

Ahmad Asali¹
Majeed Tanveer¹
Sebastian Staacks¹
Heidrun Heinke¹
Laura Vöckel²
Fabiola Haas²
Timo Klein-Soetebier²
Julia Mierau²
Heike Nitzsche³

¹RWTH Aachen Universität
²DSHS Köln
³HSZ RWTH & FH Aachen

Phyphox-basierte Analyse der Newton'schen Mechanik im Tischtennispiel

Motivation

Tischtennis gilt als eine techniklastige Sportart, in der kleinste Veränderungen der Schlagausführung große Konsequenzen haben. Die Stärke der Rotation eines Balls zu messen ist aufgrund des hohen Tempos und der kleinen Ausmaße schwierig. Eine robuste Analyse benötigt spezielle Kameras und Software (Hsien-I et al., 2020; Schneider et al. 2018), die sich Schulen nicht leisten können, oder die ständige Begleitung und Beurteilung durch Lehrkräfte, die zeitintensiv und subjektiv ist. Maschinelles Lernen kann hierfür alternative neue Möglichkeiten eröffnen, die aber Videoanalyse und viele Referenzdaten benötigen (Li, 2023). Auf der anderen Seite bietet die Analyse im Tischtennis gute Anlässe, verschiedene physikalische Phänomene im Rahmen der Newton'schen Mechanik zu untersuchen. Mit Hilfe der App phyphox (Staacks et al. 2018; Stampfer et al., 2020), die für Smartphones kosten- und werbefrei verfügbar ist, setzen die RWTH Aachen und DSHS Köln auf die Messung der physikalischen Effekte des Balls beim Auftreffen auf den Tisch. Die digitale Messwertaufnahme und eine automatisierte Datenanalyse erlauben systematische und objektive Untersuchungen der sportpraktischen Leistung, wie dies in den Prüfungsanforderungen verlangt ist (Schulministerium NRW, 2016, S. 44), und zwar mit einem niederschweligen Aufwand. Außerdem werden Bezüge zwischen physikalischen Phänomenen und sportlichen Ereignissen erkennbar, was einer zugleich spielerischen und datengestützten Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen durch die Lernenden dienen kann.

Rahmenbedingungen

Wenn ein Ball mit Vorwärtsbewegung in Rotation um eine Eigenachse versetzt wird, kann er einer unerwarteten, gekrümmten Bewegungsbahn folgen. Insbesondere bewegt er sich nach dem Aufprall mit einem kleineren bzw. größeren Winkel verglichen mit dem Auftreffwinkel fort. Dies gibt den Spieler:innen den Eindruck, er werde „schneller“ oder „langsamer“, wobei sie nur die Geschwindigkeitskomponente in Vorwärtsrichtung betrachten. Das zugrundeliegende Phänomen heißt Magnus-Effekt (Demtröder, 2015, S. 230). Sportler:innen nutzen gezielt diesen Effekt in Sportarten wie Fußball, Tennis und Tischtennis. Die Fähigkeit, den Ball in Rotation zu versetzen, lässt sich deshalb als ein Kriterium für den Leistungsfortschritt in diesen Sportarten betrachten. Der Beitrag fokussiert auf Tischtennis, wobei die zusätzliche Vorwärts- und Rückwärtsrotation ((Top-Spin & Back-Spin) des Balls im Vergleich zu dem Fall ohne Eigenrotation (No-Spin) untersucht wird. Die zusätzliche Rotation erzeugt einen Beitrag zur Reibung mit dem Tisch. Wenn der Ball auf dem Tisch landet, wird die Rotations-

Bewegung des Balls durch den Tisch verhindert. Dieses Bremsen entspricht einer negativen Beschleunigung, die sich über die Wechselwirkung mit dem Tisch darauf überträgt. Über die internen Sensoren des Smartphones auf dem Tisch wird der Effekt sichtbar gemacht. Die Wechselwirkung des Tisches mit dem Ball ändert die Translationsbewegung und somit die Vorwärtskomponente der Geschwindigkeit und beeinflusst den Winkel, unter dem der Ball zurückspringt. Zur Messung der Beschleunigungen eignen sich gängige Smartphones.

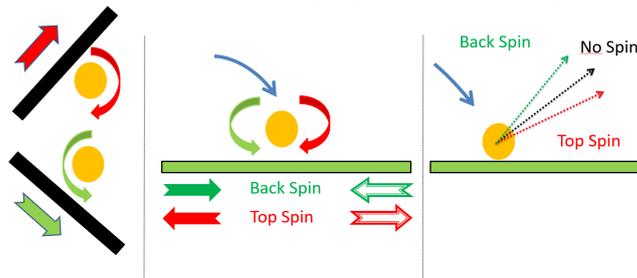


Abb. 1: Links: Bewegung des Schlägers (rot: Top-Spin, grün: Back-Spin). Mitte: blauer Pfeil: Flugbahn des Balls; roter bzw. grüner Halbkreis: Vorwärts- bzw. Rückwärtsrotation, vollgefärbter Pfeil: die Reibungskraft, hohler Pfeil: die Reaktion des Tisches. Rechts: Änderung des Abprallwinkels.

Aufbau und Durchführung

Für die Durchführung der Messdatenaufnahme werden zwei Spieler:innen mit Tischtennisschlägern, ein Tischtennistisch, min. 20 Tischtennisbälle, ein Smartphone mit phyphox (<https://phyphox.org>), sowie ein zweites Endgerät für den Fernzugriff auf das Smartphone benötigt. Man startet die App, wählt das Experiment „Beschleunigung mit g“ aus und verbindet das Smartphone mit dem zweiten Gerät. Das Smartphone wird mit dem Display nach unten 2 cm vom Netz positioniert (siehe Abb. 2). Für eine zuverlässige Analyse soll eine Person als Zuspieler:in den Ball aus der Luft direkt auf die gegenüberliegende Tischhälfte schlagen, der von der / dem Spieler:in zurückgeschlagen wird. Diesen Vorgang wiederholt man, bis mindestens 10 erfolgreiche Schläge je Rotationsart aufgenommen wurden.

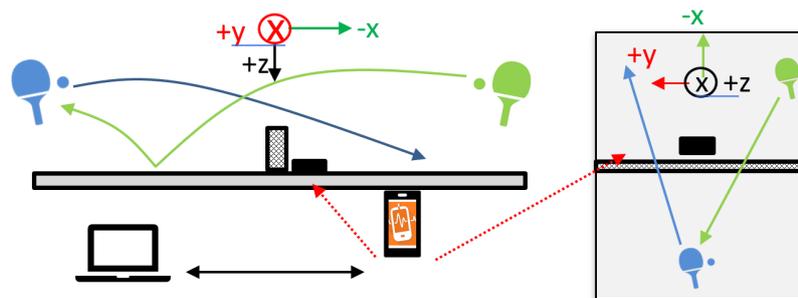


Abb. 2: Aufbau in Seitenansicht (links) und Draufsicht. Zuspieler:in grün, Spieler:in blau.

Datenaufnahme und -auswertung

Auch wenn größere Datensätze genauere Aussagen ermöglichen, reichen schon 10 erfolgreiche Schläge pro Rotationsart für eine erste Analyse aus. Hier wurden insgesamt 30 erfolgreiche Schläge pro Testperson aufgenommen. Nach jedem Durchgang werden die Messdaten als Tabelle im Format .csv oder .xlsx gespeichert. Über die Funktion „Fernzugriff“

können die Messdaten über das zweite Gerät gesehen und gespeichert werden. D.h. das Smartphone bleibt dabei unberührt. Der Unterschied der mittleren Beschleunigungsdifferenz je Schlag zwischen Top-Spin bzw. Back-Spin und No-Spin Schlägen ist die gesuchte Größe. Hierfür ermittelt man zuerst die Unterschiede zwischen maximalen und minimalen Werten der Beschleunigungsdaten für jeden Schlag. Anschließend bildet man den Mittelwert jeweils für Schläge mit Top-Spin bzw. Back-Spin und No-Spin und vergleicht letztendlich diese zwei.

- Schritt 1: Maximum und Minimum für jeden Schlag finden: $a_{tot,i,Max}^{X-Spin}$ und $a_{tot,i,Min}^{X-Spin}$ wobei das X-Spin für No-Spin, Top-Spin und Back-Spin steht.
- Schritt 2: den Unterschied bilden $\delta a_{tot,i}^{X-spin} = |a_{tot,i,Max}^{X-Spin} - a_{tot,i,Min}^{X-Spin}|$
- Schritt 3: den Mittelwert berechnen: $m_{X-spin} = (\sum_i \delta a_{tot,i}^{X-spin})/i$
- Schritt 4: Differenz der Mittelwerte berechnen, z.B.: $\Delta a_{Top-No} = m_{Top-Spin} - m_{No-Spin}$

Für die automatisierte Analyse der Daten wurde ein Python-Code entwickelt, der die Peaks in den Beschleunigungswerten identifiziert. Hierfür ist es wichtig, dass Peaks aus einer fehlerbehafteten Messwertaufnahme (z.B. Ballkontakt mit dem Netz oder dem Tischrand bzw. durch Körperkontakt mit dem Tisch) verworfen werden. Damit die Nutzer:innen solche Peaks händisch abwählen können, erstellt der Code eine interaktive Graphik. Darin kann man die Anzahl der Peaks (Schläge) eintragen und die Peaks für die Datenanalyse einzeln aus- und abwählen. Die Ergebnisse können in eine separate Excel-Datei ausgegeben werden, darauf folgt Schritt 4 händisch von den Nutzer:innen. Die niederschwellige Messwertaufnahme und die halbautomatische Auswertung erlauben eine personalisierte Leistungskontrolle.

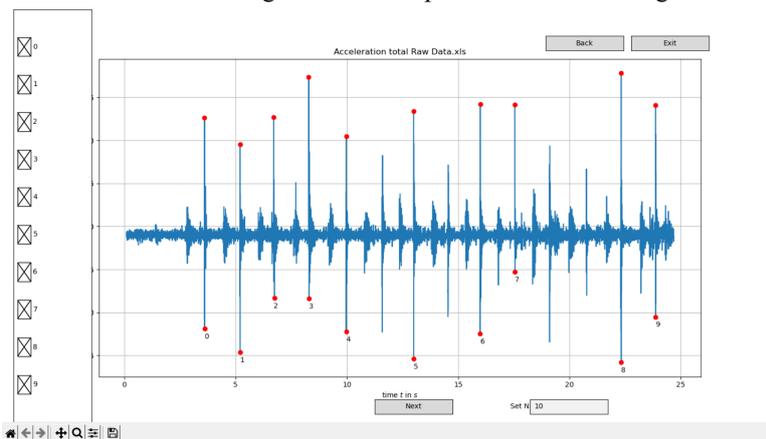


Abb. 3: Die interaktive Graphik erlaubt händisches Aus- und Abwählen der Peaks.

Ausführung, erste Ergebnisse und Ausblick

Bisher wurden über 1500 Schläge von Spieler:innen und über 1000 von Tischtennisrobotern in Aachen und Köln aufgenommen und mit dem Code analysiert. Die Aufnahme in Köln wurde zudem von einem Experten begleitet, der die sportliche Leistung der Spieler:innen erfahrungsbasiert bewertete. Es konnten klare statistische Korrelationen zwischen den jeweils kleinen aber betragsmäßig positiven bzw. negativen Werte von Δa_{Top-No} bzw. $\Delta a_{Back-No}$ mit dem Leistungsniveau der Spieler:innen für Top-Spin bzw. Back-Spin Schläge gezeigt werden. Aktuell wird an einer Webseite für eine automatisierte Analyse von Daten gearbeitet, die es Spieler:innen ermöglichen soll, ihre Daten zur Analyse ihres persönlichen Fortschritts hochzuladen, sowie an Implementierung und Testung an Schulen.

Literatur

- Lin, H.-I., Yu, Z., Huang, Y.-C. (2020). Ball Tracking and Trajectory Prediction for Table-Tennis Robots. In *Sensors* 2020 (20), S. 333. MDPI. <https://doi.org/10.3390/s20020333>
- Schneider, R., Lawerentz, L., Luskow, K., Maschall, M., Kemnitz, S. (2018). Statistical Analysis of Table-Tennis Ball Trajectories. In *Appl. Sci.* 2018 (8), S. 2595. MDPI. <https://doi.org/10.3390/app8122595>
- Li, W. (2023). Analyzing the rotation trajectory in table tennis using deep learning. In *Soft Comput* 27, S. 12769. Springer. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08962-8>
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., Stampfer, C. (2018) Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In *Physics Education* 53 (4) 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>
- Stampfer C., Heinke, H., Staacks, S. (2020). A lab in the pocket. In *Nature Reviews Materials* 5 (3) S. 169. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0184-2>
- Schulministerium NRW (2016). Prüfungsanforderungen für die Bewertung der sportpraktischen Leistungen im Rahmen der Fachprüfung Sport im Abitur. Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, Heft 4732/2. www.schulministerium.nrw.de, https://www.schulsport-nrw.de/fileadmin/user_upload/schulsportpraxis_und_fortbildung/pdf/4734_2_Inhalt.pdf
- Demtröder, W. (2105). *Experimentalphysik 1*. Springer Spektrum Berlin Heidelberg. eISBN: 978-3-662-46415-1. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46415-1>