

Mitteilung

Projektgruppe/Fachkreis: Experimentelle Strömungstechnik

Magnuseffekt am Baseball - experimentelle Untersuchungen im Windkanal

Wolf Krüger¹, Holger Mai¹, Nils Krüger²

¹DLR Institut für Aeroelastik, Bunsenstr. 10, 37073 Göttingen (Wolf.Krueger@DLR.de)

²Felix-Klein-Gymnasium Göttingen, Böttingerstraße 17, 37073 Göttingen

Baseball ist DER typische Freizeit- und Profisport in den USA, und gleichzeitig eine Fundgrube für Liebhaber von Statistiken. Die professionellen Pitcher schaffen es auf beeindruckende Weise, ihre Gegenspieler mit schnellen und teilweise stark kurvenden Würfeln zu täuschen. Welche physikalischen Effekte spielen hier eine Rolle? Angeströmte, schnell rotierende Kugeln produzieren eine Auftriebskraft, den so genannten Magnuseffekt. Dieser spielt in zahlreichen Sportarten, gerade auch im Baseball, eine große Rolle. Die Magnuskraft ist abhängig von Anströmgeschwindigkeit und Rotationsfrequenz des Balles. Im professionellen Baseball-Sport werden Drehzahlen von bis zu 3000 U/m und Wurfgeschwindigkeiten von bis zu 45 m/s gemessen. Die typischen Geschwindigkeiten liegen im Bereich der kritischen Reynoldszahl, sodass bereits kleine Änderungen von Geometrie, Rauigkeit und Anströmgeschwindigkeit große Auswirkungen auf die Flugbahn haben können.

Erste experimentelle Untersuchungen der Magnuskraft auf einen Baseball wurden Ende der 50er Jahre von Lyman J. Briggs [1] durchgeführt. Er ließ einen rotierenden Ball im Windkanal fallen und maß den Versatz des Balles. Mehrere Autoren, u. a. Always und Hubbard [3], versuchen den Magnus-Effekt durch optische Messungen an von Pitchern geworfenen Bällen zu identifizieren. Die Ergebnisse weisen allerdings eine große Streuung auf, die z. B. einen Einfluss der Reynoldszahl auf die Magnuskraft nicht erkennen lässt. Watts und Ferrer [3] führen Windkanalversuche an eingespannten Bällen durch, wobei sie u. a. die Richtung der Nähte der Bälle zur Strömung variieren und hier einen deutlichen Einfluss feststellen. Aus den genannten Untersuchungen leiten die unterschiedlichen Autoren unterschiedliche Näherungsgleichungen für die Magnuskraft in Abhängigkeit von Wurfgeschwindigkeit und Drehfrequenz ab. Bewährt hat sich dazu die Angabe einer so genannten „Spin Rate“ (Drehrate) S , dem Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit $r \times \omega$ des Balles zu seiner Fluggeschwindigkeit v :

$$S = \frac{r \times \omega}{v}$$

Typische Wurfgeschwindigkeiten in den professionellen Ligen variieren zwischen 25 m/s und 45 m/s. Drehfrequenzen liegen zwischen 1000 und 3000 Umdrehungen pro Minute, also etwa 16,7 und 50 Hz. Daraus ergeben sich bei einem Durchmesser des Balls von 0.037 m Drehraten S von 0.086 und 0.465. Als Beispiel führt ein typischer Wurf mit einer Rotationsfrequenz von 30 Hz und einer Fluggeschwindigkeit von 34 m/s zu einer Magnuskraft von ca. 0.7 N. Auf eine Wurfdistanz von 16,8 m bedeutet das eine Auslenkung von über einem halben Meter gegenüber einem nicht angedrehten Wurf, siehe Abbildung 1.

Die für den Wurf eines Baseballs typischen Parameter können im so genannten Modellkanal des DLR Instituts für Aeroelastik erreicht werden. Im Rahmen einer Arbeit wurde ein Versuchsstand gebaut, mit dem die Magnuskraft auf einen Baseball für typische Werte von Drehzahl und Anströmgeschwindigkeit gemessen wurde. Begleitet wurden die experimentellen Arbeiten mit Simulationen der Wurfbahnen, die sich unter der Berücksichtigung der Ablenkungskräfte für verschiedene Wurfarten ergeben. Ziel der Arbeiten war es, die Auswirkung von Wurfgeschwindigkeit und Drehrate auf die resultierenden Flugbahnen realistischer Würfe zu quantifizieren.

Für den Versuch wurde der Ball liegend auf einer Stange montiert und durch einen Motor angedreht, siehe Abbildung 2. Die auf die Einspannung wirkenden Kräfte wurden durch zwei Piezo-Waagen ermittelt.

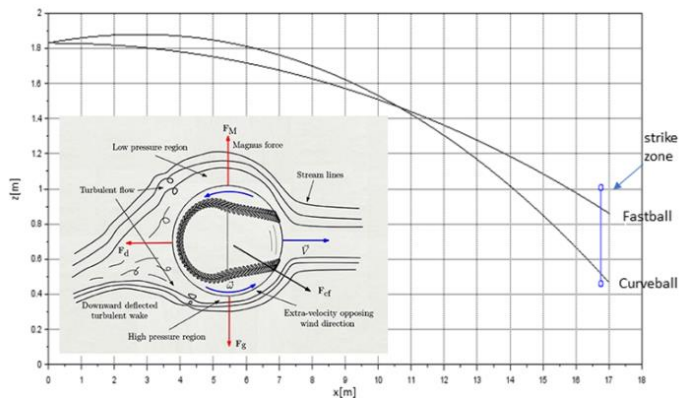


Abbildung 1: Magnuskraft am Baseball und Auswirkung auf die Flugbahn

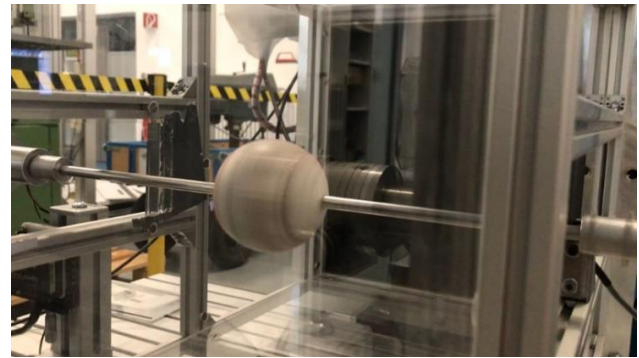


Abbildung 2: Messaufbau für den rotierenden Baseball

Um quasi-stationäre Ergebnisse für Magnuskraft und Widerstand zu erhalten, wurden diese Werte über mehrere Sekunden gemittelt. Ein Beispiel für eine Messreihe ist in Abbildung 3 dargestellt. Für eine Drehfrequenz von 30 Hz ergibt sich eine quadratische Abhängigkeit der Magnuskraft von der Anströmgeschwindigkeit. Aus diesem Grund kann, in Übereinstimmung mit der Literatur, ein Auftriebskoeffizient C_L der Magnuskraft $F_M = 0.5 \rho v^2 A C_L$ definiert werden.

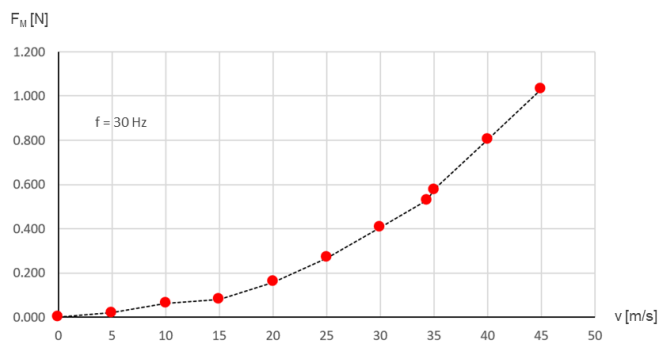


Abbildung 3: Magnuskraft über Anströmgeschwindigkeit

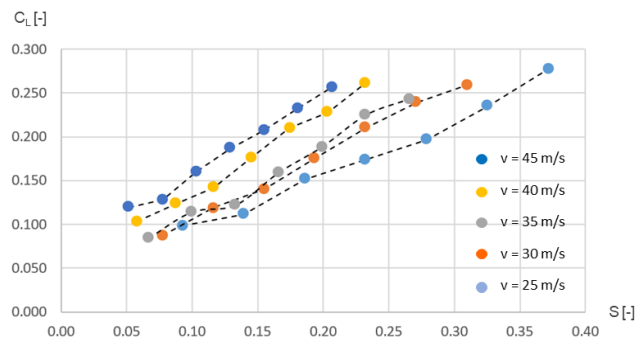


Abbildung 4: Auftriebsbeiwert der Magnuskraft als Funktion der Drehrate S

Anschließend wurde die Magnuskraft für die oben genannten Bereiche von Anströmgeschwindigkeit und Drehfrequenz gemessen. Um mit Ergebnissen aus der Literatur vergleichen zu können, wurde der Auftriebskoeffizient über der Drehrate aufgetragen, siehe Abbildung 4. Für Drehraten über 0.05 zeigt sich ein linearer Zusammenhang für die Abhängigkeit der Magnuskraft von der Drehrate für alle Wurfgeschwindigkeiten. Dieses Ergebnis ist qualitativ in guter Übereinstimmung mit Resultaten aus der Literatur, ebenso wie die Absolutwerte des Auftriebsbeiwerts. Darüber hinaus lässt sich aber erkennen, dass C_L für höhere Wurfgeschwindigkeiten steigt, dass es also offensichtlich eine Reynoldszahlabhängigkeit der Magnuskraft gibt. Diese Abhängigkeit ist in der Literatur, die sich mit dem Baseball als Studienobjekt beschäftigt, so bisher nicht dargestellt worden. Aus Zeitgründen konnten in unseren Untersuchungen einige andere Einflussfaktoren, so z. B. der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit (Lage der Nähte) nicht untersucht werden.

Literatur:

- [1] Lyman J. Briggs: Effect of Spin and Speed on the Lateral Deflection (Curve) of a Baseball; and the Magnus Effect for Smooth Spheres. American Journal of Physics 27, 589 (1959); <https://doi.org/10.1119/1.1934921>.
- [2] Leroy W. Alaways and Mont Hubbard: Experimental determination of baseball spin and lift. Journal of Sports Sciences, 2001, 19, pp 349-358. https://www.researchgate.net/publication/11982541_Experimental_determination_of_baseball_spin_and_lift
- [3] Robert G. Watts and Ricardo Ferrer: The lateral force on a spinning sphere: Aerodynamics of a curveball. Department of Mechanical Engineering, Tulane University, New Orleans, Louisiana 70118. American Journal of Physics 55, 40 (1987); <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.14969>.