

ABWURFWINKEL UND ABWURFGESCHWINDIGKEIT BEIM WERFEN EINES DARTPFEILES

D. Höftberger¹, A. Kozek¹, M. Kling¹, J. Langer¹, J. Obergruber¹

¹ Fachhochschule Technikum Wien, Wien, AUT

1 Kurzfassung

Das Ziel dieser Videoanalyse war es die Wurfbewegung eines Papierfliegers und eines Tennisballes zu analysieren, und daraus Rückschlüsse auf den adäquaten Abwurfzeitpunkt und der daraus resultierenden Abwurfgeschwindigkeit für z.B. den Wurf eines Dartpfeiles zu erhalten. Analysiert wurde der Wurfvorgang mithilfe der 2D- Videoanalyse. Dazu wurden am Probanden drei Marker an Schulter-, Ellbogen- und Handgelenk befestigt. Es wurden die Positionsdaten von jedem Marker bei mehreren Durchläufen mittels Windows Movie-Maker und Kinovea eingelesen, in Matlab weiterverarbeitet und grafisch gegenübergestellt. Generell war zu beobachten, dass aufgrund der eher ‚vage‘ definierten Vorgaben betreffend der Wurf- ausführung eine nicht zu vernachlässigende Streuung der Messungen auftrat.

2 Einleitung

„When precision is the only goal, as in throwing darts, one could therefore expect people to throw in a way that reduces sensitivity for imprecision in timing. We show that subjects do not do so, but throw in a way that reduces the sensitivity for speed errors instead.“ (Smeets, 2002)

Das finale Ergebnis eines Dartwurfes auf einer Dartscheibe ist die Kombination mehrerer Faktoren in Abhängigkeiten zueinander. Einer dieser Faktoren, nämlich die Geschwindigkeit des Abwurfes als Resultat des entsprechenden zeitabhängigen Ellbogengelenkwinkels soll im Folgenden näher betrachtet werden. Beim Dartwurf übt eine Variabilität in der Abwurfgeschwindigkeit eine Abweichung in vertikaler Ebene auf die finale Position des Dartpfeiles aus. Dies resultiert daraus, dass in horizontaler Richtung, außer dem in diesem Fall zu vernachlässigenden Luftwiderstand, keine der Bewegung entgegen gerichteten Kräfte wirken. Im Gegensatz dazu wirkt in vertikaler Richtung die Schwerkraft auf das Wurfobjekt ein und zwingt es auf seiner Wurfbahn kontinuierlich nach unten. Unter Berücksichtigung der kinematischen

Gesetzmäßigkeiten und der Annahme eines konstanten Abwurfwinkels und einer konstanten zu überwindenden horizontalen Strecke gilt also:

Je höher die Abwurfgeschwindigkeit eines Objektes ist, desto schneller überwindet es die vorgegebene Distanz und desto kürzer ist es der nach unten gerichteten Schwerkraft ausgesetzt. Dies wiederum resultiert in einem geringeren Verlust an Höhe betrachtet auf die zu überwindende Distanz. Daraus lässt sich erkennen, dass sich die Wurftrajektorie mit zunehmender Abwurfgeschwindigkeit einer horizontalen Geraden annähert.

Ein entscheidender Faktor für einen Dartspieler wäre es demnach also, möglichst am Punkt der Maximalgeschwindigkeit den Pfeil freizugeben, um die Höhenabweichung des Wurfes zu minimieren. Auf die Ermittlung der Lage dieses Maximalpunktes bezogen auf den Ellbogenwinkel wird im Folgenden eingegangen (Anm.: Die isolierte Betrachtung der Abwurfgeschwindigkeit ist korrekterweise für eine generelle Aussage über die Genauigkeit eines Dartwurfes nicht ausreichend, da Abwurfposition und Wurfriechung einen entscheidenden Einfluss auf die Endposition des Pfeiles auf der Scheibe haben).

Folgende Annahmen werden unter Berücksichtigung eigener experimenteller Erfahrungen mit dem Dartsport, sowie beruhend auf den Erkenntnissen der Experimental Brain Research Forschungen der Forschungsgruppe um Jeroen B.J. Smeets und Eli Brenner getroffen und sollen als Hypothesen gesehen werden:

- Das Maximum der Abwurfgeschwindigkeit muss, sofern es vom Dartschützen intuitiv richtig eingeschätzt wird, im Bereich des Freilassens des Pfeiles bei $90 \pm 10^\circ$ liegen
- Die Unterschiede bezüglich Beschleunigung und Abwurfgeschwindigkeit der beiden unterschiedlichen Objekte müssten im v, a, t - bzw. im a, v, t -Diagramm deutlich erkennbar sein. Da ein Papierflieger gegenüber einem Tennisball,

vorausgesetzt das Bestreben beide am gleichen Punkt ankommen zu lassen, einer deutlich längeren Führung zur Ausrichtung der Flugbahn, aufgrund der größeren Anfälligkeit für Luftwirbel, bedarf, sollte sich dies in einem sanfteren Verlauf der beiden Diagramme widerspiegeln.

3 Methoden

Verwendete Methode

Zentrales Element der Messung war die Video-Bewegungsanalyse mittels Marker-tracking unter Verwendung einer Mini-DV-Videokamera (Motion Capturing).

Verwendetes Material

In Ermangelung einer konkreten Dartanordnung wurde das Problem abstrahiert und auf die eigentliche Bewegung reduziert. Als Wurfobjekt dienten zwei von den Wurfeigenschaften her möglichst unterschiedliche Objekte, um den Einfluss von deren Haptik und Verhalten zu dokumentieren.

Diese Objekte waren:

- a) Papierflieger
- b) Tennisball

Bei der Kamera handelte es sich um eine handelsübliche Mini-DV-Kamera mit 2x25 Halbbildern in der Sekunde

Kamerabedienung:

Optischer Zoom: verwendet im Gegensatz zum Digitalen Zoom den gesamten Videochip, es erfolgt keine Interpolation bei der Vergrößerung

Fokus: Regelung der Scharfstellung auf eine bestimmte Ebene → es wurde mit Auto-Fokus gearbeitet

Blende: Erhöhung der Tiefenschärfe beim Schließen der Blende, Tiefenschärfe ist allerdings nicht erwünscht beim Motion-Capturing → offene Blende

Belichtungszeit: Regelung der Bewegungssensibilität, eine niedrige Belichtungszeit erfasst schnelle Bewegungen ohne Unschärfe/ Spuren, allerdings muss für eine kurze Belichtungszeit viel Licht auf den CCD auftreffen (offene Blende oder starke Beleuchtung)

Einstellung Sportmodus: ein vordefiniertes Programm, auf schnelle Bewegungen und dynamische Bildinhalte optimiert.

Probanden

1 Person, männlich, Alter 21 Jahre, Hobbysportler, Rechtshänder

Der Proband wurde instruiert, die Bewegung möglichst natürlich und mit immer gleichem Bewegungsrhythmus auszuführen.

Versuchsdurchführung

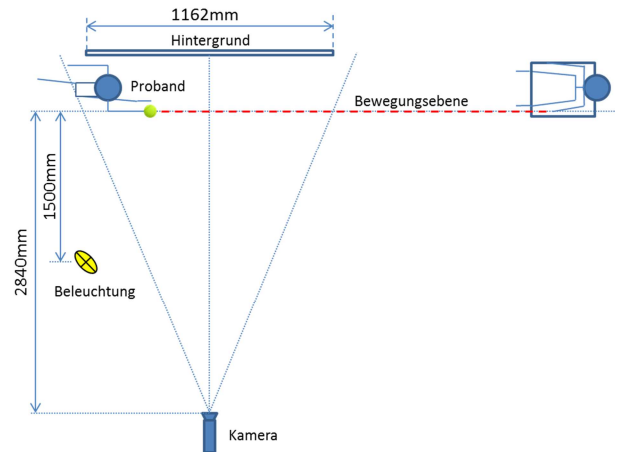


Abb. 1 Mess-Aufbau des Motion-Capturing für die Wurfausführung.

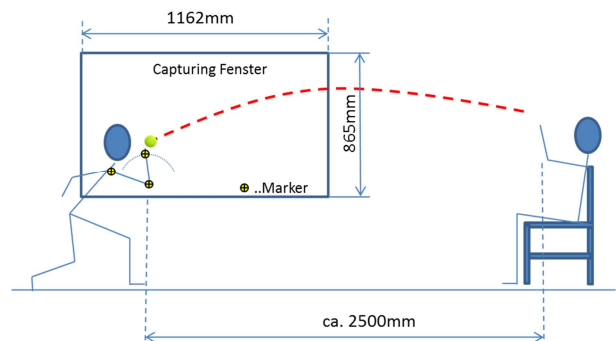


Abb. 2 Darstellung des schematischen Ablaufes der Wurfausführung mit Anführung der entsprechenden Marker-Positionierungen. Das Capturing-Fenster ist jener Bereich, der von der Kamera erfasst wurde.

Die Kamera (auf einem Stativ) und ein Beleuchtungselemente wurden lt. obiger Darstellung (Abb. 1) aufgebaut. Wichtig war dabei die normale Ausrichtung der Kamera zur Bewegungsebene.

Vor der eigentlichen Aufzeichnung der Bewegung musste der Maßstab des Aufnahmebereiches definiert werden. Dies erfolgte über eine Kalibrierung mittels Kalibrierwand (Wand wurde auch als Hintergrund bei eigentlicher Messung verwendet). Des Weiteren wurden 3 Positionsmarker an der rechten oberen Extremität des Probanden im Bereich des Oberarmkopfes (*Os Humerus*), an Ellbogengelenk Außenseite (*Articulatio cubiti radii*) und am Handgelenk im Bereich des Mondbeines (*Os lunatum*) befestigt.

Die Schwierigkeit bestand in der Montage der Marker, sodass diese gut sichtbar waren und haften blieben.

Die Bewegung wurde in 2 Serien zu je ca. 10 Aufnahmen durchgeführt (Tennisball, Papierflieger). Um die Kameraausrichtung möglichst nicht zu verändern wurde die Kamera vom PC aus gesteuert.

Es war darauf zu achten, dass die Wurfbewegung genau in der Kalibrierebene (Bewegungsebene) stattfand.

Die kinetische Kette resultierend aus der Extension des Ellbogengelenks und anschließender Rotationsbewegung des Handgelenkes wurde aufgrund eines erhöhten Aufwandes an Positionsmarkern vernachlässigt. Der Bewegungsablauf sollte möglichst rein aus dem Ellbogengelenk erfolgen, da nur der Winkel in diesem Gelenk erfasst werden konnte (Abb. 2).

Methoden der Datenver/-bearbeitung

Das Videomaterial wurde mit Windows Movie-Maker aufgenommen, womit auch die Kamerasteuerung erfolgte. Weiterbearbeitet wurde das Material mittels der Videoanalyse-Freeware Kinovea. Im Folgenden wird kurz zur Nachvollziehbarkeit auf die Handhabung von Kinovea eingegangen:

Nach optischer Sichtung und Beurteilung wurden der bewegungsrelevante Arbeitsbereich eingestellt, wozu in Kinovea der untere horizontale Slider-Balken dient. Hiermit ist auch ein gezieltes Navigieren zum gewünschten Frame möglich. Dann wurde eine Trajektorienverfolgung auf die Positionsmarker gesetzt (Vorgang: Rechtsklick > Verfolge Trajektorien). Da das Programm oft nicht in der Lage war die Marker zu verfolgen (speziell bei schnelleren Bewegungen), mussten die entsprechenden Frames von Hand nachkorrigiert werden. Um brauchbare Koordinaten für die weitere Analyse zu erhalten wurde ein Koordinatensystem über den Bildausschnitt gelegt (Menü > Bild > Koordinatenursprung setzen). Die ermittelten Koordinaten wurden als Excel Tabelle exportiert und in die numerische Berechnungssoftware MatLab 7 (MathWorks, Release 7.1) importiert.

Die unterschiedliche Dauer der Bewegungsabfolgen machte eine Zeit-Normalisierung notwendig, welche in MatLab durchgeführt wurde.

Zur Ermittlung der Maximalgeschwindigkeit bei entsprechenden Winkelverhältnissen, sowie zur qualitativen Beurteilung der Unterschiede zwischen den Würfen der beiden Wurfobjekte ist

es erforderlich den Winkelverlauf zu ermitteln, was über eine Vektoren-Winkelberechnung (Abb. 3) erfolgt (1).

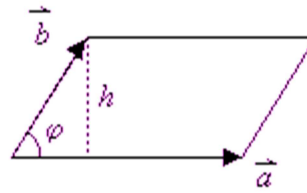


Abb. 3 Winkel zwischen 2 Vektoren in der Ebene (Quelle: www.dieter-heidorn.de)

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{a} * \vec{b}}{|\vec{a}| * |\vec{b}|} \right) \quad (1)$$

Außerdem werden über Positionsänderungen der Marker im entsprechenden Zeitintervall die zu ermittelnden Größen (Geschwindigkeit und Beschleunigung) berechnet und grafisch dargestellt.

Abschließend erfolgt die statistische Auswertung der durchgeführten Messserien um das statistische Gesamtergebnis (Mittelwert) und die Qualität (Streuung) zu beurteilen.

4 Ergebnisse

Was beim Vergleich der beiden Serien sofort auffällt und anfangs für einen Fehler im Messaufbau bzw. in der Auswertung der Werte gehalten wurde, ist der starke Unterschied in Bezug auf den Startwinkel des Handgelenkes. Während bei der Messserie „Tennisball“ dieser durchgehend im Bereich von 37° - 50° (Abb. 4a) liegt beginnt er bei der Messserie „Papierflieger“ erst bei diesem Wert und geht hinauf bis ca. 60° (Abb. 5). Generell umfasst der Bewegungsspielraum einen Winkel von 110-120°.

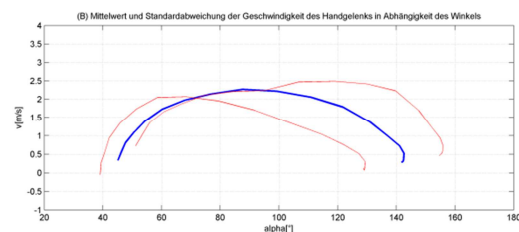


Abb. 4 Geschwindigkeit [m/s] des Handgelenkes mit Wurfobjekt „Tennisball“ über Armbeugewinkel [°] im Ellbogengelenk (blau ..Mittelwert, rot ..Streuung)

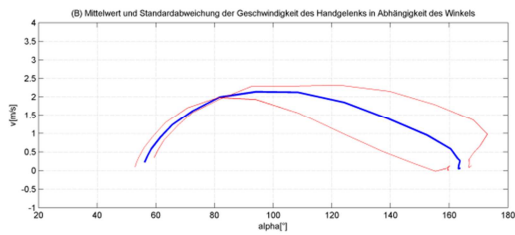


Abb. 5 Geschwindigkeit [m/s] des Handgelenkes mit Wurfobjekt „Papierflieger“ über Armbeugewinkel [°] im Ellbogengelenk (blau ..Mittelwert, rot ..Streuung)

Weniger Abweichungen lassen sich punkto Handgelenksgeschwindigkeiten mit beiden Wurfobjekten erkennen; diese bewegen sich durchgehend im Bereich von 2,3-2,5m/s. Allerdings ist eine sichtbare Abnahme der Geschwindigkeit nach dem Erreichen des Zenits bei Messserie „Papierflieger“ ersichtlich, während bei Messserie „Tennisball“ die Geschwindigkeit nach Erreichen des Zenits noch eher konstant weiter verläuft und dann dafür deutlich rapider abfällt

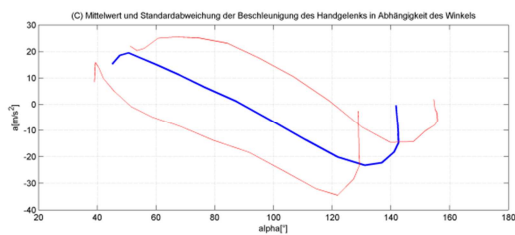


Abb. 6 Beschleunigung [m/s²] des Handgelenkes mit Wurfobjekt „Tennisball“ über Armbeugewinkel [°] im Ellbogengelenk (blau ..Mittelwert, rot ..Streuung)

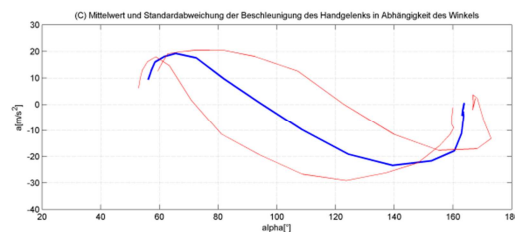


Abb. 7 Beschleunigung [m/s²] des Handgelenkes mit Wurfobjekt „Papierflieger“ über Armbeugewinkel [°] im Ellbogengelenk (blau .. Mittelwert, rot ..Streuung)

Die Handgelenks-Beschleunigungen erreichen beim Wurf mit dem Tennisball Maxima von etwa +27 bis -35m/s² (Abb. 6) und beim Papierflieger von knapp +20 bis -30m/s² (Abb. 7)

Auffällig ist auch, betrachtet man die Markerbewegungen im x,y-Koordinatensystem, dass bei Messserie „Papierflieger“ (Abb. 9Abb. 8) die Streuung der Wege/ Positionen was die einzelnen Versuche angeht deutlich geringer ist als bei Messserie „Tennisball“ (Abb. 8).

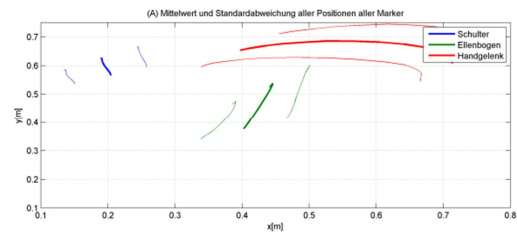


Abb. 8 x,y-Bewegungen [m] der Positionsmarker im Koordinatensystem über den gesamten Bewegungsablauf mit Wurfobjekt „Tennisball“ (dick ..Mittelwert, dünn ..Streuung)

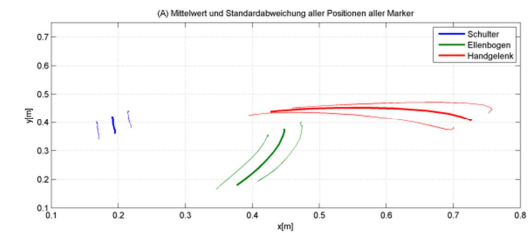


Abb. 9 x,y-Bewegungen [m] der Positionsmarker im Koordinatensystem über den gesamten Bewegungsablauf mit Wurfobjekt „Papierflieger“ (dick ..Mittelwert, dünn ..Streuung)

5 Diskussion

Es wird vermutet, dass die unterschiedlichen Handgelenks-Startwinkel der Messserien auf die deutlich differierenden Massen und Flugeigenschaften der beiden Wurfobjekte zurückzuführen sind. Demnach ist beim Papierflieger ein geringerer Beschleunigungsweg (-winkel) sinnvoll. Dies lässt sich auch in der geringeren Handgelenksgeschwindigkeit beim Papierflieger erkennen. Des weiteren bestätigt sich die Vermutung, dass der Papierflieger einer längeren und gezielteren Führung durch die Hand bedarf als der Tennisball, zumindest was den Verlauf des Geschwindigkeitsdiagrammes angeht. Im Beschleunigungsdiagramm ist diese Tendenz nicht so eindeutig ersichtlich. Die geringere Streuung in den Positionen und Bewegungsstrecken der Marker kann ebenfalls als Folge erhöhter Konzentration bei der Führung des Papierfliegers angenommen werden. Auch generell lässt sich die Aussage treffen, dass die Streuungen bei der Messreihe „Papierflieger“ geringer ausfallen als bei Messreihe „Tennisball“.

Aufgrund der relativ großen Streuung bei beiden Messreihen ist die winkelbezogene Lage der Geschwindigkeits-Maxima des Handgelenkes nur schwer auf einen Bereich eingrenzbar. Tendenziell ist aber erkennbar, dass es sich um die 90°-Stellung des Handgelenkes herum bewegt, was lt. den Beobachtungen der Experimental Brain Research Forschungen auch dem Bereich der Position der Freigabe des Pfeiles beim Dart entspricht. Eine intuitive geschwindigkeits-

bezogene Empfindlichkeit des sensomotorischen Systems des Probanden für das passende Timing der Pfeilfreigabe kann also postuliert werden.

6 Literatur

Smeets, J. B. (16. 05 2002). Throwing darts: timing is not the limiting factor. (Springer, Hrsg.) *Experimental Brain Research*, 144, S. 268-274.

7 Anhang

Anhang Seite 1-5: Ergebnis der einzelnen Würfe der Serie Ball

Anhang Seite 6: Statistische Auswertung der Wurf-Serie Ball

Anhang Seite 7-11: Ergebnis der einzelnen Würfe der Serie Papierflieger

Anhang Seite 12: Statistische Auswertung der Wurf-Serie Papierflieger

Anhang Seite 13-19: Matlab-Code der Auswertung