

Physikalische Aspekte des Fußballspiels - Kopfbälle

Pilar Ritzer * und Angela Fösel *

*Didaktik der Physik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen, pilar.ritzer@physik.uni-erlangen.de und angela.foesel@physik.uni-erlangen.de

Kurzfassung

Die kinematische und dynamische Analyse von sportlichen Bewegungen bietet einen spannenden Rahmen für eine intensive Auseinandersetzung mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die hierfür notwendige Verwendung von modernsten Gerätschaften wie Hochgeschwindigkeitskameras und Beschleunigungssensoren motiviert darüber hinaus. Wir haben Situationen des Kopfballspiels, wie sie in einem Fußballspiel in Angriff und Verteidigung auftreten, nachgestellt. Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera vom Typ CASIO Exilim EX-FH25 wurden gleichzeitig die Bewegung des Balles und auch die des Kopfes aufgenommen. Anschließend wurde der zeitliche Verlauf beider Bewegungen bezüglich des Weges, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung analysiert. Parallel hierzu wurde der zeitliche Verlauf der Beschleunigung des Kopfes mit einem dreiachsigen Beschleunigungssensor der Firma Vernier aufgezeichnet. Vorgestellt werden die Ergebnisse einer ersten Auswertung: Der zeitliche Verlauf der Beschleunigung des Kopfes stimmt mit demjenigen der entsprechenden Videoanalyse überein. Zudem lässt sich der Betrag der Kraft abschätzen, die während des Kopfballs auf den Kopf des Fußballspielers wirkt.

1. Einleitung

Die Betrachtung der Thematik *Fussball* im Kontext Physik war und ist Thema zahlreicher Veröffentlichungen in der Fachphysik wie auch im Bereich der Physikdidaktik, und das nicht nur zu Zeiten von Weltmeisterschaften und Europameisterschaften. Genannt seien an dieser Stelle exemplarisch das fachdidaktisch orientierte Werk „Praxis Schriftenreihe Physik/Sport und Physik“ von Leopold Mathelitsch und Sigrid Thaller [2] oder auch das populärwissenschaftlich-fachwissenschaftliche Buch von John Wesson mit dem Titel „Fußball - Wissenschaft mit Kick: Von der Physik fliegender Bälle und der Statistik des Spielausgangs“ (vgl. [5]). Ausführliche Abhandlungen zur *Flugphysik von Fußballen* finden sich beispielsweise in [1] oder auch in [3]. Kaum diskutiert jedoch wird die *Physik von Kopfbällen*.

2. Von der realen Kopfballsituation zu einer (sehr einfachen) Modellierung

Bei einer realen Kopfballsituation, wie sie in einem Fußballspiel in Angriff oder Verteidigung auftritt, ist in der Regel der Kopf des Spielers vor der Ballannahme nicht in Ruhe: $v_{Kopf, vorher} \neq 0$. Auch trifft der Ball mit einer Geschwindigkeit ungleich Null auf den Kopf des Spielers: $v_{Ball, vorher} \neq 0$. Desweiteren ist der „Stoßprozess“ meist weder zentral noch gerade.

In einem Modellexperiment haben wir eine sehr idealisierte „Kopfballsituation“ nachgestellt. Dabei wurde die Geschwindigkeit des Kopfes auf (nahezu) Null

„gesetzt“: Ein Spieler wurde gebeten, ruhig zu stehen und auch den Kopf möglichst nicht zu bewegen. Dann wurde ein Ball weitgehend zentral und gerade auf seinen Kopf geworfen.

2.1. Kinematische Analyse des Kopfballspiels

Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera vom Typ CASIO Exilim EX-FH25 (Datenblatt vgl. [6]) wurden bei diesem Modellexperiment gleichzeitig die Bewegung des Balles und auch die des Kopfes aufgenommen. Die Bildrate lag dabei bei 120 fps bei einer Auflösung von 640 x 480 Pixel.

Mithilfe des Videoanalyseprogramms des Messwerterfassungssystems COACH 6 (Handbuch zum Messwerterfassungssystem vgl. [10]) wurde der zeitliche Verlauf des Weges ausgewertet, den der Kopf in horizontaler Richtung zurückgelegt. Die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit wurde durch Differenzenbildung ermittelt: Bei einer Auflösung von 640 x 480 Pixel und 120 fps musste von Hand jeweils das Zeitintervall ermittelt werden, innerhalb dessen die Differenz im Ort und damit auch die Geschwindigkeit tatsächlich einen Wert ungleich Null annimmt. Ebenso wurde durch Differenzenbildung bezüglich der Geschwindigkeiten die Beschleunigung zu festen Zeitpunkten errechnet. Das Ergebnis ist in Abb. 1 zu sehen. Ein negativer Wert der Beschleunigung bedeutet dabei eine Beschleunigung des Kopfes nach hinten, d.h. in Bewegungsrichtung des zugeworfenen Balles. Die zeitliche Dauer des Kontaktes des Balls mit dem Kopf (Kontaktzeit T_K) liegt bei etwa 0,05 s.

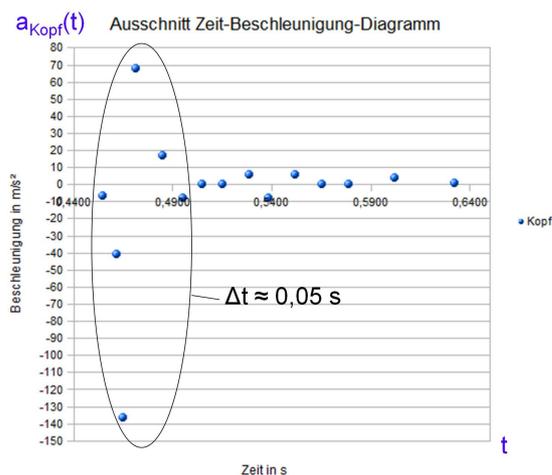


Abb. 1: Videoanalyse der Bewegung des Kopfes des Kopfballspielers in horizontaler Richtung. Modellexperiment.

Parallel zur Videoaufzeichnung der modellierten Kopfballsituation wurde der zeitliche Verlauf der Beschleunigung des Kopfes direkt mit einem - dreiachsigen - Beschleunigungssensor der Firma Vernier (Datenblatt zum Beschleunigungssensor vgl. [8]) in Kombination mit einem Datenlogger ULAB (Datenblatt zum Datenlogger ULAB vgl. [9]) ermittelt: Insgesamt drei aufeinander senkrecht stehende und unabhängig voneinander messende Sensoren mit jeweils einem maximalen Messbereich von ± 5 g bilden diesen dreiachsigen Beschleunigungssensor. Die Ausgabe der Messwerte erfolgt wahlweise in der Einheit $1 \frac{m}{s^2}$ oder in Vielfachen der Erdbeschleunigung g. Angebracht wurde dieses Messgerät an der Schläfe des Kopfballspielers derart, dass genau eine der drei Achsen in Richtung des zugeworfenen Balles positive Beschleunigungswerte misst. Somit kann diese Messung als Kontrolle bezüglich der Auswertung der Videoanalyse angesehen werden. Die beiden anderen Richtungen werden mitgemessen und können bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt ausgewertet werden. Auch wurde ein zweiter, baugleicher dreiachsiger Beschleunigungssensor am Nacken des Kopfballspielers angebracht: Der zeitliche Verlauf und insbesondere die Maximalwerte der Beschleunigung des Nackens können somit komponentenweise mit denjenigen an der Schläfe verglichen werden. Erste Auswertungen lassen einen weitgehend ähnlichen zeitlichen Verlauf von Beschleunigung an Schläfe und Nacken erkennen. Die Maximalwerte am Nacken liegen deutlich unter denjenigen an der Schläfe; der Grund hierfür könnte ein aus gesundheitstechnischen Gründen erwünschtes Versteifen des Genicks beim Köpfen sein.

Abb. 2 zeigt die Anbringung des Sensors an der Schläfe des Kopfballspielers, in Abb. 3 ist die Mon-

tierung im Nackenbereich zu sehen. Die Sensordaten wurden jeweils mit dem Datenlogger ULAB gespeichert, die graphische Aufbereitung erfolgte mithilfe der Software COACH 6 nach einem Überspielen der Daten auf den PC.



Abb. 2: Anbringung des Beschleunigungssensors im Schläfenbereich.



Abb. 3: Anbringung des Beschleunigungssensors im Nackenbereich.

Abb. 4 stellt den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung des Kopfes des Kopfballspielers dar, wie er mit dem Beschleunigungssensor in horizontaler Richtung bei einer Frequenz von 50 Hz ermittelt wurde: Der Graph stimmt qualitativ hervorragend mit demjenigen aus der Videoanalyse überein. Auch ist die hieraus abgeschätzte Kontaktzeit im Einklang mit der Videoanalyse. - Die gemessenen Absolutwerte sind im Vergleich zur denjenigen aus der Videoanalyse allerdings zu niedrig. Ein Grund ist darin zu sehen, dass der maximale Messbereich des verwendeten dreiachsigen Beschleunigungssensors mit ± 5 g zu klein ist. Vor allem jedoch war die Abtastfrequenz mit 50 Hz zu gering: „Zwischen“ den Messwerten, insbesondere auch im Maximalbereich, sind noch Werte größerer Beschleunigung zu vermuten.

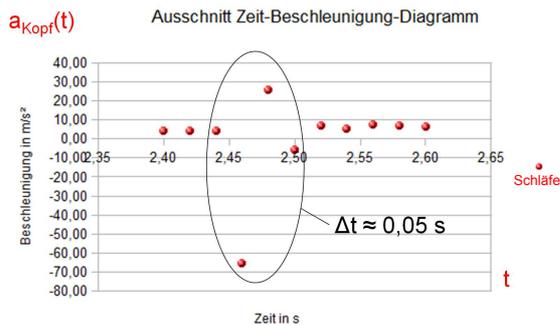


Abb. 4: Aufzeichnung der Bewegung des Kopfes des Kopfballspielers in horizontaler Richtung mit Beschleunigungssensor und ULAB. Modell-experiment.

2.2. Dynamische Analyse des Kopfballspiels

Ergänzend zur kinematischen Analyse des Kopfballspiels lässt sich aus den durchgeführten Messungen auch die Kraft abschätzen, die bei Ballkontakt auf den Kopf des Fußballspielers wirkt:

$$F = \frac{\Delta p}{T_K}$$

Dabei ist Δp der Impulsübertrag Ball \leftrightarrow Kopf, und T_K kennzeichnet die Kontaktzeit.

$$\begin{aligned} \Delta p &= m_{Ball} \cdot (v_{Ball,vorher} - v_{Ball,nachher}) \\ \Leftrightarrow \Delta p &= 0,44 \text{ kg} \cdot \left(4,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} - (-3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}})\right) \\ \Leftrightarrow \Delta p &= 3,6 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$T_K \approx 0,050 \text{ s}$$

Dabei sind die Werte für die Geschwindigkeiten des Balles der Videoanalyse entnommen. Dem Zahlenwert für die Kontaktzeit liegen die Videoanalyse bzw. Analyse der Sensordaten zugrunde.

$$\begin{aligned} \Rightarrow F &= \frac{3,6 \text{ kg m/s}}{0,050 \text{ s}} \\ \Leftrightarrow F &= 72 \text{ N} \end{aligned}$$

D.h. bei Ballkontakt wirkt über das komplette Zeitintervall von 0,050 s hinweg im Mittel eine Kraft von etwa 72 N auf den Kopf des Fußballspielers ein.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Für eine Analyse der physikalischen Aspekte einer realen Kopfballsituation haben wir zunächst ein einfaches Modellexperiment entwickelt. Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera vom Typ CASIO Exilim EX-FH25 wurden gleichzeitig die Bewegung des Balles und auch die des Kopfes aufgenommen. Anschließend wurde der zeitliche Verlauf beider Bewegungen bezüglich des Weges, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung analysiert. Parallel hierzu wurde der zeitliche Verlauf der Beschleunigung des Kopfes mit einem dreiachsigen Beschleunigungssensor der Firma Vernier aufgezeichnet: Der zeitliche Verlauf der Beschleunigung des Kopfes stimmt mit demjenigen der entsprechenden Videoanalyse qualitativ gut überein. Zudem lässt sich der Betrag der Kraft abschätzen, die während des Kopfballs - im Mittel! - auf den Kopf des Fußballspielers wirkt.

Geplant sind weitere Untersuchungen der Beschleunigung des Kopfes eines Kopfballspielers mithilfe eines Beschleunigungssensors, der einen größeren Messbereich ($\pm 25g$) besitzt. Dabei soll auch die Abtastrate des Sensors auf bis zu 1000 Hz erhöht werden. Eine Erweiterung des Modellexperiments (Berücksichtigung der Anfangsgeschwindigkeit des Kopfes des Kopfballspielers) soll eine Annäherung an die reale Situation schaffen.

Danken möchten wir an dieser Stelle den Mitarbeitern des „Haus der Athleten“ in St. Paul/Nürnberg und insbesondere den beiden Nachwuchsspielern des 1. FCN, Tobias Pachonik und Steffen Eder, für die bereitwillige Unterstützung unseres Vorhabens.

4. Literatur

- [1] Goff, John Eric und Carré, Matt J.: Soccer ball lift coefficients via trajectory analysis. In: *European Journal of Physics*, 31, S. 775-784. 2010.
- [2] Mathelisch, Leopold und Thaller, Sigrid: Praxis Schriftenreihe Physik/Sport und Physik. Band 64. Aulis Verlag. Hallbergmoss 2010.
- [3] de Mestre, Neville: The Mathematics of Projectiles in Sport. Australian Mathematical Society Lecture Series. Volume 6. Cambridge University Press. Cambridge 1990.
- [4] Vieira, Armando: Kick-off. In: *The Physics Teacher*, 44, S. 286-289. 2006.
- [5] Wesson, John: Fußball - Wissenschaft mit Kick: Von der Physik fliegender Bälle und der Statistik des Spielausgangs. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg 2006.
- [6] Datenblatt CASIO Exilim EX-FH25, CASIO Europe GmbH, 22848 Norderstedt. <http://de.exilim.eu/de/>

- [7] Clauser, Charles E.: Weight, volume, and center of mass of segments of the human body. In: *AMRL Technical Report*. Air Force Systems Command. Wright-Patterson Air Force Base. Ohio, 1969. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/710622.pdf>
- [8] Datenblatt 3-achsiger Beschleunigungssensor P4210-3B, Fruhmann GmbH NTL Manufacturer und Wholesaler, A-7343 Neutal/Austria. <http://ntl.at>
- [9] Datenblatt Datenlogger ULAB P4910-1U, Fruhmann GmbH NTL Manufacturer und Wholesaler, A-7343 Neutal/Austria. <http://ntl.at>
- [10] Handbuch Messwerterfassungssystem COACH 6, Fruhmann GmbH NTL Manufacturer und Wholesaler, A-7343 Neutal/Austria. <http://ntl.at/cma/>