keine korrekten Ergebnisse, da das Programm einen Algorithmus verwendet, der mind. 6 - 7 Nachlaufbilder zur korrekten Geschwindigkeitsberechnung benötigt.

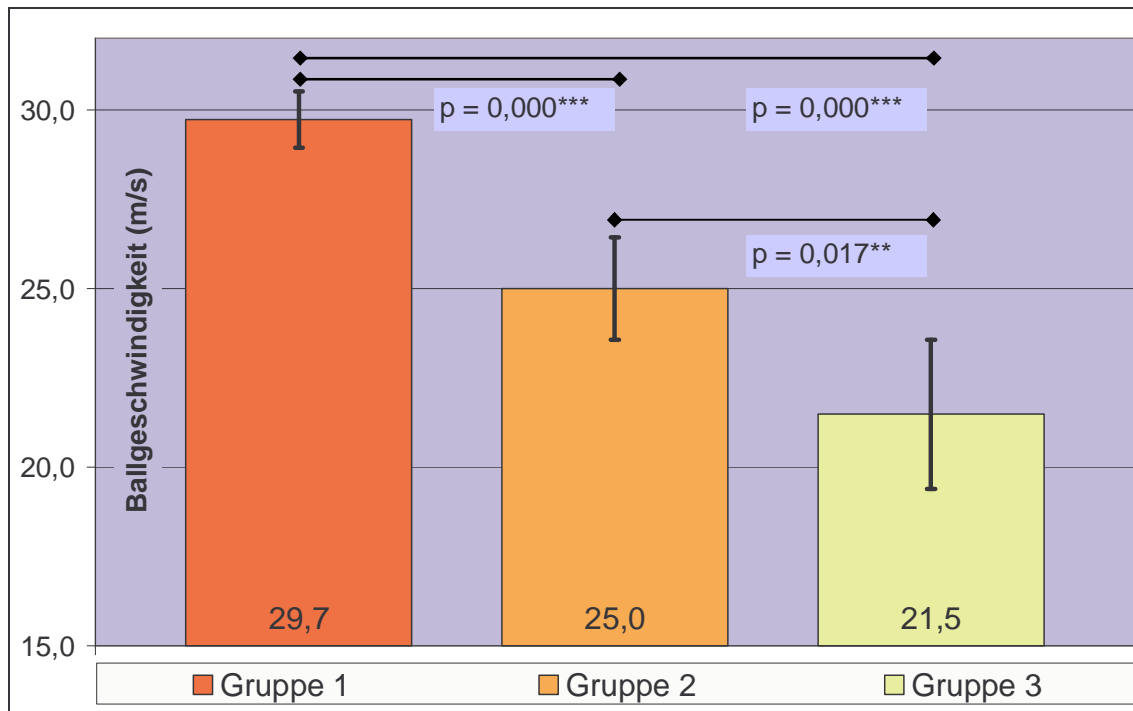


Abbildung 4.4.1-a: Maximale Ballgeschwindigkeiten Standservice (gruppenspezifisch)

Hier findet man höchstsignifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen. In Prozentwerten ausgedrückt bedeutet, es dass die Gruppe 2 nur mehr 85 % und Gruppe 3 nur mehr 72 % der Geschwindigkeit der Gruppe 1 erreicht. In der Abbildung 4.4.1-a wurden die Signifikanzen der Post-HOC-Tests (Tamhane) eingetragen, wobei sich deutlich die Gruppe 1 von den anderen beiden Gruppen hervorhebt.

| Unterschiedsprüfung | Signifikanz |
|---------------------|-------------|
| Oneway-ANOVA | |
| Ballgeschwindigkeit | 0,000*** |

Tabelle 4.4.1-b: Signifikanzen der Ballgeschwindigkeitsunterschiede beim Standservice (Oneway – ANOVA)

Beachtenswert ist der Maximalwert von 30,5 m/s (= 110 km/h) von Proband A, der in Österreich jedoch nicht zu den Aufschlägern mit der höchsten Ballgeschwindigkeit gehört. Leider war es nicht möglich, die Servicespieler mit der (vermuteten) höchsten Ballgeschwindigkeit zu testen, jedoch darf angenommen werden, dass der Maximalwert bei diesen Spieler sicher noch um

10-15 km/h höher liegt als beim Probanden A.³³ Beim Bundesligafinale 2004 wurde mithilfe einer Radarmessung Geschwindigkeiten zwischen 125 und 130 km/h ermittelt, wobei an der Reliabilität von solchen eher publikumswirksamen Geräten gezweifelt werden darf.

Die mutmaßliche maximale Ballgeschwindigkeit – erreicht bei einem Rückschlag – kursiert in Faustballerkreisen mit über 140 km/h!

4.4.1.2. Sprungservice

| Maximale Ballgeschwindigkeit | Mittelwert \bar{v} (m/s) | Minimum v_{\min} (m/s) | Maximum v_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m/s) |
|------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Gruppe 1 | 30,3 | 27,5 | 34,2 | $\pm 2,5$ |
| Gruppe 2 | 24,1 | 22,1 | 26,9 | $\pm 1,9$ |

Tabelle 4.4. 1-c: Maximale Ballgeschwindigkeiten beim Sprungservice (gruppenspezifisch)

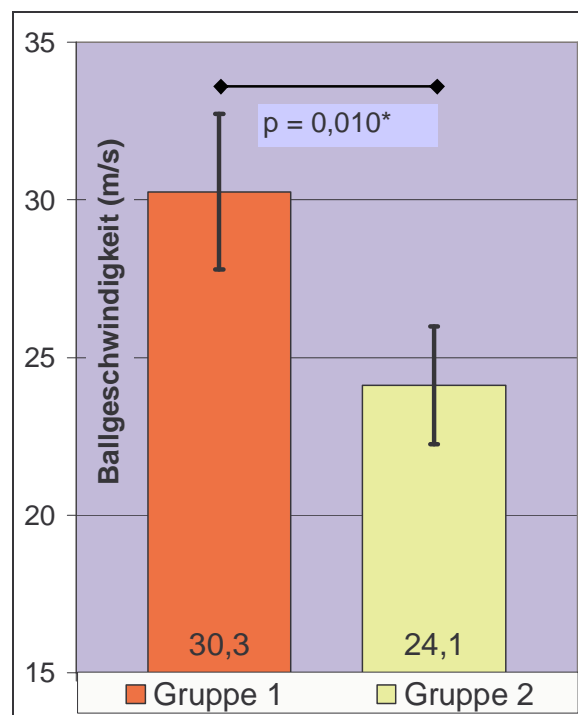


Abbildung 4.4. 1-b: Ballabfluggeschwindigkeiten Sprungservice (gruppenspezifisch)

³³ Der Ball hat 0,365 kg Masse und somit kurz nach dem Balltreffer besitzt einen Impuls von ~11,1 Ns sowie eine kinetische Energie von ~170 Nm.

Beim Sprungservice fällt erstens der hohe Maximalwert von 34,2 m/s (= 123 km/h) von Proband B auf, zweitens der signifikante Unterschied ($p = 0,01^*$) zwischen den beiden Gruppen. Das Maximum der Gruppe 2 liegt noch immer 0,6 m/s unter dem Minimum von Gruppe 1.

4.4.1.3. Vergleich Stand- und Sprungservice

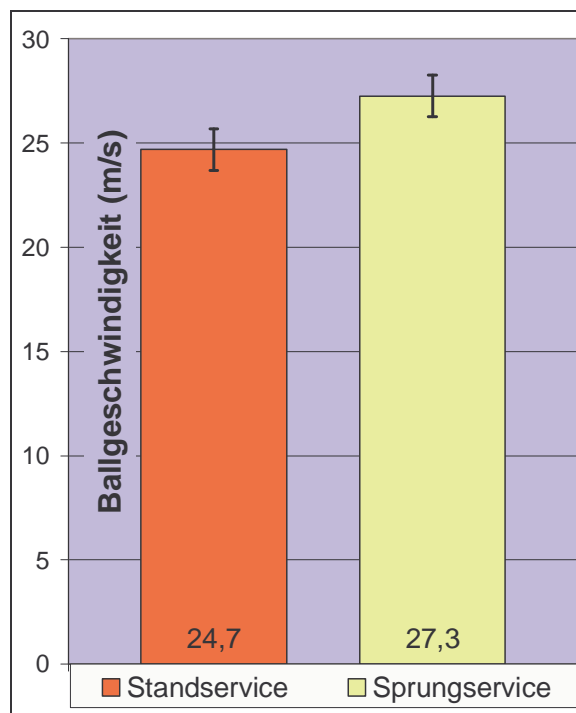


Abbildung 4.4.1-c: Vergleich der Ballabfluggeschwindigkeiten beim Stand- und Sprungservice

Beim Vergleich der Ballabfluggeschwindigkeiten ergibt sich zwar kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0,053$), jedoch wird auf eindeutige Weise die Erwartung bestätigt, dass mit dem Sprungservice höhere Ballgeschwindigkeiten erzielt werden können. Auch wenn man die absolute Differenz von 2,6 m/s betrachtet, so hat dies für die Praxis schon Relevanz, da ein ~10 km/h schnellerer Schlag schon bedeutend schwieriger zu erlaufen und abzuwehren ist.

Wenn man die Unterschiede der einzelnen Probanden zwischen Stand- und Sprungservice noch etwas spezieller studiert, dann ist klar ersichtlich, dass die

jeweiligen Probanden mit dem Sprungservice höhere Ballgeschwindigkeiten als mit dem Standservice erzielen konnten.

4.4.2. Flugbahn des Balles

Die Untersuchung der Flugbahn des Balles stellt einen weiteren wichtigen Aspekt in der vorliegenden Arbeit dar, da somit ein – auch für das praktische Training – schnell beobachtbarer Parameter eingeführt wurde.

Wie schon im Kapitel „Theoretischer/physikalischer Hintergrund“ erwähnt, hat der Ballaufwurf einen wichtigen Einfluss auf das Ergebnis des Service. So muss auch angemerkt werden, dass dieser bei einem langen Service mit großer Wahrscheinlichkeit anders ausfallen wird, als bei einem kurzen Service oder einer Finte, und somit der Balltreffpunkt auch variiert.

4.4.2.1. Standservice

Hier sei zuerst wieder der Verlauf des Balles bei Proband A aus der Sagittalsicht dargestellt (vgl. dazu auch Kapitel 4.1.1 „Standservice“).

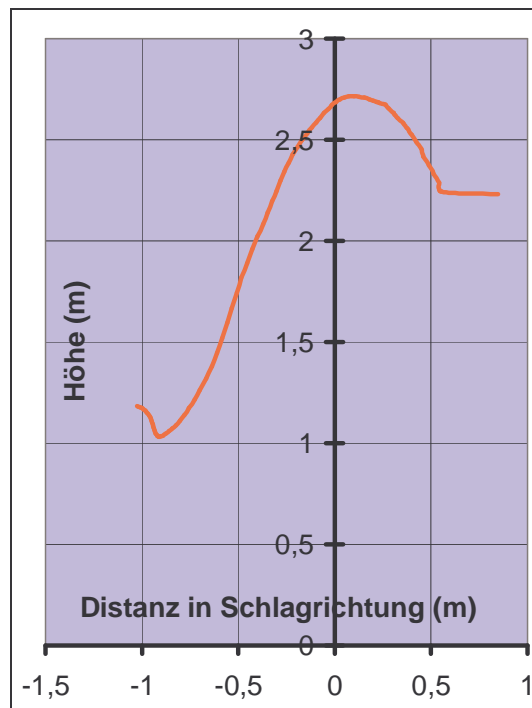


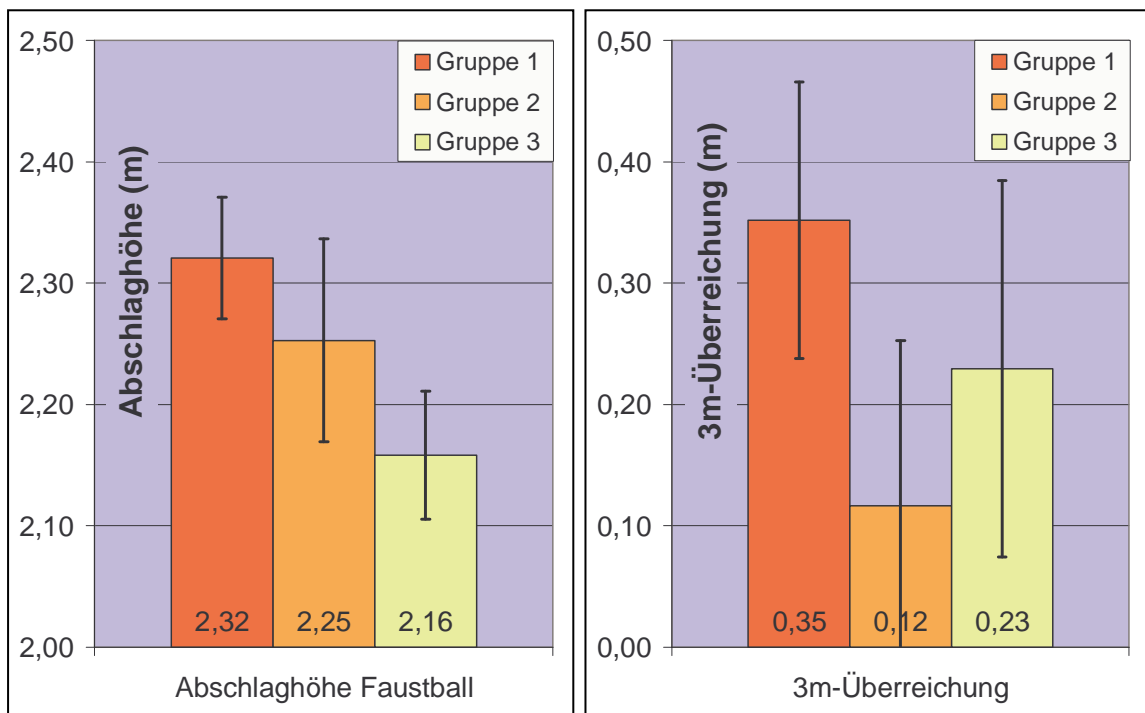
Abbildung 4.4.2-a: Ballflug in Sagittalsicht (Standservice – Proband A)

| Ballabschlaghöhe | Mittelwert \bar{h} (m) | Minimum h_{\min} (m) | Maximum h_{\max} (m) | Standardabweichung σ (m) |
|------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Gruppe 1 | 2,32 | 2,29 | 2,41 | $\pm 0,05$ |
| Gruppe 2 | 2,25 | 2,09 | 2,41 | $\pm 0,08$ |
| Gruppe 3 | 2,16 | 2,09 | 2,23 | $\pm 0,05$ |

Tabelle 4.4.2-a: Ballabschlaghöhen (gruppenspezifisch)

| 3m-Überreichung | Mittelwert \bar{d} (m) | Minimum d_{\min} (m) | Maximum d_{\max} (m) | Standardabweichung σ (m) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Gruppe 1 | 0,35 | 0,21 | 0,53 | $\pm 0,11$ |
| Gruppe 2 | 0,12 | -0,11 | 0,33 | $\pm 0,14$ |
| Gruppe 3 | 0,23 | 0,03 | 0,47 | $\pm 0,16$ |

Tabelle 4.4.2-b: 3 m-Überreichung (gruppenspezifisch)

Abbildung 4.4.2-b: Abschlaghöhe
Faustball - StandserviceAbbildung 4.4.2-c: 3 m-Überreichung
Faustball zum Zeitpunkt des Treffers
Standservice

Bei den Abschlagshöhen kann man den Trend feststellen (keine signifikanten Unterschiede), dass Spieler der Gruppe 1 höhere Werte erreichen als die der Gruppe 2 und 3. Dies ist jedoch auch gut erklärbar, da bei einem genaueren Blick auf die Gruppenstatistik, in Gruppe 1 auch die Probanden mit größerer Körpergröße sind (Korrelation zwischen Körpergröße und Abschlagshöhe ist mit $r = 0,79$ hochsignifikant). Wenn deshalb die relativen Abschlagshöhen in den Interessensfokus gestellt werden, dann erkennt man, dass alle Gruppen bezüglich Körpergröße ungefähr gleich hoch abschlagen. In Prozent der Körpergröße ausgedrückt reicht die Bandbreite von ungefähr 120 % bis 128 %. Bei der 3m-Überreichung ist ein signifikanter Unterschied gegeben, wobei Spieler der Gruppe 1 den Ball weiter vor der 3m-Linie, also Leinen-näher treffen als Spieler der Gruppe 3.

| <i>Unterschiedsprüfung</i> | <i>Signifikanz</i> |
|----------------------------|--------------------|
| <i>Oneway-ANOVA</i> | |
| 3m-Überreichung | 0,047* |
| Abschlagshöhe Faustball | 0,057 |

Tabelle 4.4.2-c: Signifikanzen der Ballparameterunterschiede beim Standservice (Oneway-ANOVA)

4.4.2.2. Sprungservice

Der Parameter „3m-Überreichung“ konnte beim Sprungservice statistisch nicht ausgewertet werden, da (speziell) die Probanden der zweiten Gruppe teilweise beim Service viel weiter hinten als nötig abgesprungen sind.³⁴ So sei hier nur der Wert von Proband B mit -0,69 m angegeben, was bedeutet, dass der Ball in ungefähr 3,7 m Entfernung zur Leine getroffen wurde³⁵ (vgl. dazu Abbildung 4.4.2-e).

³⁴ Dies weist nicht darauf hin, dass die Probanden der Gruppe 2 das Sprungservice nicht häufig durchführen.

³⁵ Der Ball könnte natürlich viel näher an der Leine getroffen werden (Sprungweiten bis 3 m), jedoch muss der erste Bodenkontakt nach dem Sprungservice hinter der 3m-Linie erfolgen.

| Ballabschlaghöhe | Mittelwert \bar{h} (m) | Minimum h_{\min} (m) | Maximum h_{\max} (m/s) | Standardabweichung σ (m) |
|------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Gruppe 1 | 2,48 | 2,40 | 2,60 | $\pm 0,07$ |
| Gruppe 2 | 2,32 | 2,16 | 2,44 | $\pm 0,11$ |

Tabelle 4.4.2-d: Abschlaghöhe Faustball – Sprungservice

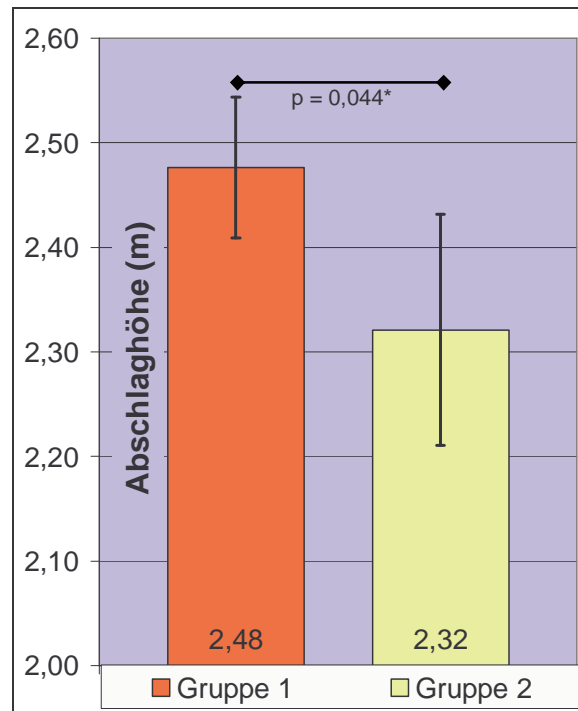


Abbildung 4.4.2-d: Abschlaghöhe Faustball – Sprungservice

Die Ballabschlaghöhen unterscheiden sich signifikant, wobei wiederum die Beobachtung aus der Praxis bestätigt, dass die Spieler der Gruppe 1 den Ball höher abschlägt. Das Maximum von 2,60 m wurde von Proband C erreicht, der auch schon beim Standservice die maximale Abschlaghöhe erzielte.

Der Verlauf des Balles und des Körperschwerpunktes von Proband B wird exemplarisch wieder dargestellt.

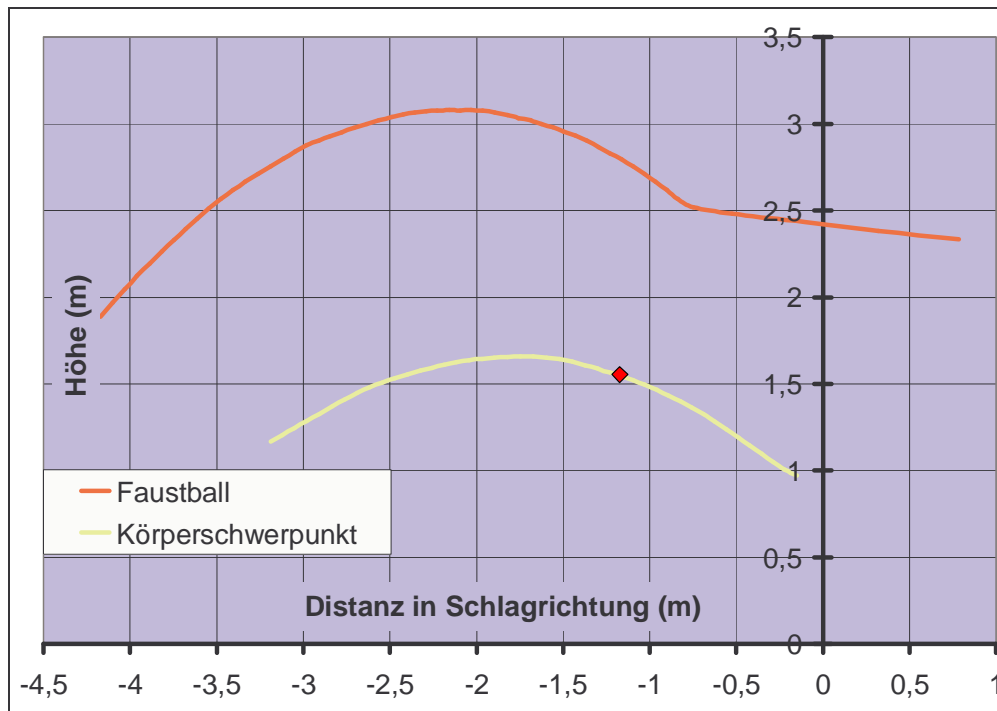


Abbildung 4.4.2-e: Ballflug und KSP-Verlauf aus Sagittalsicht (Sprungservice – Proband B)

Deutlich sieht man nun eine breitere Flugparabel des Balles. Der Ball ist nun ungefähr 3,5 m in Schlagrichtung von Ballabwurf bis Balltreffer frei in der Luft. Auch das Höhenmaximum von 3,10 m ist gut erkennbar und zeigt, dass der Ball beim Sprungservice viel höher aufgeworfen wird (und auch werden muss) als beim Standservice. Der Treffpunkt findet wie schon erwähnt jetzt vor der Servicelinie statt, da die Landung noch davor erfolgen muss.

Mit gelb eingefärbter Linie ist der Verlauf des Körperschwerpunkts (nach HANAVAN) eingezeichnet, der ebenfalls einer schönen Parabelflugbahn folgt. Der Zeitpunkt des Balltreffens ist mit einem (roten) Symbol gekennzeichnet und daraus ist ersichtlich, dass der Balltreffpunkt keineswegs zum Zeitpunkt der maximalen Flughöhe erfolgt. Ein Grund hierfür kann nicht angegeben werden, da es nach biomechanischen Gesichtspunkten vorteilhafter wäre, denn Ball am höchsten Punkt zu treffen.

Die Sprunghöhe kann indirekt aus der KSPs-lage in Ruhe mit ~50 cm berechnet werden.

4.4.2.3. Vergleich Stand- und Sprungservice

Der Vollständigkeit halber sei der Vergleich der Abschlagshöhen zwischen Stand- und Sprungservice angeführt, da sich aufgrund der verschiedenen Ausführungen der beiden Servicetechniken die Werte intuitiv unterscheiden müssen.

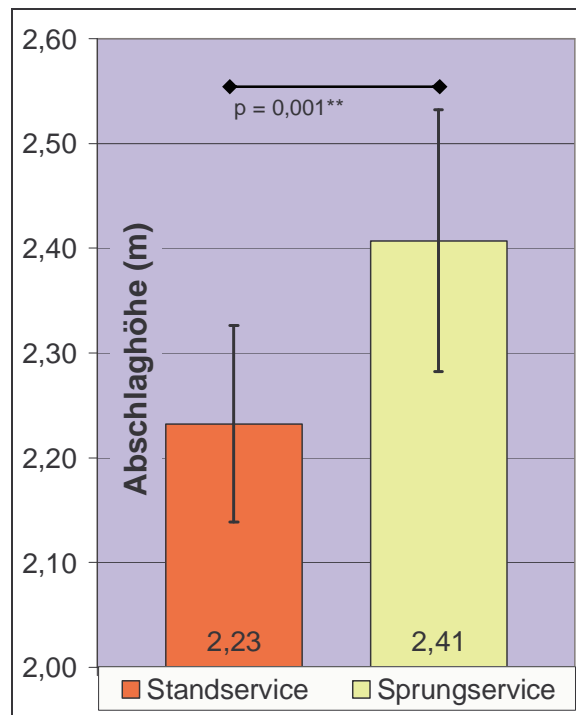


Abbildung 4.4.2-f: Vergleich der Abschlagshöhen zwischen Stand- und Sprungservice

Der Unterschied beträgt im Mittel 18cm, was aber viel kleiner als die Sprunghöhe ist. D. h. der Ballabschlagpunkt verschiebt sich beim Sprungservice nicht einfach um die Sprunghöhe nach oben, sondern findet etwa bei der Hälfte der Sprunghöhe statt.

4.5. Rechnerische Ergebnisse – Effektive Schlagmasse

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Mittelwerte effektiven Schlagmassen (= die Masse die beim teilelastischen Stoß bei gegebener Faust- und Ballgeschwindigkeit wirken muss) der Gruppen aufgelistet.

| <i>Effektive Masse Standservice</i> | <i>Mittelwert \bar{m} (kg)</i> | <i>Minimum m_{\min} (kg)</i> | <i>Maximum m_{\max} (kg)</i> | <i>Standardabweichung σ (kg)</i> |
|---|---|---|---|--|
| Gruppe 1 (n = 4) | 1,37 | 1,13 | 1,66 | 0,22 |
| Gruppe 2 (n = 8) | 0,95 | 0,71 | 1,16 | 0,16 |
| Gruppe 3 (n = 7) | 0,76 | 0,53 | 0,96 | 0,14 |

Tabelle 4.4.2-a: Effektive Schlagmasse beim Standservice

| <i>Effektive Masse Sprungservice</i> | <i>Mittelwert \bar{m} (kg)</i> | <i>Minimum m_{\min} (kg)</i> | <i>Maximum m_{\max} (kg)</i> | <i>Standardabweichung σ (kg)</i> |
|--|---|---|---|--|
| Gruppe 1 (n = 5) | 1,08 | 0,84 | 1,30 | 0,20 |
| Gruppe 2 (n = 4) | 0,93 | 0,68 | 1,31 | 0,29 |

Tabelle 4.4.2-b: Effektive Schlagmasse beim Sprungservice

Aus der Standservice-Tabelle ist ersichtlich, dass Probanden der Gruppe 1 eine höhere effektive Schlagmasse besitzen (einfaktorielle Varianzanalyse: $p = 0,000^{***}$) als Probanden der Gruppen 2 und 3. So kann z. B. Proband B mit ~1,7 kg (Maximalwert) effektiv auf den Ball einwirken, wogegen Proband O (Minimum) nur mit einem Drittel dieser Masse seinen Impuls erzeugen kann.

Beim Sprungservice ergeben sich keine signifikanten Unterschiede, wobei auch der absolute Unterschied der Mittelwerte von 0,15kg um einiges geringer als beim Standservice ausfällt.

Erwartungsgemäß korreliert die effektive Schlagmasse mit dem Körpergewicht hoch ($r = 0,69^{**}$) beim Standservice und mittelmäßig ($r = 0,44$) beim Sprungservice.

Diese rein rechnerischen Überlegungen bestätigen jedoch die schon weiter oben im Kapitel 1.4.1 „Theoretischer/physikalischer Hintergrund“ aufgestellte Behauptung, in der Praxis vermehrt eine Erhöhung der Schlagmasse durch Steifhalten des Handgelenks zu trainieren. Somit kann ein Teil der Unterarmmasse mit als Schlagmasse eingesetzt werden.

5. Diskussion und Interpretation

Grundsätzlich können aus den Ergebnissen sehr interessante und wichtige Schlussfolgerungen für die Praxis gezogen werden.³⁶ So beinhalten besonders die Ball-Parameter wichtige Erkenntnisse für die Trainingsarbeit, da diese an Ort und Stelle kontrolliert und verbessert werden können. Aber auch gewisse Winkelstellungen (Schulterachse, Torsion) sind für die Praxis relevant, da ein geschulter Trainer bei Fehlern sofort korrigierend eingreifen kann.

Es liegt nun bei den Trainern, die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen. So gilt es, ein spezielles Training der Schlagbewegung zu entwickeln und einzusetzen, da in den Vereinen zum Großteil kein Techniktraining im engeren Sinne durchgeführt wird. Man beschränkt sich vielmehr auf das Ausnutzen von körper- und talentbestimmten, gegebenen Voraussetzungen eines Sportlers. Allzu oft sieht man, dass im Jugendbereich diejenigen Angreifer werden oder zu Angreifer ausgebildet werden, die ihren Altersgenossen im Wachstum voraus sind. Zu wenig wird auf die technische Ausbildung einer korrekten Schlagbewegung geachtet.

Fälschlich gelernte Schlagbewegungen werden von den Trainern großteils nicht korrigiert und führen zu der hohen Verletzungsanfälligkeit der Angreifer im Adoleszenzalter. So ist ein zu niedriger Ellbogenwinkel zum Zeitpunkt des Balltreffers mit ein Grund für die Ellbogenbeschwerden der Jugendlichen im Faustballsport.

Die hohen Torsionswinkel bei beträchtlicher Oberkörpergeschwindigkeit und die daraus resultierenden (Scher-)Kräfte und Belastungen müssen dem Trainer die Relevanz für ein gezieltes Rumpfmuskulaturtraining – nicht nur der Leistungsoptimierung, sondern vorrangig der Prävention wegen – aufzeigen. Aus den vielen Gesprächen mit jugendlichen Angreifern geht hervor, dass diese bereits häufig über Rückenschmerzen klagen. Aus den Ergebnissen folgernd, dürfte gerade dieser Oberkörpereinsatz doch leistungsbestimmend sein.

³⁶ Teilweise schon in der Ergebnisdarstellung angeführt.

Erstens gilt es, eine Optimierung des Torsionswinkels - unter der Bedingung eine maximale Ballgeschwindigkeit bei möglichst hoher Treffergenauigkeit zu erreichen - anzustreben. Dass eine Maximierung dieses Parameters auch eine höhere Ballgeschwindigkeit zur Folge hat, konnte in dieser Untersuchung nicht nachgewiesen werden, da die Korrelation zwischen Torsion und Ballgeschwindigkeit mit nur $r = 0,376$ gegeben ist.

Zweitens geht es aber auch um die Bewusstseinschärfung über den wichtigen Einsatz des Oberkörpers. Viele Angreifer schlagen ihre Bälle „aus der Schulter heraus“ und setzen die größte Teilmasse (den Oberkörper) zu wenig effektiv ein. Aus der genauen Betrachtung des Probandengutes folgt auch, dass es von Vorteil ist, mehr Körpermasse zu haben, da dadurch der Impuls bei gleicher Schlag-Geschwindigkeit höher ist und daraus wieder eine höhere Ballgeschwindigkeit resultiert.

Zum Thema Impulsübertragung sei angemerkt, dass sich dafür ein exaktes Zusammenspiel von Agonisten und Antagonisten verantwortlich zeigt.³⁷ So muss im Training darauf geachtet werden, nicht nur die Muskulatur, die für die Beschleunigung der Körpersegmente zum Ball hin verantwortlich ist, zu trainieren, sondern auch gezielt die Antagonisten zu kräftigen und speziell ein intermuskuläres Training zu forcieren.

Die Parametergruppe „Körperwinkel“ weist weniger signifikante Unterschiede auf als erwartet, da dadurch die Differenzen in den Gelenksachsenpunkt- und Ballgeschwindigkeiten nicht gut erklärt werden können.

Es scheint, dass bei allen Spielern der unterschiedlichen Gruppen die technische Ausführung annähernd gleich ist, jedoch die Spieler der Gruppe 1 die Bewegung einfach schneller als Spieler der Gruppe 2 bzw. 3 ausführen und dadurch höhere Körperpunkt- und Ballgeschwindigkeiten erreichen.

Die geringe Probandenanzahl in den jeweiligen Gruppen ist ein möglicher Grund, dass genauere Aussagen nicht getroffen werden können. Zwei weitere Nationalteamspieler, die ausgesprochene Servicespezialisten sind, konnten leider nicht untersucht werden. Dies würde bestimmt noch bessere und verlässlichere Ergebnisse für die Gruppe 1 liefern.

³⁷ Genauere myografische Untersuchungen gibt es im Faustball zwar nicht, aber aus anderen Untersuchungen (Bsp. MÜLLER) geht dies deutlich hervor.

So unterscheidet sich der Parameter „Abspreizwinkel“ nur deshalb nicht signifikant voneinander, da eine zu große Streuung innerhalb der Gruppe vorliegt. Jedoch dürfte gerade dies eine sehr wichtige technische Einflussgröße auf die Abfluggeschwindigkeit des Balles sein (Korrelation von 0,423 beim Standservice), wobei es so scheint, als habe das seitliche Abspreizen des Schwungbeines weniger Effekt, als das „Nach-vorne-Geben“ des Oberschenkels des Schwungbeines. Genauere Untersuchungen werden Klarheit darüber liefern.

Interessant ist auch die Beobachtung der (durch keinen Parameter beschriebene) Fixierung des Schwungellbogens und der Schwunghand auf Hüfthöhe nach dem explosiven Absenken (was auch schon BAYER entdeckte). Grund hierfür ist das Gesetz der Impulsübertragung, da durch ein abruptes Abbremsen der linken Körperseite, die rechte Körperseite (beim Rechtsschläger) zusätzlich beschleunigt wird und nicht wie von LETTENMAYR formuliert: „Er (Der Schwungarm) dürfte einen wesentlichen Beitrag zur Fixierung der Schulterachse leisten.“³⁸

Speziell aus den Ballgeschwindigkeiten lassen sich gute Rückschlüsse auf Reaktionszeit und daraus resultierende Abwehrhandlungen schließen. Wenn man bedenkt, dass ein Ball mit 115 km/h (32 m/s) an die Grundlinie platziert wird und dort wegen des Luftwiderstandes noch immer mit ungefähr 90 km/h (25 m/s) aufschlägt, dann bleibt einem Abwehrspieler ungefähr 0,7 s ab Abschlag für das Reagieren, d. h. für das Erlaufen des Balles und den Beginn einer richtigen Spielaktion. Ein auf dem ersten Blick langer Zeitraum, jedoch wenn man Reaktionszeiten von ~0,2 s einrechnet, dann bleiben für das Erlaufen und Abwehren des Balles nur mehr 0,5 s (vgl. LEITNER 1972, 42ff). Dies ist eine Zeit, in der die oftmals notwendigen Laufwege auf gar keinen Fall durchgeführt werden können. Somit gilt es für den Hinterspieler, das Schlagziel des Gegenübers zu antizipieren und seine Spielaktion schon dann zu starten, wenn der Ball noch nicht getroffen wurde. Dies setzt aber eine genaue Beobachtungsgabe des Abwehrspielers voraus, die durch viel Erfahrung geschult werden kann.

³⁸ Lettenmayr S. 35.

Auch die rechnerischen Ergebnisse liefern gute Informationen für die Trainingsarbeit. Für einen scharfen Schlag ist es notwendig, die effektive Schlagmasse zum Zeitpunkt des Balltreffens für den teilelastischen Stoß zu maximieren, was durch ein Starrhalten der Gelenke ermöglicht wird. Hier stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, mit leichten Zusatzgewichten zu trainieren oder nicht. Eine trainingswissenschaftliche Studie, die diese Frage beantwortet, steht noch aus.

Es geht auch indirekt hervor, dass es für das Erreichen von maximalen Ballgeschwindigkeiten von Vorteil ist, mit härter aufgepumpten Bällen zu spielen, da dadurch der Elastizitätskoeffizient erhöht wird³⁹ und somit weniger kinematische Energie in Deformationsenergie umgewandelt wird.

Schlussendlich bringen die Videoaufnahmen und Animationen ganz aufschlussreiche Ansichten der Faustballservicebewegung, die mit keiner anderen Analyse erzielt werden können. So ist bereits die Darstellung mit Kameras von zwei verschiedenen Blickwinkeln Neuland im Faustball und es können Bewegungsmerkmale durch dieses „stereoskopische“ Sehen gut analysiert werden. Weitaus mehr Möglichkeiten bieten dann natürlich die Darstellungen als Kinegramme, woraus ganz spezielle Faktoren gezielt beobachtet und erforscht werden können.

Zur Untersuchung des Sprungservice muss angemerkt werden, dass einerseits die geringe Probandenzahl, andererseits die Nichtanwendung des Sprungservice von einigen Probanden einiges erklärt. Nur drei der fünf Probanden aus Gruppe 1 wenden das Sprungservice regelmäßig auch in Meisterschaftsspielen an, und trainieren dies auch dementsprechend. Die beiden anderen Probanden der Gruppe 1 sind Standservice-Spieler, die aber schon etwas mit dem Sprungservice experimentierten.

Weiters werden mit den Ergebnissen zum Großteil die Mutmaßungen und Behauptungen sowohl von Faustballspielern als auch -trainern (die auch in den Hypothesen zum Ausdruck kommen) bestätigt. Erst durch den Beweis mithilfe

³⁹ Eine genauere Untersuchung zwischen Ball-Luftdruck und Elastizitätskoeffizienten bei verschiedenen Stoßgeschwindigkeiten steht noch aus.

einer wissenschaftlichen Vorgangsweise und einer biomechanischen Analyse können diese Behauptungen auch gezielt im Training berücksichtigt werden.

Aus dem vielen Datenmaterial, das durch die Digitalisierung erhoben wurde, können noch viele weitere Parameter ausgewertet werden. Die vorliegende Arbeit beschränkte sich auf die aktuell am wesentlichsten erscheinenden Parameter. Weiterführende Untersuchung sollte jedoch mit einer höheren Aufnahmefrequenz erfolgen.

Dies stellt auch das größte Problem der Untersuchung dar. So kann bei der verwendeten Frequenz von 60 Hz speziell die interessantesten 0,25 s vor dem Balltreffen für eine präzise Messung nur unzureichend abgedeckt werden (nur ~15 Bilder), da zwischen den einzelnen Bildern Bewegungen von bis zu 30 cm erfolgen.

Aus diesem Grund sind auch keine zeitlichen Angaben – mit Ausnahme bei den Probanden A und B – in der Ergebnisdarstellung gemacht worden, da die Reliabilität sich dafür in Grenzen hält.

Letztlich bleibt die Diskussion offen, ob mit den beobachteten Parametern eine Faustballservicebewegung präzise beschrieben werden kann, oder ob es noch weitere Einflussfaktoren für ein gutes Service gibt. Da es unzählige Lösungen der Bewegungsaufgabe „Schlage den Ball von der Servicelinie über die Leine so ins gegnerische Feld, sodass Du einen Punkt erzielst“ gibt, kann diese Untersuchung nur ein Datenlieferant sein, um das lange Stand- und Sprungservice zu beschreiben. Zur Orientierung an der (Welt)Spitze wird sie auf jeden Fall dienen, da speziell die Jugend an den Besten der Sportart lernen kann.

5.1. Hypothesenprüfung

Es seien hier noch einmal der Vollständigkeit wegen kurz die Hypothesen aus Kapitel 2 angeführt und auf ihre Gültigkeit hin kurz kommentiert.

Leistungsunterschiede

Hypothese 1:

Es besteht ein Unterschied in den Körperpunktgeschwindigkeiten und der Ballabfluggeschwindigkeit bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.

- H1a:
Es besteht ein Unterschied in der Schlagschärfe (= maximale Ballgeschwindigkeit) bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1b:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit der schlagseitigen Hüfte bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1c:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit der schlagseitigen Schulter bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1d:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit des schlagseitigen Ellbogens bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1e:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit des schlagseitigen Handgelenks bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.
- H1f:
Es besteht ein Unterschied in der maximalen Geschwindigkeit der schlagseitigen Faust bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.

Diese Hypothese kann in allen einzelnen Teilbereichen als bestätigt angesehen werden. Die Beweise sind durch die hohen Signifikanzniveaus gegeben. Folgende Schlussfolgerung darf gezogen werden:

Spieler der Gruppe 1 haben höhere Gelenksachsenpunktgeschwindigkeiten der rechten Körperhälfte und schlagen den Ball schärfer als Spieler der Gruppe 2 bzw. 3.

Es können auch die in WILLIMCZIK (1989, 402f) aufgestellten Charakteristika anhand eines Handballwurfes für gute Würfe bestätigt werden (in Abänderung zu Schlägen).

„1. Bei guten Würfeln (Schlägen) ist der Beschleunigungsweg des Balles (Faust) länger als bei schlechten.“ (WILLIMCZIK 1989, 402f)

Dies geht aus exemplarisch genauer Betrachtung der Beschleunigungswege von guten und schlechten Angreifern hervor.

„2. Bei guten Würfeln (Schlägen) sind die Krümmungen der Bahnen von allen Gelenkspunkten kleiner als bei schlechten.“ (WILLIMCZIK 1989, 402f)

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Bahnkrümmungen der Faust zwar nur exemplarisch beobachtet, jedoch kann bei genauerer Betrachtung des Datenmaterials diese Aussage als bestätigt gesehen werden.

„3. Bei guten Würfeln (Schlägen) sind die maximalen Geschwindigkeiten der einzelnen Gelenkspunkte größer als bei schlechten.“ (WILLIMCZIK 1989, 402f)

Dies wurde im Kapitel 4.2. Körper(teil)geschwindigkeiten signifikant bewiesen.

„4. Bei guten Würfeln ist der Zuwachs an Winkelgeschwindigkeiten eines Gliedes nach der Abbremsung seines proximalen Gelenks größer.“ (WILLIMCZIK 1989, 402f)

Dies wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht und bedarf näherer Betrachtung in der Zukunft.

Hypothese 2:

Es besteht ein Unterschied in der technischen Ausführung bei Spielern mit unterschiedlichem Leistungsniveau.

Die technische Ausführung wird wie folgt operationalisiert:

- H2a:
Wurfseitenfreiheit (Winkel Schulterachse zur Bodenebene)
Diese Hypothese muss verworfen werden!
- H2b:
Ellbogenwinkel zum Zeitpunkt des Balltreffs
Diese Hypothese muss verworfen werden!
- H2c:
Schwungbeineinsatz (größter Winkel zwischen Standbein- und Schwungbeinoberschenkel)
Diese Hypothese muss streng genommen verworfen werden, wobei ein Trend zugunsten der besseren Spieler feststellbar ist
- H2d:
Unterschiedliche Oberkörpertorsion (Winkel zwischen Schulter- und Beckenachse)
Diese Hypothese muss verworfen werden, obwohl ein leichter Trend zugunsten der besseren Spieler erkennbar ist.
- H2e
Unterschiedliche Ballabschlaghöhen
Diese Hypothese muss verworfen werden!
- H2f
Ballabschlag-Distanz zur Leine (Balltreffpunkt über Servicelinie hinaus)
Diese Hypothese kann angenommen werden, bedarf jedoch noch genauerer Untersuchungen.

Es muss aufgrund der durchgeführten Untersuchung festgestellt werden, dass die beobachteten Differenzen zwischen den Gruppen in den Körperpunktgeschwindigkeiten sich nicht durch unterschiedliche Winkelstellungen erklären lassen. Vielmehr ähneln sich die Bewegungsausführungen von Gruppe 1, 2 und 3 Spielern, bis auf die Tatsache, dass Spieler der Gruppe 1 die Bewegungsausführungen schneller vollführt.

Biomechanische Prinzipien

Hypothese 3

Der Faustballschlag weist eine zeitliche Koordination der Einzelimpulse auf, d. h. die Geschwindigkeitsmaxima sind von distal nach proximal zeitlich zum Balltreffpunkt hin versetzt.

Diese Hypothese kann aufgrund der kinematischen Analyse und Sichtung der Daten bestätigt werden, da in fast allen Fällen ein zeitlicher Versatz der Geschwindigkeitsmaxima von proximal nach distal zu beobachten ist.

Unterschiede zwischen Stand- und Sprungservice:

Hypothese 4

Es besteht ein Unterschied zwischen der Schlagschärfe (= maximale Ballgeschwindigkeit) bei einem Standservice und einem Sprungservice.

Diese Hypothese wurde in 4.4.1. Ballgeschwindigkeiten mit hoher Sicherheit bestätigt.

Hypothese 5

Es besteht ein Unterschied in der Abschlaghöhe bei einem Standservice und einem Sprungservice.

Diese Hypothese wurde trivialerweise bestätigt.

Hypothese 6

Es besteht ein Unterschied in den beobachteten Körperwinkel bei einem Standservice und einem Sprungservice.

Diese Hypothese kann nicht nur in einzelnen Punkten bestätigt werden. Zur genaueren Betrachtung sei auf Kapitel 4.3.3 Vergleich Stand- und Sprungservice verwiesen.

5.2. Vergleich mit vorliegenden Studien

5.2.1. Ballgeschwindigkeiten

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Ballgeschwindigkeiten für das Standservice decken sich im Großen und Ganzen mit den schon in früheren Untersuchungen eruierten Geschwindigkeiten. Wenn man jedoch bedenkt, dass in der Untersuchung von LEITNER (1992) bzw. BAYER (1980) die Nationalteamspieler zur Messung herangezogen wurden, und auch in der aktuellen Studie vier Teamspieler analysiert wurden, so ergeben sich in dieser Untersuchung deutlich höhere Geschwindigkeiten.

Nachfolgend die Tabelle mit den gesammelten Ballgeschwindigkeiten in km/h.

| Maximale Ballgeschwindigkeit | Mittelwert \bar{v} (km/h) | Minimum v_{\min} (km/h) | Maximum v_{\max} (km/h) | Standardabweichung σ (km/h) |
|--|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| SCHEIBE (1972) (3 Probanden, 60 Werte) | 92,9 | 82,0 | 104,9 | ± 3,6 |
| BAYER (1980) (8 Probanden, 8 Werte) | 94,2 | 88,4 | 99,3 | ± 3,3 |
| LEITNER (1992) (6 Probanden, 55 Werte) | | | | |
| Vorhandschlag | 100,4 | 93 | 111 | ± 6,13 |
| Hammerschlag | 100,8 | 96 | 112 | ± 6,22 |
| Vorliegende Untersuchung (19 Probanden, 19 Werte) | | | | |
| Standservice | 88,9 | 68,8 | 109,8 | ± 12,7 |
| Sprungservice | 98,2 | 79,4 | 123,0 | ± 13,6 |

Tabelle 5.2.1-a: Ballgeschwindigkeiten bei verschiedenen Autoren

5.2.2. Körperteilgeschwindigkeiten (BAYER 1980)

Obwohl sich die Untersuchung von BAYER (1980) auf die Analyse aus der Sagittalsicht beschränkt (2D), seien hier Vergleiche angegeben.

| | Mittelwert \bar{v} (m/s) | | Minimum v_{\min} (m/s) | | Maximum v_{\max} (m/s) | | Standardabweichung σ (m/s) | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------|
| | BAYER (1980) | SÖSER (2004) | BAYER (1980) | SÖSER (2004) | BAYER (1980) | SÖSER (2004) | BAYER(1980) | SÖSER(2004) |
| Hüfte rechts | 3,5 | 2,6 | 2,2 | 1,5 | 4,5 | 4,0 | ± 0,8 | ± 0,7 |
| Schulter rechts | 5,6 | 3,8 | 3,8 | 2,8 | 6,7 | 6,0 | ± 1,0 | ± 0,7 |
| Ellbogen rechts | 11,5 | 11,0 | 10,2 | 8,5 | 12,5 | 13,2 | ± 0,8 | ± 1,2 |
| Handgelenk rechts | 17,3 | 16,1 | 14,8 | 13,4 | 18,5 | 18,0 | ± 1,3 | ± 1,2 |
| Faust rechts | 20,9 | 18,7 | 18,2 | 15,2 | 22,6 | 21,3 | ± 1,8 | ± 1,4 |

Tabelle 5.2.2-a: Vergleich zwischen Körperteilgeschwindigkeiten bei BAYER (1980) – schwarz und vorliegende Untersuchung – blau

Weiters seien nur noch exemplarisch die Zeitpunkte der Gelenksachsenpunktgeschwindigkeitsmaxima und ausgewählter Winkel der Probanden mit der höchsten Ballgeschwindigkeit verglichen.

| | Werte (m/s) | | Zeitpunkt der Geschwindigkeitsmaxima vor Balltreffer (s) | |
|----------------------|-----------------|-----------------|---|-------------|
| | BAYER (1980) | SÖSER (2004) | BAYER(1980) | SÖSER(2004) |
| Hüfte rechts | 4,5 | 4,0 | 0,09 | 0,15 |
| Schulter rechts | 6,7 | 6,0 | 0,05 | 0,08 |
| Ellbogen rechts | 12,5 | 13,2 | 0,03 | 0,08 |
| Handgelenk rechts | 18,5 | 18,0 | 0,00 | 0,00 |
| Faust rechts | 22,6 | 21,3 | 0,00 | 0,00 |

Tabelle 5.2.2-b: Vergleich zwischen maximalen Körperteilgeschwindigkeiten (jeweils Proband mit maximaler Ballgeschwindigkeit) BAYER (1980) – schwarz und vorliegende Untersuchung – blau

| Winkel | Werte (°) | | Zeitpunkt der Geschwindigkeitsmaxima vor Balltreffer (sec) | |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|---|------------------|
| | BAYER (1980) | SÖSER (2004) | BAYER(1980) | SÖSER(2004) |
| Schulterachse (Anstellwinkel) | 33 | 22 | 0,27 | 0,30 |
| Torsion ⁴⁰ | - | 51 | 0,22 | 0,15 |
| Kniewinkel (Standbein) | - | 177 | 0,22 - 0,00 | 0,12-0,00 |
| Höchster Schwungbeinein- satz | - | - | 0,20 | 0,18 |
| Neigungswinkel ⁴¹ | 75° | 72 | 0,00 | 0,00 |

*Tabelle 5.2.2-c: Vergleich zwischen ausgesuchten Körperwinkel und ihrem zeitlichen Auftreten (jeweils Proband mit maximaler Ballgeschwindigkeit)
BAYER (1980) – schwarz und vorliegende Untersuchung – blau*

Es ergeben sich bezüglich der zeitlichen Auflösung unterschiedliche Ergebnisse, da bei der vorliegenden Untersuchung die Hüftgeschwindigkeit ihr Maximum bereits 15/100 s vor Treffpunkt erreicht, währenddessen bei der Untersuchung von BAYER dies erst 9/100 s vorher erreicht wird.

Bei den Körperwinkeln (speziell bei den Zeitpunkten) ergeben sich nur leichte Unterschiede, die aber nicht nur aus den verschiedenen Bewegungsausführungen resultieren, sondern auch aus der unterschiedlichen Methodik. Da BAYER sich auf die Sagittalebene beschränkte, sind bei ihm Wege in die Raumtiefe nicht erfassbar, sodass sich einige Differenzen erklären.

Bewegungskennzeichen:

Auch die Fixierung des Schwungarms in Hüfthöhe kann nach Sichtung der Videos bei Proband A bestätigt werden. Der Ballwurf dauert beim Probanden von BAYER 0,8 s, wogegen der Ball beim Proband A in der vorliegenden Studie

⁴⁰ Die Torsion (= Verwindung) wurde bei BAYER als die maximale Distanz zwischen Ellbogen und Hüftpunkt in x-Richtung (= Schlagrichtung) definiert.

⁴¹ Als Neigungswinkel definierte BAYER den Winkel zwischen der Linie Hand-Knöchel und Bodenebene. Deshalb wurde zum Vergleich auch dieser Winkel für die vorliegende Untersuchung nachgerechnet.

0,53 s vom Verlassen der Hand bis zum Faustkontakt in der Luft ist, also deutlich kürzer.

6. Ausblick

Im Laufe der Arbeit an dem Thema ergaben sich unzählige Probleme und Fragestellungen, die zum Großteil gelöst wurden. Um noch tiefere und bessere Erkenntnisse über die Biomechanik des Faustballsports zu erhalten, sind viele Anregungen durch die Arbeit gegeben worden.

Erstens wäre es spannend, sich nicht nur auf das Faustballservice zu konzentrieren, sondern auch die anderen Spielelemente wie Abwehr, Zuspiel und im Speziellen den Angriffsschlag im Sprung hinsichtlich zeitlich-kinematischer Daten zu analysieren. Der Rückschlag stellt eine der schwierigsten Bewegungen im Faustball, ja sogar im Sport dar, da die Bewegung nach räumlich-zeitlichen Gesichtspunkten mit dem Ball sehr genau koordiniert werden muss. Minimale Abweichungen haben aufgrund der vielen Parameter (Absprung, Anlaufgeschwindigkeit, Ballabsprunghöhe, Schlagziel, ...) sehr große Streuungen zur Folge, was nur durch eine noch umfangreichere Untersuchung aufgezeigt werden kann.

Zweitens würden myografische Untersuchungen noch weitere, hochinteressante Aufschlüsse über die Aktivitäten der beteiligten Muskulatur geben, wie dies in anderen (Wurf- und Schlag-)Sportarten schon geschehen ist. Speziell auf das Zusammenspiel zwischen Agonisten und Antagonisten in der kinematischen Kette der Wurfbewegung einzugehen, stellt eine große Herausforderung dar. Aber auch die Aktivität der Rumpfmuskulatur wäre von Interesse, da der Oberkörper - wie in der Arbeit des Öfteren aufgezeigt - einen wichtigen Faktor in der Schlagbewegung einnimmt.

Auch eine noch genauere kinematische Auswertung der oberen Extremitäten mit einer Videoaufnahme mit Frequenzen von über 200 Hz brächten noch genauere Daten über den Verlauf der Schlagbewegung. Es könnten daraus wichtige Erkenntnisse über die Rolle des Handgelenks beim Schlag gewonnen, bzw. bei noch höheren Aufnahmefrequenzen die Impulsübertragung auf den Faustball (= Schlageinwirkung) untersucht werden.

So könnten eventuell auch leistungsbestimmende Faktoren für das Service herausgefiltert werden, um die Trainingsarbeit in die Richtung lenken zu können und auch der Verletzungsprophylaxe gesicherte Ergebnisse bereitstellen zu können.

Die vorliegende Arbeit konzentriert auf die Sportart Faustball, jedoch wäre es von sehr großem Interesse über die eigenen Sportarten-Grenzen hinauszuschauen und Vergleiche mit Volleyball, Handball, Tennis, Baseball etc. herzustellen, da in allen diesen Sportarten die Wurfbewegung eine zentrale Rolle spielt. Die feinen Differenzen in der Wurfbewegung bei diesen Sportarten müssten herausgefiltert werden und auch die dort gewonnenen kinematische, dynamische und myografische Erkenntnisse wieder in den Faustballsport übertragbar sein.

Die Vertiefung des theoretischen, physikalischen Hintergrundes kann ein zukünftiges Arbeitsgebiet darstellen, beispielsweise könnten folgende Einzelthemen bearbeitet werden:

- Berechnung des Absprungsverhaltens eines Faustballes
- Berücksichtigung die Ballrotation
- Berücksichtigung des Luftwiderstand in Bezug auf die Flugbahn des Balles
- Laborversuche mit Faustbällen bezüglich Restitutionskoeffizient
- Sprungverhalten (versch. Untergründe, ...)
- Optimierungsaufgaben anhand von Modellen

Letztendlich stehen die Ergebnisse dieser Arbeit erst am Beginn eines längeren Weges, um den Faustballsport wissenschaftlich weiter zu erforschen.

7. Anhang

7.1. Herleitung der verwendeten Formeln

Die in Kapitel 1.3.2 Geometrie des Faustballschlages verwendeten Formeln sollen hier kurz erarbeitet werden.

Für einen Körper, der eine Flugparabel beschreibt, gelten folgende zwei Gleichungen für den Weg x (entlang der Horizontalen) und y (entlang der Vertikalen):

| | | | |
|-----|---|------------|------------------------|
| (1) | $x = v_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot t$ | v_0 | Anfangsgeschwindigkeit |
| (2) | $y = h_0 + v_0 \cdot \sin \alpha_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$ | α_0 | Ablflugwinkel |
| | | h_0 | Abflughöhe |
| | | g | Erdbeschleunigung |

Aus (1) und (2) kommt man durch Auflösen des Gleichungssystems nach t zu folgender Gleichung der Wurfparabel:

$$(3) \quad y = -\frac{g}{2 \cdot v_0^2 \cos^2 \alpha_0} \cdot x^2 + x \cdot \tan(\alpha_0) + h_0$$

Die für die Untersuchung notwendigen Parameter wurden wie folgt definiert:

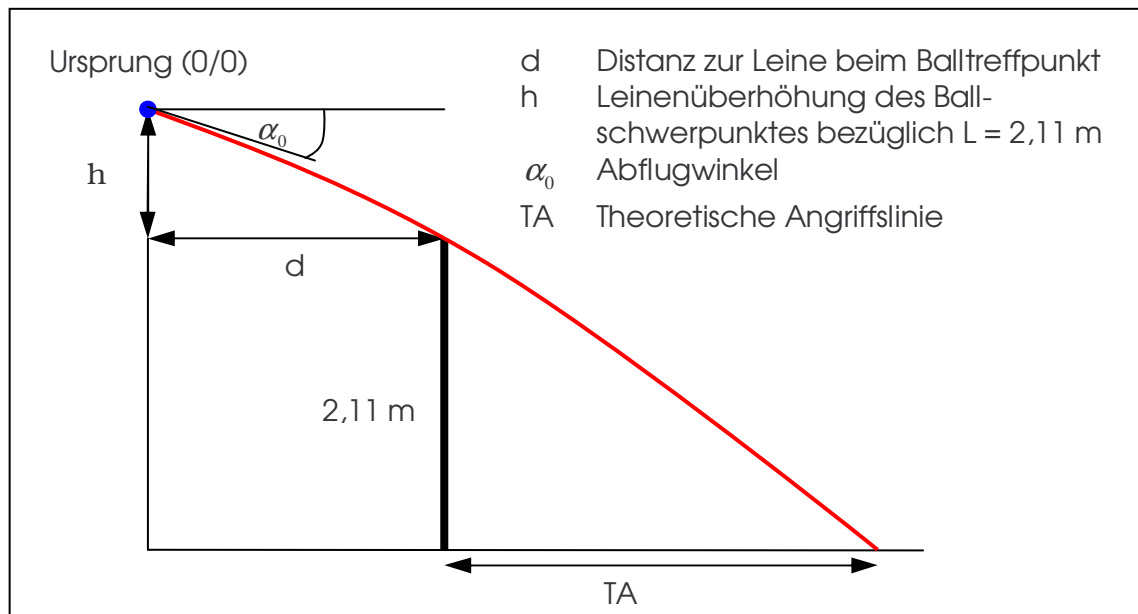


Abbildung 7.1-a Geometrisches Modell zur Erläuterung der Parameter

Nun ist jene Flugparabel gesucht, wo der Schwerpunkt des Balles zum Zeitpunkt t_1 in der Horizontalen den Weg d , in der Vertikalen den Weg $-h$ zurückgelegt hat. In Gleichung (1) bzw. (2) eingesetzt bedeutet das (wobei nun h_0 der Skizze entsprechend vorerst gleich 0 gesetzt wird):

$$(4) \quad d = v_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot t_1$$

$$(5) \quad -h = v_0 \cdot \sin \alpha_0 \cdot t_1 - \frac{g \cdot t_1^2}{2}$$

Daraus ergibt sich folgende Gleichung:

$$(6) \quad -h = d \cdot \tan \alpha_0 - \frac{g}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha_0} \cdot d^2$$

Mit Hilfe des Programms MATHEMATICA 4.0[®] wurde diese Gleichung nach α_0 aufgelöst, was zur folgenden Formel führte:

$$(7) \quad \alpha_0(d, h) = -\text{ArcSec} \left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot v_0^2}{d^2 \cdot g} + \frac{v_0^4}{d^2 \cdot g^2} - \frac{\sqrt{-d^6 g^2 v_0^4 + 2d^4 g h v_0^6 + d^4 v_0^8}}{d^4 g^2}} \right)$$

Diese Formel liefert den Abflugwinkel bei gegebener Leinenüberhöhung h und Distanz zur Leine d .⁴²

Für die Bestimmung der theoretischen Angriffslinie wurde nun die Formel für die Flugweite bei einem schiefen Wurf so modifiziert, dass sie nur mehr von d und h abhängig ist.

$$TA(d, h) = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha_0(d, h))}{2g} + v_0 \cos(\alpha_0(d, h)) \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \left(L + h + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2(\alpha_0(d, h))}{2g} \right)} - d$$

Formel 5.2.2-a: Berechnung der theoretischen Angriffslinie (TA) in Abhängigkeit von Leinenüberhöhung d und Distanz zur Leine d

Nun entspricht L der Leinenhöhe (für den Schwerpunkt des Balles) von 2,11 m. Zusammen mit h ergibt sie die Abflughöhe h_0 . Aus Formel (7) wurde nun der Abflugwinkel berechnet und für die theoretische Angriffszone wurde Formel 5.2.2-a verwendet.

7.2. Genauere Betrachtung der theoretischen Angriffslinie

Die im Kapitel „Geometrie des Faustballschlages“ (Kapitel 1.3.2) angegebenen Werte für die theoretische Angriffslinie gelten im strengen Sinne nur für Schläge, die parallel zur Seitenlinie verlaufen. Wie bereits erwähnt verläuft die TA keineswegs parallel zur Mittellinie, sondern beschreibt einen kurvenförmigen Verlauf.

Folgende Skizze und Ausführungen sollen dies begründen:

Annahmen: - Leinendistanz = 2,5 m
 - Abschlaghöhe = 2,51 m

⁴² Mit ArcSec ist der Arcus Secans bezeichnet, was die Umkehrung des Secans ist, der durch die einfache Gleichung $\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}$ auf die bekannte trigonometrische Funktion des Cosinus zurückführt.

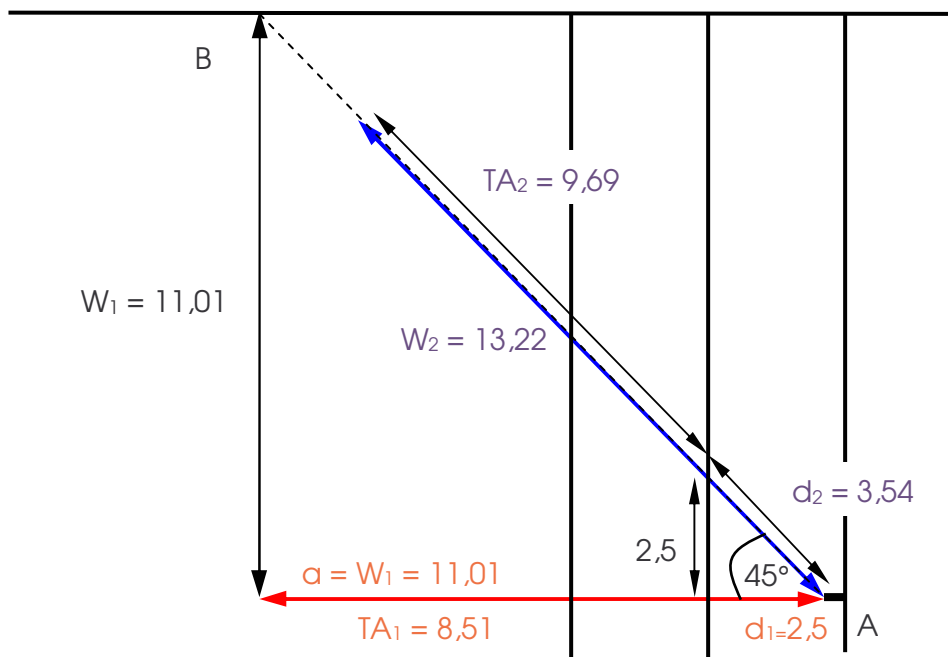


Abbildung 5.2.2-a: Grafische Erläuterung der im Text beschriebenen Argumentation
(alle Angaben in m)

In der ersten Situation (rot dargestellt) wird der Ball von $d_1 = 2,50$ m Entfernung und $2,50$ m Höhe parallel zur Seitenlinie geschlagen. Daraus ergibt sich eine Wurfweite W_1 von $11,01$ m bzw. eine TA_1 von $8,51$ m.

In Situation zwei (blau dargestellt) wird der Ball vom gleichen Abschlagpunkt in einem Winkel von 45° zur Servicelinie geschlagen. Daraus ergibt sich eine Distanz d zur Leine von $d_2 = \sqrt{2,5^2 + 2,5^2} \approx 3,54$ m. Nun folgt aus einer Leinendistanz von $3,4$ m (und der gleichen Höhe von $2,50$ m) eine theoretische Angriffslinie von $TA_2 = 9,69$ m. Somit ergibt sich eine Wurfweite von $W_2 = 13,22$ m.

Wäre jetzt die theoretische Angriffslinie parallel zur Mittellinie müsste die Strecke von A nach B nun $\overline{AB} = \sqrt{11,0^2 + 11,0^2} \approx 15,57$ m betragen.

Da nun eine Differenz von W_2 und der Strecke \overline{AB} von $\sim 2,3$ m vorhanden ist, kann die theoretische Angriffslinie nicht parallel zur Mittellinie sein.

Als Schlussfolgerung bleibt nur noch die Möglichkeit, dass die theoretische Angriffslinie einen leichten Bogen beschreibt. Eine genauere mathematische Berechnung dieser Kurve steht noch aus, würde aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

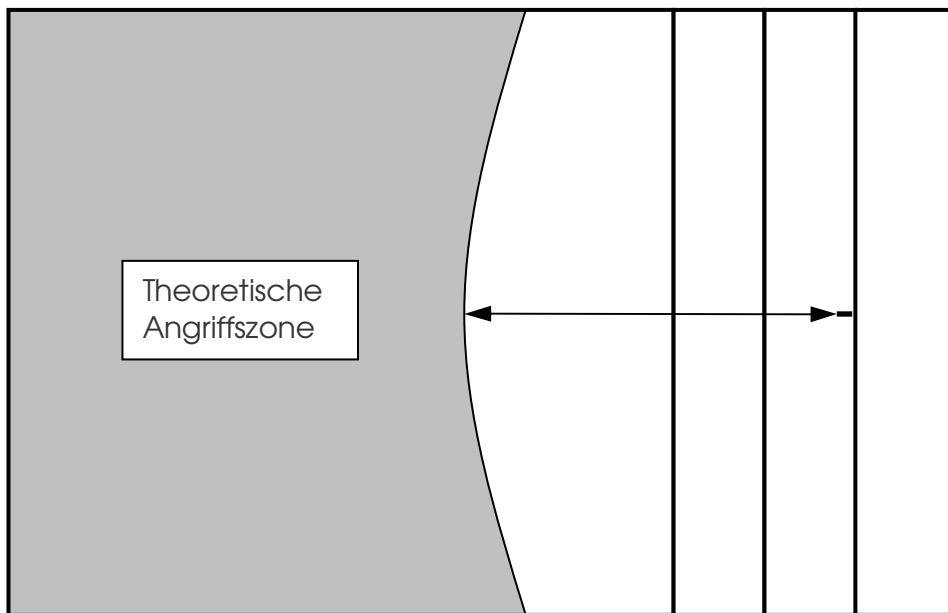


Abbildung 5.2.2-b: Darstellung der modifizierten, theoretischen Angriffszone
(Horizontalebene)

7.3. Kubus-Koordinaten

| Koordinaten des Peak-Kalibrierungskubus | | | |
|---|--------|--------|--------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| A | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| B | 0,481 | 0,423 | 0,344 |
| C | 0,862 | 0,724 | 0,591 |
| D | -0,006 | 1,916 | -0,005 |
| E | 0,477 | 1,505 | 0,339 |
| F | 0,826 | 1,209 | 0,589 |
| G | 2,233 | 1,908 | -0,006 |
| H | 1,743 | 1,502 | 0,340 |
| I | 1,394 | 1,209 | 0,590 |
| J | 2,216 | 0,000 | 0,000 |
| K | 1,736 | 0,423 | 0,344 |
| L | 1,392 | 0,723 | 0,590 |
| M | 2,213 | -0,004 | 1,583 |
| N | 1,735 | 0,419 | 1,240 |
| O | 1,392 | 0,722 | 0,994 |
| P | 2,233 | 1,910 | 1,596 |
| Q | 1,743 | 1,502 | 1,246 |
| R | 1,394 | 1,209 | 0,996 |
| S | 0,000 | 1,910 | 1,598 |
| T | 0,477 | 1,503 | 1,246 |
| U | 0,826 | 1,209 | 0,996 |
| V | 1,000 | 0,000 | 1,586 |
| W | 0,482 | 0,424 | 1,242 |
| X | 0,827 | 0,724 | 0,995 |
| Y | 1,110 | 1,117 | 0,793 |

Tabelle 5.2.2-a: Punktkoordinaten des Peak-Kalibrierungskubus

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird zuerst ein theoretischer Hintergrund über das Sportspiel Faustball dargeboten, um die nachfolgenden theoretischen Betrachtungen und den Untersuchungsgegenstand besser zu verstehen. Grundsätzlich ähnelt es dem Volleyballspiel mit dem großen Unterschied, dass der schwerere Leder-Hohlball zwischen den Kontakten auf dem Boden auftippen darf und dass das Spielfeld mit 50 x 20 m ein Vielfaches des Volleyballfeldes darstellt. Auch das Service ist durch die äußeren Gegebenheiten als effektiver Angriffsschlag einzustufen, da das Service von der 3m vom der in 2m Höhe gespannten Leine ausgeführt wird.

Es folgt eine genauere Betrachtung des Faustballservice mit taktischen Überlegungen und statistischen Auswertungen. Daten von ALMHOFER (2004) belegen die Dominanz des Service mit einem Anteil von 33% an den Spielpunkten.

Ein weiteres Kapitel widmet sich der biomechanischen Sichtweise des Faustballschlages. Der Schlag stellt biomechanisch gesehen einen teilelastischen Stoß dar, der von den Faktoren Faustgeschwindigkeit, Stoßmasse und Elastizitätskoeffizient abhängt. In Anlehnung an HOCHMUTH (1982) werden die biomechanischen Prinzipien – auf den Faustballschlag angewandt – diskutiert und mit den „Kriterien für gute Schläge“ von WILLIMCZIK (1989) ergänzend betrachtet.

Unter Geometrie des Faustballschlages werden zwei physikalische Modelle erstellt. Erstens wird mittels eines trigonometrischen Modells die Differenz ($\Delta\varphi = 0,173^\circ$) im Abflugwinkel für einen um einen Meter ins Aus geschlagenen Ball berechnet. Diese geringe Größe soll darauf hinweisen, dass solche knappen Bälle nicht bewusst steuerbar sind.

Zweitens wird eine umfassende Betrachtung über die Theoretische Angriffszone durchgeführt, was der Beobachtung Tribut zollt, dass in den letzten Jahren vermehrt die Vorderspieler als Angriffsziel ausgewählt werden. Unter der Theoretischen Angriffszone wird der Bereich der gegnerischen Spielfeldhälfte verstanden, die mit einem Angriffsschlag erreicht werden kann. Unter Annahme einer Wurfparabel-förmigen Ballbahn werden eine Funktion in Abhängigkeit von Leinendistanz und -überhöhung und Wertetabellen für realistische

Parameter erstellt. Es lässt sich daraus ableiten, dass es besser ist eine Erhöhung des Treffpunktes als eine Leinenannäherung zu trainieren, um die Theoretische Angriffszone zur Leine hin zu verschieben.

Ein Exkurs der Arbeit widmet sich dem wichtigsten Parameter: der Ballgeschwindigkeit. Nach theoretischen/physikalischen Betrachtungen wo es um zeigt eine Zusammenstellung der drei bekannten Geschwindigkeitsuntersuchungen Werte im Bereich von 90 bis 115 km/h. (LEITNER 1992; BAYER 1980; SCHEIBE 1972)

Die Problemstellung der Arbeit kann kurz mit folgenden Aspekten zusammengefasst werden:

- Auffindung von kinematischen 3D-Daten für das Stand- und Sprungservice im Faustball
- Vergleich zwischen „guten“ und „schlechten“ Spielern bezüglich kinematischer Parameter

Im Kapitel „Methodik“ werden die Datenaufnahme (Probanden, Geräte, Untersuchungsaufbau, Untersuchungsdurchführung), sowie die Datenauswertung beschrieben. Die Datenaufnahme erfolgte anhand von 19 Probanden, die in zwei (Sprungservice) bzw. drei (Standservice) Leistungsspezifische Gruppen eingeteilt wurden. Mithilfe zweier Digitalkameras (60 Hz Aufnahme Frequenz) wurden zwei Videoaufnahmen für die Verarbeitung von Stand- und Sprungservice gemacht, die dann mithilfe der Software SIMI 5.0 ausgewertet wurden. Die zu untersuchenden Parameter waren:

- Geschwindigkeiten der schlagseitigen Körperteile (Faust, Handgelenk, Ellbogen, Schulter, Hüfte)
- Körperwinkel (Schulter- und Beckenachse, Oberkörper torsion, Ellbogen- und Kniewinkel, Schwungbeineinsatz)
- Geschwindigkeit und Flugbahn des Balles

In der Ergebnisdarstellung werden Stand- und Sprungservice zuerst optisch mittels verschiedenen Kinegrammen und Bildern abgebildet, sodann werden die beobachteten Körperteilgeschwindigkeiten dargestellt und miteinander verglichen. Die Körperteil-Geschwindigkeiten der Spieler der Gruppe 1 weisen dabei hochsignifikante Unterschiede zu denen der Gruppe 2 und 3 auf. Weiters

ist eine deutliches nacheinander der Geschwindigkeitsmaxima von proximal nach distal erkennbar (= kinematische Kette). Auch der Vergleich von Stand- und Sprungservice bringt höhere Geschwindigkeiten beim Sprungservice.

Ebenso erfolgt ein Vergleich bei den ausgewählten Körperwinkeln. Hierbei werden zwischen den Gruppen (fast) keine signifikanten Unterschiede festgestellt, jedoch sehr wichtige und viele Daten für die Beschreibung von Stand- und Sprungservice gefunden.

Die Parametergruppe „Ballparameter“ wird dominiert von den signifikanten Unterschieden in den Ballgeschwindigkeiten sowohl zwischen den Gruppen als auch zwischen den beiden Techniken. Mit 34,2 m/s wird der Maximalwert beim Sprungservice erzielt. Auch die Leinenüberhöhung und der Parameter „3m-Übereichung“ weisen tendenziell unterschiedliche Ergebnisse auf, die für die praktische Trainingsarbeit von Nutzen sind.

Als letztes Ergebnis stellt sich die Berechnung der effektiven Schlagmasse da, d. h. es wird untersucht, wie viel Masse ein Spieler als Stoßmasse für den teilelastischen Stoß verwenden kann. Auch hier ist die Gruppe 1 den anderen Gruppen überlegen und kann bis zu 1,5 kg als Schlagmasse einsetzen (das entspricht nicht nur der Faustmasse, sondern auch einen Anteil der Unterarmmasse).

In der Diskussion und Interpretation werden die gewonnenen Daten auf ihre Relevanz für die Praxis diskutiert und Schlüsse für ein effektives Training gezogen.

Davon zu nennen sind:

- Konzentration auf Rumpfmuskulaturtraining auf Grund der starken Torsionen
- Überlegungen zu leistungsbestimmenden Faktoren (Winkel, Geschwindigkeiten, Abschlaghöhen, Impulsübertragung...)

Im Ausblick wird noch auf eine Vielzahl von weiteren Untersuchungen verwiesen, die sich aus der vorliegenden ergeben haben, um noch genauere Ergebnisse über den Faustballsport zu bekommen. (EMG, Sprungverhalten des Balles, Verwendung von höhere Aufnahmefrequenz,...)

Im Anhang wird die Herleitung der verwendeten Formeln zur Berechnung des minimalen Abflugwinkels angeführt, sowie der genaue Verlauf der Theoretischen Angriffslinie betrachtet.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1.2.1-a: Faustballspielfeld aus: IFV 1999, 7..... | 7 |
| Abbildung 1.2.1-b: Aufstellungsformen im Faustball (VR = Vorne rechts – Angreifer Nr. 1; VL = Vorne links – Angreifer Nr. 2; M = Mittelspieler – Zuspieler; HR = Hinten rechts – Abwehrspieler; HL = Hinten links – Abwehrspieler) | 8 |
| Abbildung 1.2.1-a: Kinogramm eines Faustball-Standservice (aus SÖSER 2004)..... | 15 |
| Abbildung 1.2.1-b: Ablauf des Sprungservice (aus WEISS 2003) | 18 |
| Tabelle 1.2.2-a: Analyse Service - EM 2000 | 23 |
| Tabelle 1.2.2-b: Analyse Service - WG 2001 | 23 |
| Tabelle 1.2.2-c: Analyse Service - EM 2002 | 24 |
| Tabelle 1.2.2-d: Anteil des Service an Gesamtpunkten..... | 25 |
| Formel 1.3.1-a: Formel für (theoretische) Ballgeschwindigkeit..... | 30 |
| Abbildung 1.3.1-a: Wirkungslinie eines Stoßes | 32 |
| Abbildung 1.3.1-b: Schematische Darstellung des Magnus-Effekts | 33 |
| Abbildung 1.3.2-a: Geometrisches Modell des Grundlinienservice | 35 |
| Abbildung 1.3.2-b: Angriffsziele Österreich – Deutschland EM 2002 (nach einer Video-Analyse von ALMHOFER 2004)..... | 36 |
| Formel 1.3.2-a: Gleichung der Wurfbahn beim schiefen Wurf..... | 36 |
| Formel 1.3.2-b: Luftwiderstand eines Faustballes | 37 |
| Tabelle 1.3.2-a: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung (Abflughöhe) und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt | 39 |
| Abbildung 1.3.2-c: Abflugwinkel als Funktion von Leinenüberhöhung und Entfernung zur Leine beim Balltreffpunkt..... | 40 |
| Formel 1.3.2-c: Wurfweite beim schrägen Wurf | 40 |
| Abbildung 1.3.2-d: Darstellung der theoretischen Angriffszone (Horizontal- und Sagittalebene) | 41 |
| Tabelle 1.3.2-b: Theoretische Angriffslinie in Abhängigkeit von Leinenüberhöhung und Entfernung zur Leine | 42 |
| Abbildung 1.3.2-e: Theoretische Angriffslinie in Abhängigkeit von Leinenüberhöhung und Leinendistanz..... | 43 |
| Abbildung 1.3.2-f: Theoretische Treffpunktmöglichkeiten beim Standservice (Reichhöhe = 2,5m) | 44 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 1.3.3-a: Höchstgeschwindigkeiten in ausgewählten Spielsportarten (von: http://www.guinnessworldrecords.com) | 49 |
| Abbildung 1.3.3-a: Wurfseitenfreiheit beim Faustballschlag | 52 |
| Formel 1.4.1-a: Formel für (theoretische) Ballgeschwindigkeit..... | 55 |
| Abbildung 1.4.1-b: Einflussgrößen auf die (theoretische) Ballgeschwindigkeit | 56 |
| Tabelle 1.4.2-a: Ballgeschwindigkeiten (LEITNER 1992) | 58 |
| Tabelle 1.4.2-b: Ballgeschwindigkeiten (SCHEIBE 1972)..... | 58 |
| Tabelle 1.4.2-c: Ballgeschwindigkeiten (BAYER 1980)..... | 59 |
| Abbildung 1.4.2-a: Ballgeschwindigkeiten bei verschiedenen Autoren..... | 59 |
| Tabelle 3.1.1-a: Probandendaten Standservice (Gruppen) | 65 |
| Tabelle 3.1.1-b: Probandendaten Sprungservice (Gruppen) | 65 |
| Abbildung 3.1.2-a: Verwendete Kamera (links) und Arbeitsplatz SIMI (rechts)..... | 66 |
| Abbildung 3.1.2-b: Kalibrierungskubus der Firma Peak..... | 67 |
| Abbildung 3.1.2-c: Kalibrierungskubus der Firma Peak..... | 67 |
| Tabelle 3.1.2-a: Kennpunkte und ihre Lokalisation am Körper..... | 68 |
| Abbildung 3.1.3-a: Schema des Versuchsaufbaus | 69 |
| Abbildung 3.1.3-a: Versuchsaufbau in Laakirchen (27. Jänner 2004)..... | 70 |
| Abbildung 3.1.3-b: Versuchsaufbau in Urfahr (14. Mai 2004) | 70 |
| Abbildung 3.1.3-c: Versuchsaufbau in Linz/Gugl (2. Juni 2004) | 71 |
| Abbildung 3.2.1-a: Arbeitsoberfläche von SIMI 5.0 (Digitalisierung)..... | 74 |
| Abbildung 3.2.1-b: lineare Interpolation zur Berechnung des Aufprallzeitpunkts..... | 75 |
| Tabelle 3.2.1-a: rechnerisch bestimmter Zeitversatz Δt der Kameras bei der Datenaufnahme | 76 |
| Abbildung 3.2.1-c: definiertes Koordinatensystem | 76 |
| Abbildung 3.2.2-a: Darstellung der Winkel „Schulterachse“ und „Beckenachse“ | 78 |
| Abbildung 3.2.2-b: Darstellung des „Vorlagenwinkels“ und „Ellbogenwinkels“ | 79 |
| Abbildung 3.2.2-c: Darstellung des Winkels „Torsion“ | 79 |
| Abbildung 3.2.2-d: Darstellung des Abspreizwinkels..... | 80 |
| Abbildung 3.2.2-e: Darstellung des Winkels „Bogenspannung“ | 80 |
| Abbildung 3.2.2-f: Darstellung der Parameter „Leinenüberhöhung“ und „3m- Überreichung“ | 81 |
| Abbildung 3.2.3-a: Ergebnisse der Mehrfachdigitalisierung zur Fehlerabschätzung (Reliabilität) | 83 |
| Tabelle 4.1.1-a: Knotenpunkte mit Bild- und Zeitcode der Standservicebewegung..... | 87 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 4.1.1-a: Bilderserie Standservice (oben: Video A – unten: Video B) | 88 |
| Abbildung 4.1.1-b: Kinegramme Standservice (Sagittalsicht, Frontalsicht, Sicht von oben) | 89 |
| Abbildung 4.1.1-c: Kinegramm Standservice (Stroboskop) | 90 |
| Abbildung 4.1.1-d: Kinegramm Standservice (Punktverfolgung) (Sagittalsicht, Frontalsicht, Sicht von oben) | 91 |
| Abbildung 4.1.1-e: Bahnkrümmung der Faust beim Standservice (Proband A) | 92 |
| Tabelle 4.1.2-a: Knotenpunkte mit Bild- und Zeitcode der Sprungservicebewegung | 93 |
| Abbildung 4.1.2-a: Sequenzfotos des Sprungservice (Kamera A links – Kamera B rechts) | 95 |
| Abbildung 4.1.2-b: Kinegramm des Sprungservice (Sagittalsicht, Frontalansicht, Sicht von oben) | 96 |
| Abbildung 4.1.2-c: Bewegungsverlauf (Stroboskop) des Sprungservice (Seitenansicht) | 97 |
| Abbildung 4.1.2-d: Bewegungsverlauf (Punkteverfolgung) des Sprungservice (Sagittalsicht, Ansicht von links vorne) | 98 |
| Abbildung 4.1.2-e: Bewegungsverlauf (Punkteverfolgung) des Sprungservice (Ansicht von oben) | 98 |
| Abbildung 4.1.2-f: Bahnkrümmung der Faust beim Sprungservice (Proband B) | 99 |
| Abbildung 4.2.1-a: Geschwindigkeitsverläufe der rechten Körperpunkte Standservice Proband A (max. Ballgeschwindigkeit) | 100 |
| Tabelle 4.2.1-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Standservice - Gruppe 1) | 102 |
| Abbildung 4.2.1-c: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Standservice - Gruppe 1) | 102 |
| Tabelle 4.2.1-d: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Standservice - Gruppe 2) | 103 |
| Abbildung 4.2.1-e: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Standservice - Gruppe 2) | 103 |
| Tabelle 4.2.1-f: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Standservice - Gruppe 3) | 104 |
| Abbildung 4.2.1-g: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Standservice - Gruppe 3) | 104 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 4.2.1-a: Signifikanzen der Geschwindigkeitsunterschiede beim Standservice (* Unterschied signifikant für $\alpha = 0,05$ ** Unterschied signifikant für $\alpha = 0,01$) | 105 |
| Abbildung 4.2.1-h: Maximale Körperpunktgeschwindigkeiten im Vergleich (Standservice alle Gruppen)..... | 105 |
| Tabelle 4.2.1-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Komplett) und Korrelation mit Ballgeschwindigkeit – Standservice (** Korrelation signifikant für $\alpha = 0,01$) | 106 |
| Abbildung 4.2.1-i: Korrelation zwischen maximalen Körperpunktgeschwindigkeiten und der Ballgeschwindigkeit – Standservice (** Korrelation hochsignifikant für $\alpha = 0,01$) | 106 |
| Abbildung 4.2.2-a: Geschwindigkeitsverläufe der rechten Körperpunkte Sprungservice Proband B (max. Ballgeschwindigkeit)..... | 108 |
| Tabelle 4.2.2-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Sprungservice - Gruppe 1) | 110 |
| Abbildung 4.2.2-c: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Sprungservice - Gruppe 1) | 110 |
| Tabelle 4.2.2-d: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Sprungservice - Gruppe 2) | 111 |
| Abbildung 4.2.2-e: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Sprungservice - Gruppe 2) | 111 |
| Tabelle 4.2.2-a: Signifikanzen der Geschwindigkeitsunterschiede beim Sprungservice (* Unterschied signifikant für $\alpha = 0,05$ ** Unterschied signifikant für $\alpha = 0,01$) | 112 |
| Abbildung 4.2.2-f: Maximale Körpergelenksachsenpunkt- und Ballgeschwindigkeiten im Vergleich (Sprungservice beide Gruppen)..... | 112 |
| Tabelle 4.2.2-b: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Gesamt) und Korrelation mit Ballgeschwindigkeit – Sprungservice (** Korrelation hochsignifikant für $\alpha = 0,01$) | 113 |
| Abbildung 4.2.2-c: maximale Geschwindigkeiten der rechten Körperpunkte (Komplett) und Korrelation mit Ballgeschwindigkeit – Sprungservice (** Korrelation hochsignifikant für $\alpha = 0,01$) | 114 |
| Tabelle 4.2.2-d: Anlaufgeschwindigkeiten beim Sprungservice (gruppenspezifisch) | 115 |
| Abbildung 4.2.2-g: Anlaufgeschwindigkeit Sprungservice..... | 115 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 4.2.2-h: Korrelation zwischen Anlaufgeschwindigkeit und Ballgeschwindigkeit (Sprungservice)..... | 116 |
| Abbildung 4.2.2-i: Sprungweite beim Sprungservice (gruppenspezifisch)..... | 116 |
| Abbildung 4.2.3-a: Vergleich der Gelenksachsenpunktgeschwindigkeiten zwischen Stand- und Sprungservice (***) Unterschied signifikant für $\alpha =$ 0,001; ** Unterschied signifikant für $\alpha = 0,01$)..... | 117 |
| Tabelle 4.2.3-a: Signifikanzen der Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Stand- und Sprungservice | 117 |
| Abbildung 4.3.1-a: Verlauf ausgesuchter Körperwinkel (1) von Proband A..... | 118 |
| Abbildung 4.3.1-b: Verlauf ausgesuchter Körperwinkel (2) von Proband A..... | 119 |
| Tabelle 4.3.1-a: Ausgesuchte Körperwinkel (Standservice Gruppe 1) | 120 |
| Tabelle 4.3.1-b: Ausgesuchte Körperwinkel (Standservice Gruppe 2) | 120 |
| Tabelle 4.3.1-c: Ausgesuchte Körperwinkel (Standservice Gruppe 3) | 120 |
| Abbildung 4.3.1-c: Ausgewählte Körperwinkel (Standservice – Teil 1)..... | 122 |
| Abbildung 4.3.1-d: Ausgewählte Körperwinkel (Standservice - Teil 2) | 122 |
| Tabelle 4.3.1-d: Signifikanzen der Winkelunterschiede beim Standservice | 123 |
| Abbildung 4.3.2-a: Verlauf ausgesuchter Körperwinkel von Proband B (Sprungservice) | 125 |
| Tabelle 4.3.2-a: Ausgesuchte Körperwinkel (Sprungservice Gruppe 1) | 126 |
| Tabelle 4.3.2-b: Ausgesuchte Körperwinkel (Sprungservice Gruppe 2) | 126 |
| Abbildung 4.3.2-b: Ausgewählte Körperwinkel Sprungservice (Teil 1)..... | 127 |
| Abbildung 4.3.2-c: Ausgewählte Körperwinkel Sprungservice (Teil 2)..... | 127 |
| Tabelle 4.3.2-c: Signifikanzen der Winkelunterschiede beim Sprungservice (T- Test) | 128 |
| Abbildung 4.3.3-a: Vergleich der Körperwinkel zwischen Stand- und Sprungservice (1) (***) Unterschied signifikant für $\alpha = 0,001$; * Unterschied signifikant für $\alpha = 0,05$) | 129 |
| Abbildung 4.3.3-b: Vergleich der Körperwinkel zwischen Stand- und Sprungservice (2) | 129 |
| Tabelle 4.3.3-a: Signifikanzen der Winkelunterschiede beim Sprungservice (T- Test) | 130 |
| Tabelle 4.4.1-a: Ballabfluggeschwindigkeiten Standservice (gruppenspezifisch)..... | 131 |
| Abbildung 4.4.1-a: Maximale Ballgeschwindigkeiten Standservice (gruppenspezifisch) | 132 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 4.4.1-b: Signifikanzen der Ballgeschwindigkeitsunterschiede beim Standservice (Oneway – ANOVA)..... | 132 |
| Tabelle 4.4.1-c: Maximale Ballgeschwindigkeiten beim Sprungservice (gruppenspezifisch) | 133 |
| Abbildung 4.4.1-b: Ballabfluggeschwindigkeiten Sprungservice (gruppenspezifisch) | 133 |
| Abbildung 4.4.1-c: Vergleich der Ballabfluggeschwindigkeiten beim Stand- und Sprungservice | 134 |
| Abbildung 4.4.2-a: Ballflug in Sagittalsicht (Standservice – Proband A) | 135 |
| Tabelle 4.4.2-a: Ballabschlaghöhen (gruppenspezifisch)..... | 136 |
| Tabelle 4.4.2-b: 3 m-Überreichung (gruppenspezifisch)..... | 136 |
| Abbildung 4.4.2-b: Abschlaghöhe Faustball - Standservice | 136 |
| Abbildung 4.4.2-c: 3 m-Überreichung Faustball zum Zeitpunkt des Treffers Standservice | 136 |
| Tabelle 4.4.2-c: Signifikanzen der Ballparameterunterschiede beim Standservice (Oneway-ANOVA)..... | 137 |
| Tabelle 4.4.2-d: Abschlaghöhe Faustball – Sprungservice | 138 |
| Abbildung 4.4.2-d: Abschlaghöhe Faustball – Sprungservice | 138 |
| Abbildung 4.4.2-e: Ballflug und KSP-Verlauf aus Sagittalsicht (Sprungservice – Proband B)..... | 139 |
| Abbildung 4.4.2-f: Vergleich der Abschlaghöhen zwischen Stand- und Sprungservice | 140 |
| Tabelle 4.4.2-a: Effektive Schlagmasse beim Standservice..... | 141 |
| Tabelle 4.4.2-b: Effektive Schlagmasse beim Sprungservice..... | 141 |
| Tabelle 5.2.1-a: Ballgeschwindigkeiten bei verschiedenen Autoren | 152 |
| Tabelle 5.2.2-a: Vergleich zwischen Körperteilgeschwindigkeiten bei BAYER (1980) – schwarz und vorliegende Untersuchung – blau..... | 153 |
| Tabelle 5.2.2-b: Vergleich zwischen maximalen Körperteilgeschwindigkeiten (jeweils Proband mit maximaler Ballgeschwindigkeit) BAYER (1980) – schwarz und vorliegende Untersuchung – blau | 153 |
| Tabelle 5.2.2-c: Vergleich zwischen ausgesuchten Körperwinkel und ihrem zeitlichen Auftreten (jeweils Proband mit maximaler Ballgeschwindigkeit) BAYER (1980) – schwarz und vorliegende Untersuchung – blau | 154 |
| Abbildung 7.1-a Geometrisches Modell zur Erläuterung der Parameter..... | 159 |

| | |
|---|-----|
| Formel 5.2.2-a: Berechnung der theoretischen Angriffslinie (TA) in Abhängigkeit von Leinenüberhöhung d und Distanz zur Leine d | 160 |
| Abbildung 5.2.2-a: Grafische Erläuterung der im Text beschriebenen Argumentation (alle Angaben in m)..... | 161 |
| Abbildung 5.2.2-b: Darstellung der modifizierten, theoretischen Angriffszone (Horizontalebene)..... | 162 |
| Tabelle 7.2.1-a: Punktkoordinaten des Peak-Kalibrierungskubus..... | 162 |

Literatur

Albrecht, C. & Müller H. G. (1977). Volleyball. Theorie und Technik der Ballbehandlung. Eine programmierte Bewegungslehre zur Schulung von Anfängern. (2. bearbeitete Auflage). Eigenverlag.

Allard, P. et al. (Ed). (1997). Three-dimensional analysis of human locomotion. Chichester: John Wiles & Sons

Almhofer, E. (2003). Unveröffentlichte Aufzeichnungen zur Faustballspielanalyse.

Ballreich, R. & Baumann, W (Hrsg.). (1988). Grundlagen der Biomechanik des Sports. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

Ballreich, R. & Kuhlowl-Ballreich, A. (Hrsg.). (1992). Biomechanik der Sportspiele. (Band 3) Teil II: Mannschaftsspiele. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

Bartonietz, K. (2000). Javelin Throwing: an Approach to Performance Development. In Zatsiorsky, V. M. (Ed). Biomechanics in Sport. Performance Enhancement and injury prevention. Oxford: Blackwell Science Ltd.

Bayer, H. (1980). Der Aufschlag im Faustball: kinematografische Untersuchung. Diplomarbeit an der Universität Salzburg.

Brigger H. P. & Grab, R. (1996). Faustball. Spiel mit Kopf und Herz!. Abschlussarbeit des Studiums an der ESSM (Schweiz). Eigenverlag.

Christmann, E. (1987). Technik des Volleyballspiels. In: Christmann, E. & Fago, K. (Hrsg.). Volleyball Handbuch. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Coleman, S. A 3D Kinematic Analysis of the Volleyball Jump Serve. The University of Edinburgh, Scotland, UK. Zugriff am 22.10.03 22:58 unter <http://www.education.ed.ac.uk/cis/volleyball/papers/sc.html>

Durey, A. & Journeaux, R. (1995). Application of Three-dimensional Analysis to Sports. In: Allard, P., Stokes, I. A. F. & Blanchet, J. P. (Ed.). Three-dimensional analysis of human movement. Human Kinetics.

Ellermann, R. (1980). Das Faustball-Lehrbuch: Einführung in das Faustballspiel, methodisch-didaktische Hinweise. Schorndorf: Hofmann.

Glitsch, U. (2001). Computersimulation in der Biomechanik. Ausgewählte Beispiele. (1. Auflage). Sankt Augustin: Academia-Verlag. (Schriften der Deutschen Sporthochschule Köln; Band 46)

Hochmuth G. (1982). Biomechanik sportlicher Bewegungen. (5. unveränderte Auflage) Sportverlag Berlin.

Honig, K. (Hrsg.). Volleyball Magazin. März 2003.

Huang, C. et al. (1998). A three-dimensional Analysis of the volleyball one foot jump spike. University Taipei, Taiwan. Zugriff am 22.10.03 22:58 unter <http://www.education.ed.ac.uk/cis/volleyball/papers/ch1.html>

Huang, C. et al. (1998). Kinematic Analysis of the Volleyball Back Row Jump Spike. University Taipei, Taiwan. Zugriff am 22.10.03 22:58 unter <http://www.education.ed.ac.uk/cis/volleyball/papers/ch2.html>

IFV (Hrsg.) (1999). Internationaler Faustball Verband. Faustball weltweit. Düsseldorf: Meuter-Druck.

IFV (ed.) (1996). Fistball. Rules of the game.

Iwoilow, A. W. (1984). Volleyball – Biomechanik und Methodik. Sportverlag Berlin. (Übersetzung aus dem Russischem von Scheidereit, D.)

Krause, W. (1972). Faustball weltweit. Illustrierte Faustballgeschichte. Münster: Eigenverlag.

Lautenschlager, B., Kalb, G. & Holzheuer M. (1975). Die Praxis des Faustballsports. Vom Schulsport zum Leistungstraining. Celle: Pohl-Verlag.

Leitner, M. (1972). Das Faustballspiel als modernes Kampfspiel. Hausarbeit aus Leibesübungen an der Universität Salzburg.

Leitner, M. (1992). Unveröffentlichte Aufzeichnungen für die WM-Vorbereitung 1992. Linz.

Leitner, T. (1993). Die Angriffstechniken im Faustball. Eine vergleichende Analyse aus bewegungstechnischer, konditioneller und trainingswissenschaftlicher Sicht und ihre Umsetzung in die praktische Trainingsarbeit. Diplomarbeit an der Universität Wien.

Lettenmayr M. (1992) Sportartanalyse – Leistungsdiagnostik – Trainingsmaßnahmen im Kontext mit der Leistungs- und Trainingssteuerung. Diplomarbeit an der Universität Salzburg.

Lindner, E. (1967). Sprung und Wurf. In: Beiträge zur Lehre und Forschung der Leibeserziehung. (Band 29). Schorndorf.

Lindner, E. (1971). The phenomenon of the freedom of lateral deviation in throwing (Wurfseitenfreiheit). In: Vredenberg & Wartweiler (Hrsg.). Biomechanics II. Basel. S. 240 – 245.

Mathelitsch, L. (Hrsg.).(1994). Sport und Physik. (1. Auflage). Wien: hpt.

Meinel, K. (1960). Bewegungslehre. Versuch einer Theorie der sportlichen Bewegung unter pädagogischem Aspekt. Berlin: Volk und Volkseigener Verlag.

Menzel, H. J. (1986). Biomechanik des Speerwurfes. In: Ballreich, R. & Kuhlowl-Ballreich, A. (Hrsg.). Biomechanik der Leichtathletik. (Band 1). (110-130). Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

Scheibe W. u J. (1972). Tendenzen der Entwicklung des Faustballsports aus sportmedizinischer Sicht. In: Theorie und Praxis der Körperkultur. (Heft 3).

Söser K. (2004). Eine dreidimensionale Analyse eines Faustballstandservice. Kinematische Daten für ein Technikleitbild. Unveröffentlichte Seminararbeit an der Universität Salzburg.

Stöcker H. (Hrsg.) (1994). Taschenbuch der Physik, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt, 2. Auflage

Wagner, H. (2003). Optimierung komplexer Bewegungsmuster bei Wurfbewegungen. Ein systemdynamischer Ansatz. Dissertation an der Universität Salzburg.

Weiß, M. (2003). Video-Feedback-Training im Faustball. Unveröffentlichte Seminararbeit an der Universität Salzburg.

Willimczik, K. (Hrsg) (1989.) Biomechanik der Sportarten. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH. Reinbeck bei Hamburg.

<http://www.baseball-almanac.com/articles/fastest-pitcher-in-baseball.shtml>

Zugriff am 21.04.2004 um 21:25

<http://www.faustballartikel.de/seiten/news.htm>

Zugriff am 28.04.2004 um 21:30