

# Badminton-Smash Geschwindigkeitsmessung

Im Gegensatz zu internationalen Tennisturnieren, wo die Ballgeschwindigkeitsmessung bei Aufschlägen seit vielen Jahren zum Standard gehört, gibt es bei entsprechenden Badmintonturnieren keine vergleichbaren Messungen. Solche Geschwindigkeitsmessungen sind primär als Bereicherung für die Zuschauer gedacht, können darüber hinaus aber auch den Spielern, Trainern und Ausrüstern wichtige Informationen liefern. Wir beschreiben in diesem Artikel unseren Ansatz zur Geschwindigkeitsmessung von Schmetterbällen in Badminton und berichten über erste Erfahrungen mit unserem Messsystem an den Badminton Swiss Open 2012 in Basel.

Christoph Stamm | christoph.stamm@fhnw.ch

Grosse, internationale Badmintonturniere ziehen weite Bevölkerungsgruppen an und zeigen den sehr schnellen, dynamischen Sport von seiner eindrucklichsten Seite. In Basel finden seit mehr als 20 Jahren die Badminton Swiss Open<sup>1</sup> statt, welche zwischenzeitlich zu den allerbesten, internationalen Badminton Turnieren weltweit gehörten. In den Jahren 2008 und 2009, beispielsweise, berichteten 25 Fernsehstationen mit 250 Mio. potentiellen Haushalten von diesem Grossanlass. Die Raffinesse und erforderliche Leistung in diesem Sport erschliesst sich jedoch oft nur unzureichend breiteren Zuschauerkreisen, vor allem dann, wenn schnelle, hochpräzise aber weniger kämpferische Ballwechsel ein Spiel dominieren. Hier sind die Turnerveranstalter gefordert, die eindrucklichen Bilder mit kompetenten Moderationen zu versehen und die kurzen Pausen zwischen Ballwechseln mit attraktivitätssteigernden Zusatzinformationen, wie zum Beispiel Superzeitlupenaufnahmen von Hochgeschwindigkeitskameras oder Geschwindigkeitsangaben bei Schmetterbällen zu nutzen.

Bei internationalen Tennisturnieren gehört die Geschwindigkeitsmessung von Aufschlägen seit vielen Jahren zum Standard. Daneben haben sich weitere Messverfahren etabliert, wie zum Beispiel die Überwachung der Netzkante bei Aufschlägen oder Hawk-Eye<sup>2</sup>, welche nicht nur der Erhöhung der Attraktivität für die Zuschauer dienen, sondern darüber hinaus dem Schiedsrichter helfen, unklare Situationen zu klären. Hawk-Eye basiert auf der Verwendung von mindestens vier Hochgeschwindigkeitskameras, die das Spielfeld aus verschiedenen Blickwinkeln heraus erfassen und somit die Flugbahn des Balls präzise festhalten können.

Im Gegensatz zu Tennis ist der Bedarf nach automatisierten Messinstrumenten in Badminton weniger gross, da die Ballgeschwindigkeit beim

Spielfeldrand deutlich geringer ist als bei Aufschlägen im Tennis und die Linienrichter zudem noch näher beim Spielfeldrand sitzen. Daher kommt es viel seltener zu umstrittenen Situationen, was der primäre Grund ist, dass elektronische bzw. computerbasierte Messsysteme noch keinen Einzug bei internationalen Badmintonturnieren gehalten haben. Trotzdem sind vereinzelte Turnierdirektoren an solchen Messsystemen interessiert, jedoch primär zur Attraktivitätssteigerung für die Zuschauer.

## Anforderungen

Im vorliegenden Artikel befassen wir uns mit der Geschwindigkeitsmessung von Schmetterbällen im laufenden Spielbetrieb eines Badmintonturniers<sup>3</sup>. Eine solche Geschwindigkeitsmessung darf aus naheliegenden Gründen das Spiel in keinerlei Hinsicht beeinträchtigen, muss beinahe in Echtzeit (< 2 Sekunden) ausgeführt werden können und sollte mit einem Minimum an Geräten auskommen, um den Aufwand für die Turnierausrichter gering zu halten. Die quasi Echtzeitanforderung rührt daher, dass ein solches Messsystem der Attraktivitätssteigerung für die Zuschauer dient und demzufolge eine möglichst zweifelsfreie Zuordnung der Messresultate zu den Schmetterbällen möglich sein sollte, auch dann, wenn viele Smashes in kürzester Zeit hintereinander erfolgen. Für Messsysteme, die hauptsächlich der Weiterentwicklung der Schläger dienen und bei den Schlägerherstellern eingesetzt werden, gelten selbstverständlich wieder andere Anforderungen.

## Lösungsansätze

Die Messung der Federballgeschwindigkeit (shuttlecock speed) eines Schmetterballes (Smashes) in einem laufenden Badmintonspiel ist mit verschiedenen Schwierigkeiten konfrontiert: Schmetter-

1 Badminton Swiss Open: <http://www.swissopen.com>

2 Hawk-Eye: <http://www.hawkeyeinnovations.co.uk/>

3 Das Projekt „Badminton-Smash Geschwindigkeitsmessung“ ist von der Haslerstiftung finanziell gefördert worden: <http://www.haslerstiftung.ch>

bälle können fast von überall, in unterschiedliche Richtungen und in sehr verschiedenen Spielsituationen gespielt werden. Die im Strassenverkehr und Tennis angewandte Radartechnik zur Messung der Fahrzeug- bzw. Aufschlagsgeschwindigkeit erfolgt in Bewegungsrichtung. In beiden Situationen können die bewegten Objekte recht gut angepeilt werden, weil sie eine ausreichende Grösse und vor allem eine bekannte Position und Bewegungsrichtung haben. In einem laufenden Badmintonspiel sind weder die Schlagposition noch die Flugrichtung im Voraus bekannt. Zudem bewegt sich der kleine, filigrane und nur fünf Gramm leichte Federball<sup>4</sup> kurz nach dem Schlag nicht nur in der neuen Flugrichtung, sondern muss darüber hinaus noch sein konisches Federhinterteil durch eine extrem schnelle transversale Rotation der neuen Flugrichtung angleichen. Diese Angleichung ist als rasch abklingende transversale Wellenbewegung in Abbildung 1 ersichtlich.

Auf dem ersten Meter nach dem Schlag beträgt die durchschnittliche Fluggeschwindigkeit des Federballs rasch 100 km/h und mehr. Bei Schmetterbällen von Spitzenspielern sind Geschwindigkeiten von 250 km/h keine Seltenheit. Der aktuelle, inoffizielle Geschwindigkeitsrekord stammt von einem chinesischen Badmintonspieler<sup>5</sup> aus dem Jahr 2005 und liegt bei 332 km/h. Im Vergleich dazu beträgt der aktuelle, offizielle Geschwindigkeitsrekord im Tennis<sup>6</sup> aus dem Jahr 2012 263 km/h. In Testlabors von Badminton-Racket-Herstellern (Yonex) sind anscheinend sogar schon 421 km/h gemessen worden.

Aus diesen genannten Gründen ist eine spontane, präzise Radarpeilung aus gut 15 Metern Abstand in einem laufenden Badmintonspiel impraktikabel<sup>7</sup>.

Als Alternative zur Radarpeilung bietet sich ein optisches Messverfahren auf Basis von Videoaufnahmen an. Heutige, digitale Hochgeschwindigkeitskameras sind in der Lage 1000 Bilder pro Sekunde bei VGA-Videobildgrössen zu produzieren und können einerseits bei kleineren Auflösungen sogar mehrere Zehntausend Bilder und andererseits bei Bildraten von 500 Bilder/s und weniger auch grössere Auflösungen aufnehmen. Dadurch lassen sich sehr schnelle Bewegungen filmen und nachträglich auswerten. Neben der hohen Bildrate ist aber auch eine sehr kurze Belichtungszeit notwendig, um Bewegungsunschärfe zu vermeiden, welche die Distanzmessung und somit die Geschwindigkeitsmessung unnötig erschweren wür-

den. Kurze Belichtungszeiten in der Grösse von 0.1 ms sind mit lichtstarken Objektiven und guter Badmintonfeldausleuchtung infolge der weissen Federbälle vor dem dunklen Hallenhintergrund durchaus realisierbar.

Für die Auswertung der Videosequenzen kann ein handelsüblicher, leistungsfähiger Rechner eingesetzt werden, welcher über schnelle Datenleitungen mit dem Kamerasystem verbunden wird. Die Echtzeitanforderung an das Gesamtsystem kann jedoch nur dann erfüllt werden, wenn es gelingt, die riesigen Datenmengen einer Hochgeschwindigkeitskamera in Echtzeit an das Auswertungssystem zu übertragen. Die meisten Hochgeschwindigkeitskameras sind bei Bildraten von 500 und mehr dazu aber nicht mehr in der Lage. Stattdessen speichern sie eine kurze Videosequenz fortwährend in einem kameraeigenen Ringpuffer und übertragen nach einem (manuell) ausgelösten Trigger einen ersten vordefinierten Anteil des Ringpuffers vor dem Triggersignal und einen zweiten Anteil nach dem Triggersignal an den Zielrechner. Eine solche Übertragung kann dann schnell mehrere Sekunden dauern und somit eine Echtzeitauswertung verunmöglichen.

Mittlerweile gibt es auch digitale Videokameras mit zusätzlicher CPU und Schnittstellen, so dass das ganze Kamerasystem als Standard-PC unter Windows oder Linux verwendet werden kann. Ein solch integriertes System löst zwar das Problem der Datenübertragung, enthält aber oft eine leistungsschwache CPU und ist nicht für hohe Bildraten ausgelegt. Einen anderen Ansatz wählen oft Hersteller von Hochgeschwindigkeitskameras. Sie bauen in ihre Kameras einen digitalen Signalprozessor (DSP) ein, um gewisse Bildaufbereitungsaufgaben direkt in der Kamera durchzuführen. Je nach Kameraarchitektur könnte ein solcher DSP auch für erste Bildauswertungsaufgaben eingesetzt werden, um beispielsweise eine inhaltsgesteuerte Sequenzauslösung und -übertragung zu starten.

### Optisches Messsystem

Für eine präzise Geschwindigkeitsmessung ist die Rekonstruktion des dreidimensionalen Flugwegs des Federballs anhand der gemachten Videoaufnahmen notwendig. Aus dem dreidimensionalen Flugweg lässt sich dann die Flugdistanz und aus der Bildrate der Videokamera die verstrichene Zeit und insgesamt die Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmen. Wie schon angedeutet, wird für die Geschwindigkeitsmessung eines Smashes nicht die Durchschnittsgeschwindigkeit über die gesamte Flugbahn, sondern lediglich über den ersten Meter nach dem Schlag verwendet. Einerseits vereinfacht dies den ganzen Vorgang, weil nur ein kleiner Ausschnitt der gesamten Flugbahn rekonstruiert werden muss. Andererseits sagt der gemessene Geschwindigkeitswert wenig über die

4 An internationalen Badmintonturnieren kommen nur Naturfederbälle mit einem Kopf aus Kork und echten Federn zum Einsatz. Daher beziehen sich alle hier gemachten Angaben auf Naturfederbälle.

5 Fu Haifeng: [http://de.wikipedia.org/wiki/Fu\\_Haifeng](http://de.wikipedia.org/wiki/Fu_Haifeng)

6 ATP: <http://www.atpworldtour.com/News/Tennis/2012/05/Features/Groth-Fast-Serve.aspx>

7 Das Spielfeld ist 13.4 m lang. Es muss mit einem Abstand von ca. drei Metern zum Spielfeldrand gerechnet werden, um die Spieler und die Linienrichter nicht zu stören.

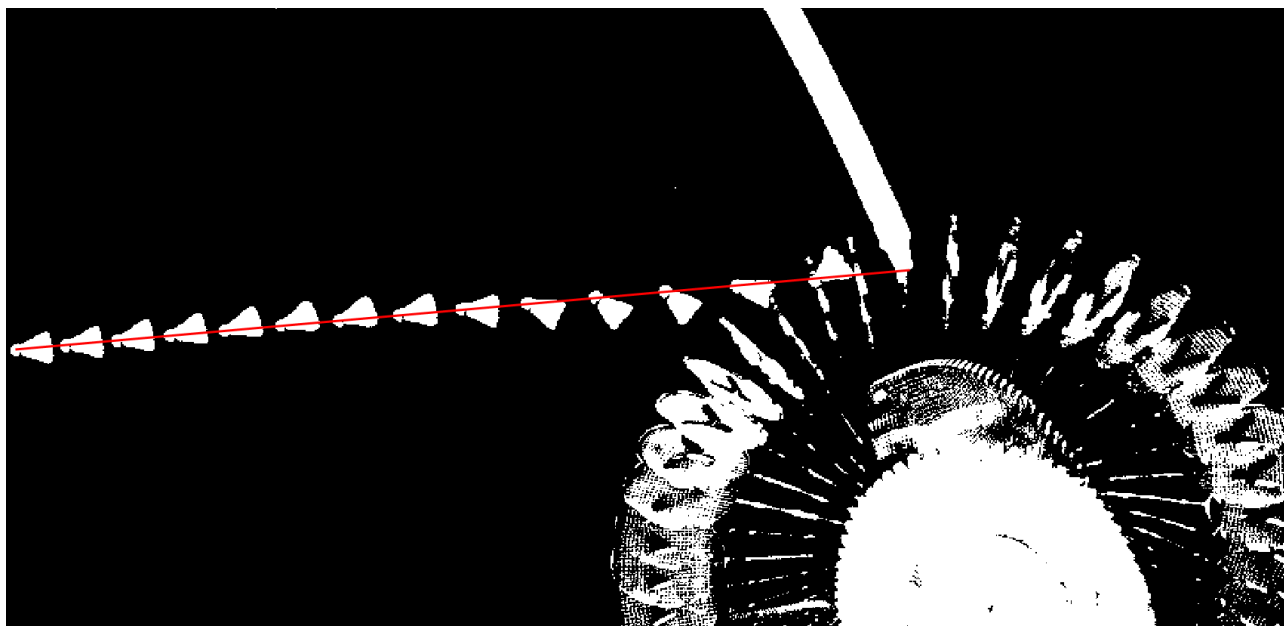


Abbildung 1: Lineare Flugbahn eines langsamen Smashes kurz nach dem Schlag

Durchschnittsgeschwindigkeit des vollständigen Smashes beginnend beim Treffpunkt und endend beim Berühren des Bodens oder beim Treffpunkt des Rückschlags aus. Vereinfacht man die tatsächliche Flugbahn des ersten Meters zu einer linearen<sup>8</sup>, so kann auf eine Rekonstruktion der tatsächlichen Flugbahn verzichtet werden und nur noch der Start- und Endpunkt der Messstrecke sind relevant. Auf alle Fälle bleibt aber die Rekonstruktion des genauen Treffpunkts im Raum, dort wo der Federball das Racket des schlagenden Spielers verlässt, und des Endpunkts der Messstrecke.

Die Photogrammetrie befasst sich mit der Bestimmung der räumlichen Lage eines Objektes aus Fotografien oder Messbildern. Dazu wird das Objekt von verschiedenen bekannten Standorten mit einer Kamera aufgenommen oder es werden gleichzeitig mehrere Kameras bzw. Stereokameras eingesetzt. Der Bedarf an mehrere Aufnahmen desselben unbekannten Objektes aus verschiedenen Positionen zur Bestimmung seiner räumlichen Lage hängt mit der zweidimensionalen Projektion des Kamerabildes zusammen. Für die Positionsbestimmung eines Federballs bei einem Smash bieten sich vor allem zwei Kamerapositionen an: eine Kamera an der Seitenlinie und eine Kamera oberhalb des Spielfelds. Während eine Kamera an der Seitenlinie gänzlich ausserhalb des Spielfelds und mit wenig Aufwand platziert werden kann, ist eine Kamerapositionierung oberhalb des Spielfelds schon einiges aufwendiger, weil sie mindestens sieben Meter über dem Spielfeld platziert werden muss, um kein Störfaktor zu sein. Damit einhergehen lange Kabelverbindungen zum Rechner, welcher die Kamerabilder erfassen, eventuell zusammenführen und auswerten soll. Beide Kamerapositionen eignen sich jedoch gut, die Flug-

<sup>8</sup> Für Schmetterbälle ist diese Annahme hinreichend genau, wie das Beispiel in Abbildung 1 exemplarisch zeigt.

bahn des Federballs (oder zumindest eine räumliche Projektion davon) festzuhalten.

Sobald mehrere Kameras gleichzeitig zum Einsatz kommen, stellt sich bei dynamischen Objekten das Synchronisationsproblem. Je schneller sich die zu fotografierenden Objekte bewegen, desto wichtiger ist eine genaue zeitliche Synchronisation der Aufnahmen. Nur dann lassen sich aus den einzelnen Aufnahmen genaue, zeitabhängige Ortsangaben zu den Objekten machen. Bei Hochgeschwindigkeitskameras wird die Synchronisation mehrerer Kameras zum echten Problem und wird wenn immer möglich vermieden.

Die notwendige Bildrate bei der Aufnahme eines Objektes, welche sich durch den Bildraum der Kamera hindurch bewegt, ergibt sich aus der Bewegungsgeschwindigkeit und der gewünschten Anzahl Bilder, auf denen das Objekt abgebildet sein soll. Im Fall eines Badminton-Smashes müssen wir von einer maximalen Geschwindigkeit (ca. 400 km/h) und von mindestens drei Aufnahmen ausgehen, welche den Federball auf seinem ersten Meter nach dem Schlag darstellen. Zwei Aufnahmen genügen in der Praxis kaum, weil beim eigentlichen Treffpunkt der Federball quasi im Racket verschwindet und infolge Verformung des Federballs und des Rackets kaum sichtbar ist. Unter diesen Annahmen resultiert eine Bildrate von mindestens 333 Bilder/s, welche auf die nächst höhere und verfügbare Bildrate der Hochgeschwindigkeitskamera (z.B. 500 Bilder/s) angehoben wird.

### Swiss Open 2011

Im März 2011 filmten wir in Absprache mit den Verantwortlichen der Badminton Swiss Open im Rahmen eines Studentenprojekts mit einer einzigen Hochgeschwindigkeitskamera der Firma

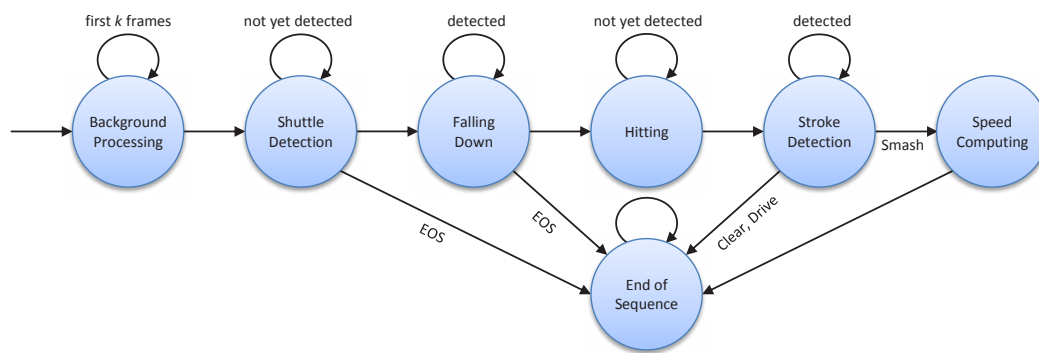


Abbildung 2: Zustandsmaschine zur Shuttle-Detektion und Geschwindigkeitsmessung

AOS Technologies AG<sup>9</sup> in den Finalspielen eine sehr grosse Anzahl von Smashes mit unterschiedlichsten Kameraeinstellungen. Die Kamera wurde in gebührendem Abstand zum Spielfeld an dessen Seitenlinie aufgestellt. Bei der genauen Positionierung achteten wir darauf, dass (Sprung-) Smashes von verschiedenen grossen Spielern und Spielerinnen in genügend hoher Auflösung und dennoch ausreichend langer Flugbahn erfasst werden konnten. Die daraus entstandenen Videoaufnahmen<sup>10</sup> dienten danach als realistische Testdaten zur Entwicklung einer ersten Software zur Smash-Geschwindigkeitsmessung.

An früherer Stelle haben wir ausgeführt, dass in der Photogrammetrie mehrere Aufnahmen des gleichen Objekts aus verschiedenen Blickwinkeln verwendet werden, um die räumliche Lage des Objekts zu bestimmen. In unserem Fall haben wir jedoch nur eine einzige Kamera zur Verfügung und müssen daher die fehlende Tiefeninformation im Kamerabild aus dem Abbildungsmaßstab der Kamera und der bekannten Objektgrösse des Federballs abschätzen. Hierin liegt jedoch eine grosse Ungenauigkeit, welche von der Kameraauflösung, der Kameraoptik und der Distanz zwischen Kamera und Objekt abhängt. Gemäss einer Fehlerabschätzung liegt der Messfehler bei ca. 6%, solange die Flugbahn parallel zur Bildebene liegt. Sobald die Flugbahn diese Ebene verlässt, was bei Cross-Smashes häufig vorkommt, steigt der Messfehler zusätzlich noch an. Daher sind alternative Lösungen zur Distanzmessung zwischen Kamera und Federball gesucht.

Bereits in diesem Vorprojekt ist eine erste einfache Version einer Auswertungssoftware entstanden. Diese Software ist in der Lage, die Geschwindigkeit eines Smashes parallel zur Bildebene und offline (also nicht in Echtzeit) mit einem gut definierten Messfehler zu bestimmen. Der dabei eingesetzte Algorithmus ist in C++ unter Verwendung von OpenCV<sup>11</sup> entwickelt worden, verwendet verschiedene Arten von Mustererken-

nung und entspricht im Wesentlichen der Zustandsmaschine in Abbildung 2.

### Echtzeitauglichkeit

Fürs Hauptprojekt haben wir uns zwei primäre Ziele gesetzt: erstens die Echtzeitauglichkeit zu verbessern und zweitens eine Anpassung der Geschwindigkeitsberechnung bei Flugbahnen, welche nicht parallel zur Bildebene verlaufen.

Betrachten wir zuerst die Echtzeitauglichkeit. Der naheliegendste Ansatz die Echtzeitauglichkeit zu erhöhen, wäre der Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera, welche in der Lage ist, die aufgenommenen Videobilder in Echtzeit an einen angeschlossenen Rechner zu übertragen und dort zu verarbeiten. Verschiedene solche Streaming-Systeme sind auf dem Markt und auch unser Projektpartner AOS Technologies AG bietet mit PROMON<sup>12</sup> ein entsprechendes System an [SS11]. Da die meisten dieser Highspeed-Streaming-Systeme jedoch nicht die Anforderung erfüllen, bei einer Mindestgrösse von 1000×600 eine Bildrate von 333 und mehr zu liefern, was einer Übertragungsrate von 1.6 GBit/s entspräche, verfolgen wir einen anderen Ansatz, nämlich die Reduktion der Datenübertragung von der Kamera zum Rechner.

Wie im Vorprojekt verwenden wir eine Schwarzweisskamera, welche problemlos 500 Bilder pro Sekunde bei einer Auflösung von 1280×600 liefern, diese aber nicht in Echtzeit an einen Rechner übermitteln kann. Da für die Berechnung der Smash-Geschwindigkeit nur ganz wenige Bilder notwendig sind, beginnend beim Treffpunkt des Federballs und endend zum Zeitpunkt, wo der Federball den Bildausschnitt verlässt, besteht die Idee darin, möglichst nur zwanzig relevante Bilder an den Rechner zu übertragen und dadurch die Dauer der Datenübertragung auf ein Minimum zu reduzieren. Ein solcher Ansatz lässt sich jedoch nur dann realisieren, wenn bereits innerhalb der Kamera über die Relevanz der Bilder entschieden oder der Trigger sehr präzise mit dem Schlag ausgelöst werden kann. Bei einer manuellen Auslösung des Triggers lassen sich mit etwas Übung 0.2 Sekunden dauernde Videosequenzen (= 100

9 AOS Technologies AG: <http://www.aostechnologies.com>

10 Slowmotion Badminton Smashes: <http://www.youtube.com/watch?v=haRSzUPdCzg>

11 Open Source Computer Vision: <http://opencv.org>

12 AOS PROMON: <http://www.aostechnologies.com/>

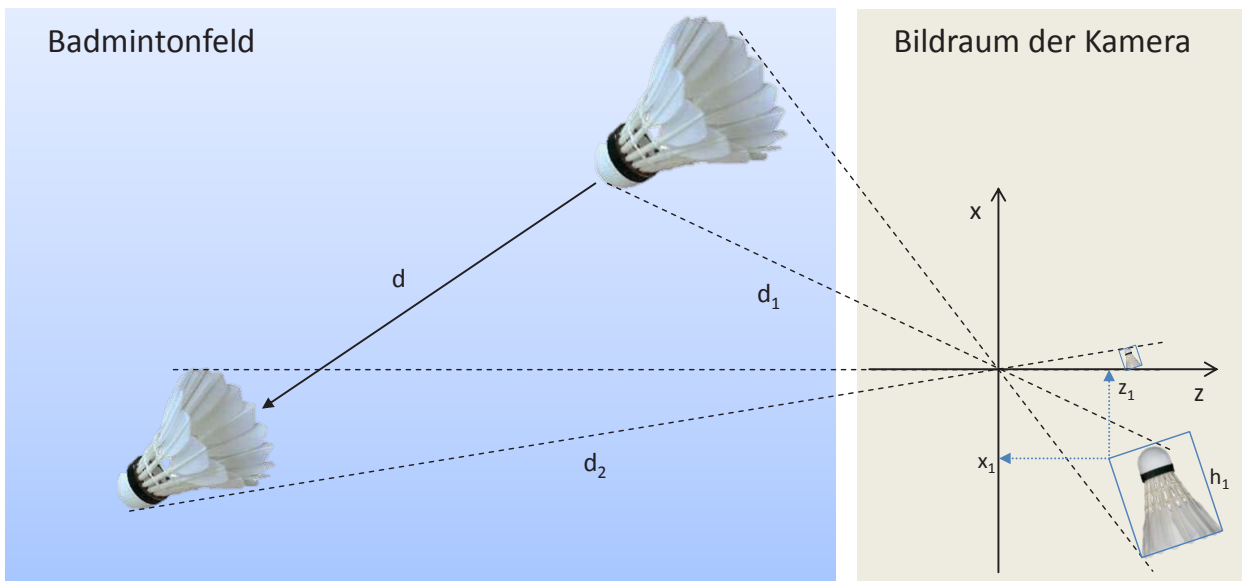


Abbildung 3: Abbildungsgeometrie zur Bestimmung der räumlichen Distanz

Bilder) aufnehmen, welche die relevanten Bilder zur Geschwindigkeitsmessung eines Smashes beinhalten. Ein ganz anderer Ansatz wäre eine akustische Trigger-Auslösung, welche das typische Schlaggeräusch verwenden und dadurch die Genauigkeit gegenüber der manuellen Auslösung erhöhen würde.

### Digitaler Signal Prozessor

Da die von uns verwendete Hochgeschwindigkeitskamera über einen eingebauten DSP verfügt, versuchen wir diesen für die Auslösung des Triggers einzusetzen. Dabei werden die an den DSP übertragenen Bilder mit einem speziell optimierten Programm nach einem Federball in einem vordefinierten Bereich abgesucht. Die ursprüngliche Idee, für dieses DSP-Programm den gleichen Algorithmus wie im Vorprojekt zu verwenden, scheitert daran, dass der DSP nur mit einer Bildrate von ca. 30 Bildern/s (nur jedem 17. Bild) versorgt wird und somit der Federball zwischen zwei DSP-Bildern wesentlich grössere Distanzen zurücklegt als dies beim in Abbildung 2 vorgestellten Algorithmus angenommen wird. Im genannten Algorithmus gehen wir davon aus, dass der Federball innerhalb eines schmalen Streifens am oberen Bildrand ins Bild eintritt. Diese Annahme vereinfacht und beschleunigt die Detektion wesentlich, weil der Suchbereich dadurch deutlich eingeschränkt ist. Eine Detektion am oberen Bildrand reduziert auch die Fehleranfälligkeit, weil sich in unteren Bildbereichen die Spielerin und das Racket bewegen und dadurch dem Federball ähnliche Muster auftreten können. Zwischen der ersten Detektion und dem Schlag besteht eine unterschiedlich lange Flugphase (die Länge hängt von der Position und Grösse des Spielers ab), welche mit wenig Aufwand bis zum Schlag überwacht werden kann. Durch die geringe Fallgeschwindigkeit des Federballs (ca. 4 m/s) können

innerhalb dieser Flugphase zwischen zehn und mehr als hundert Bilder liegen. Auf den DSP übertragen bedeutet dies, dass zur Federballdetektion vor dem Schlag nur zwischen null und fünf Bilder verwendet werden können. In den Fällen, wo gar keine Bilder verwendet werden können, muss auf eine Auswertung gänzlich verzichtet werden. In den anderen Fällen muss der Suchbereich so stark ausgeweitet werden, dass sowohl der Suchaufwand als auch die Fehleranfälligkeit sich dermassen erhöhen, dass eine zuverlässige Detektion in der für den DSP-Algorithmus zur Verfügung stehenden Ausführungszeit nicht umsetzbar ist.

Es ist uns also nicht gelungen, die Datenmenge zwischen Kamera und Rechner zuverlässig und signifikant zu reduzieren, so dass nur die für die Geschwindigkeitsmessung relevanten Bildsequenzen übertragen werden. Um dennoch in nützlicher Zeit eine Geschwindigkeitsmessung durchführen zu können, bleibt nur die Reduktion der Datenmenge pro Video-Bild und der Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera mit Echtzeitdatenübertragung. Darauf gehen wir weiter unten noch ein.

### Geschwindigkeitsberechnung

Das zweite verfolgte Ziel ist eine verbesserte Geschwindigkeitsmessung bei Federballflugbahnen, welche nicht parallel zur Bildebene der Kamera verlaufen. Bei einer parallelen Flugbahn lässt sich aus der realen Federballgrösse  $G$  und seiner Bildgrösse  $h$  der Abbildungsstabs  $A = h/G$  bestimmen. Zusammen mit der Bildrate der Kamera und dem zweidimensionalen Bewegungsvektor des Federballs im Bild lässt sich dann die Geschwindigkeit berechnen. Um die räumliche Geschwindigkeit berechnen zu können, bedarf es zusätzlicher Tiefeninformation. In einer Bildsequenz eines Smashes wird dazu im  $i$ -ten Bild die räumliche Distanz  $d_i = \sqrt{(x_i, b, z_i)} / A$  zwischen Kamera

und Federball aus der Bildgrösse  $h_i$  des Federballs und den Abbildungseigenschaften der verwendeten Kamera und Optik (Abbildungsmaassstab  $A$ , Brennweite  $f$ , Bildweite  $b$ , Auflösung)<sup>13</sup> berechnet (siehe Abb. 3). Aus diesen räumlichen Distanzen lassen sich dann der räumliche Flugweg  $d$  und somit auch die räumliche Geschwindigkeit des Shuttles berechnen.

Die Genauigkeit der Distanzberechnung hängt also wesentlich von der Genauigkeit der Grössenmessung  $h$  des Shuttles im Bild ab. Infolge der starken Verformungen des Shuttles unmittelbar nach dem Schlag ist eine solche Grössenmessung nicht immer mit gleicher Qualität möglich. Erschwerend kommt hinzu, dass infolge der hohen Shuttle-Geschwindigkeit nur wenige, relevante Einzelbilder nach dem Schlag zur Verfügung stehen und dass aus den daraus gemessenen Shuttle-Grössen möglichst exakt die räumliche Flugbahn interpoliert werden muss. Dabei führen kleinste Messabweichungen rasch zu einem Geschwindigkeitsmessfehler von +/-10%.

### Swiss Open 2012

An den diesjährigen Badminton Swiss Open 2012 haben wir unsere neue Software getestet, laufend überarbeitet und in den Finalspielen am Sonntag auch erste Messresultate den Zuschauern präsentiert. Die Geschwindigkeitsmessung ist auf noch verhaltenes Interesse gestossen. Das hängt primär damit zusammen, dass wir das gesteckte Ziel der Echtzeitauglichkeit noch nicht erfüllt haben. Infolge der fehlenden automatischen Bildauslösung in der Kamera haben wir die Kamera manuell ausgelöst und dadurch eine wesentlich grössere Anzahl Bilder für die Übertragung und Analyse in Kauf genommen. Mit etwas Übung sind wir in der Lage, in einer Sequenzlänge von 0.2 Sekunden (100 Bilder) die für die Geschwindigkeitsmessung relevanten Bilder einzufangen. Bis zur Anzeige der Geschwindigkeit sind dann jedoch bis zu 10 Sekunden verstrichen, anstatt der erhofften zwei Sekunden. Dadurch ist die Geschwindigkeitsmessung nur noch bei einem Ballwechsel abschliessenden Smash aussagekräftig einsetzbar.

### PROMON und Ausblick

Die vertiefte Auseinandersetzung mit der Problematik hat uns gezeigt, dass wir im Wesentlichen darauf angewiesen sind, dass die von der Kamera erzeugten Bilder in kürzester Zeit beim Analysesystem ankommen. Das bedeutet, dass wir eine Hochgeschwindigkeitsvideokamera benötigen, welche in der Lage ist, die riesige Datenflut bei einer Bildrate von 500 Bildern pro Sekunde in

<sup>13</sup> Die Bildweite  $b$  lässt sich aus der einfachen Linsengleichung  $1/g + 1/b = 1/f$  und dem Abbildungsmaassstab  $A = b/g = h/G$  durch  $b = f(A + 1)$  bestimmen, wobei  $g$  die räumliche Distanz zwischen Objekt und Hauptebene der Linse darstellt und  $G$  die Grösse des Objekts und  $h$  die Bildgrösse des Objekts sind.

Rückschläge	100
Smashes mit Geschwindigkeitsmessung	20
nicht erkannte Smashes	6
andere Rückschläge mit Geschwindigkeitsmessung	4
andere Rückschläge korrekt erkannt	70

Tabelle 1: Auswertung von Badmintonsequenzen in einer Trainingshalle

möglichst kurzer Zeit (wenn möglich in Echtzeit) an den PC zu übertragen. Bei einer Bildgrösse von 1280×1024 wäre somit eine Transferrate von 5.24 Gbit/s notwendig. Nur so erhalten wir alle notwendigen Informationen rechtzeitig, die wir für unsere Geschwindigkeitsanalyse im PC benötigen. Transferraten von 10 Gbit/s und mehr sind mit heutigen Interface-Technologien tatsächlich realisierbar. Mit dem Wechsel auf eine Kamera mit entsprechender Streaming-Technologie sollte es somit möglich sein, das Gesamtsystem zu vereinfachen und zu beschleunigen.

Da wir momentan keinen Zugriff auf ein entsprechendes Kamerasystem haben, versuchen wir die Auswirkungen einer geringeren Bild- und Zeitauflösung auf die Smash-Detektion und -Geschwindigkeitsmessung mit Hilfe des Systems PROMON von AOS zu ermitteln. Daher haben wir in einer Trainingshalle einen insgesamt 42-minütigen Mitschnitt von mehreren Trainingsspielen mit einer Auflösung von 1280×720 und einer Bildrate von 200 erstellt. Diese Testdaten weisen leider nicht die gleich hohe Qualität wie die an den Swiss Open unter professionellen Bedingungen erstellten Videosequenzen auf. Daher sind die nachfolgenden Ergebnisse in Tabelle 1 mit grosser Vorsicht zu interpretieren. Dennoch geben Sie uns Hinweise darauf, welche Schwierigkeiten bis zu den nächsten Badminton Swiss Open 2013 noch gelöst werden müssen, um den Zuschauern zuverlässige Smash-Geschwindigkeitsangaben liefern zu können.

Die Werte in Tabelle 1 sagen natürlich noch nichts über die Güte der Smash-Geschwindigkeitsmessung aus. Eine echte Validierung der Geschwindigkeitsmessung hat bis jetzt noch nicht stattgefunden, wäre aber sicherlich wünschenswert. Bei langsameren Schlägen und unter klar vorgegebenen Bedingungen könnte eine solche Validierung beispielsweise mithilfe einer Radarmessung durchgeführt werden, wobei ganz klar sein müsste, zu welchem exakten Zeitpunkt die Geschwindigkeitsmessung stattgefunden hat, da die Shuttle-Geschwindigkeit im Verlauf der Smash-Flugbahn schnell absinkt. Denkbar sind aber auch ganz andere Ansätze basierend auf Sensoren zur Validierung oder Plausibilisierung unserer Geschwindigkeitsmessung.

### Referenz

[ISS11] Schindler, M., Stamm, C. Highspeed Videoverarbeitung. IMVS Fokus Report, 2011.