

# Autonomes Putten mittels datengetriebener und physikbasierter Methoden

Annika Junker, Niklas Fittkau, Julia Timmermann, Ansgar Trächtler

Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn  
Fürstenallee 11, 33102 Paderborn  
E-Mail: annika.junker@hni.upb.de

## 1 Einleitung

Im Bereich des Golfsports werden bereits Roboter für das Training von Golfspieler\*innen [1] sowie zum Testen der Schläger [2, 3, 4, 5, 6] eingesetzt. Der Roboter *ROB-OT* [7], der von einem\*einer Golfspieler\*in gesteuert wird, kann Bälle schlagen und wird zumeist zu Unterhaltungszwecken eingesetzt.

Unser Golfroboter *Golfi*, siehe Bild 1a, verfolgt das Ziel, vollständig autonom zu putten, d. h. den Ball nach einer Trainingsphase von einer beliebigen Startposition aus mit nur einem Schlag in das Loch zu schlagen. Die mechatronische Ansteuerung des Roboters lässt sich geradlinig durch klassische regelungstechnische Methoden realisieren, wohingegen sich die Analyse der Spielsituation und die Entwicklung einer Spielstrategie deutlich anspruchsvoller gestalten. Daher nutzen wir eine synergetische Kombination aus leistungsstarken datengetriebenen und bewährten physikbasierten Methoden aus dem regelungstechnischen Kontext. Die unterschiedlichen Aufgaben sind in Bild 1b dargestellt, wobei die Komplexität von unten nach oben zunimmt.

In diesem Kurzbeitrag beschreiben wir unsere Strategie für die Schlagberechnung mittels eines mit physikalischem Vorwissen trainierten neuronalen Netzes. [8] liefert eine detaillierte Beschreibung des mechatronischen Entwurfs bestehend aus Fahreinheit und Schlagregelung sowie der Bildverarbeitung.

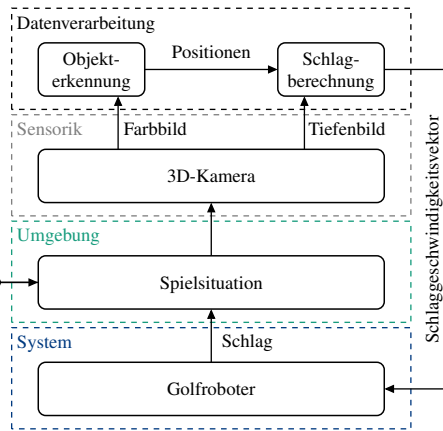
DOI: 10.58895/ksp/1000151141-8 erschienen in:

**Proceedings – 32. Workshop Computational Intelligence: Berlin, 1. - 2. Dezember 2022**

DOI: 10.58895/ksp/1000151141 | <https://www.ksp.kit.edu/site/books/m/10.58895/ksp/1000151141/>



(a) Unser Golfroboter *Golfi*

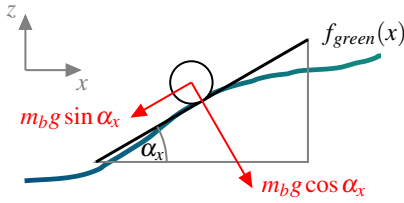


(b) Übersicht der Aufgaben

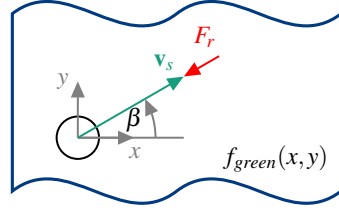
Bild 1: *Golfi* ist ein selbstlernender Roboter zum autonomen Putten. Die unterschiedlichen Aufgaben werden physikbasiert, datengetrieben oder mittels einer Kombination beider Methoden gelöst. Die 3D-Kamera ist der Einfachheit halber an der Zimmerdecke des Labors befestigt und aus der Vogelperspektive auf die Spielfläche ausgerichtet.

## 2 Strategie zur Bestimmung des optimalen Schlaggeschwindigkeitsvektors

Die Bestimmung des optimalen Schlaggeschwindigkeitsvektors erfolgt mittels eines neuronalen Netzes, das die Dynamik des Golfballs für eine gegebene hügelige Spielfläche abbildet. Um die Anzahl der (zeit-)aufwändigen Interaktionen mit dem realen System zu reduzieren, werden die Trainingsdaten simulativ anhand eines physikalischen Modells erzeugt. Für eine konkrete Spielsituation wird dann anhand des trainierten neuronalen Netzes der erforderliche Schlaggeschwindigkeitsvektor berechnet, sodass der Ball in das Loch rollt. Falls der Ball nach der Ausführung des Schlags nicht in das Loch rollt, ist es denkbar, diesen Schlag als zusätzlichen realen Trainingsschlag zum Nachtrainieren des neuronalen Netzes zu verwenden.



(a) Betrachtung als schiefe Ebene



(b) Rollrichtung und Reibkraft des Balls

Bild 2: Das physikalische Modell der Golfballdynamik basiert auf schiefen Ebenen. Die Reibkraft  $F_r$  wirkt parallel zur Oberfläche und entgegengesetzt zur Rollrichtung des Balls.

## 2.1 Simulativ erzeugte Trainingsschläge

Die Trainingsschläge ergeben sich aus der Simulation eines physikbasierten Modells der Golfballdynamik. Die Spielfläche wird aus dem Tiefenbild der 3D-Kamera als Fläche  $f_{green}(x, y)$  approximiert und lokal als schiefe Ebenen mit den Winkeln

$$\alpha_x = \arctan \left( \frac{\partial f_{green}(x, y)}{\partial x} \right), \alpha_y = \arctan \left( \frac{\partial f_{green}(x, y)}{\partial y} \right). \quad (1)$$

aufgefasst, vgl. Bild 2a. Der Rollwiderstand  $F_r = m_b g \mu_b \cos \alpha_x \cos \alpha_y$  wird als konstant [9] und mit Wirkrichtung entgegen der Rollrichtung  $\beta = \arctan(\dot{y}/\dot{x})$  des Balles angenommen, vgl. Bild 2b.  $m_b$  ist die Masse des Balls,  $g$  die Gravitationskonstante und  $\mu_b$  der Rollwiderstandskoeffizient. Damit ergibt sich

$$m_b \ddot{x} = -m_b g \sin \alpha_x - F_r |\cos \beta| \operatorname{sgn}(\dot{x}), \quad (2)$$

$$m_b \ddot{y} = -m_b g \sin \alpha_y - F_r |\sin \beta| \operatorname{sgn}(\dot{y}), \quad (3)$$

Für das Training werden zufällige Schläge mit dem Balldynamikmodell (2)-(3) mittels RK4-Solver simuliert.

## 2.2 Architektur des neuronalen Netzes

Das neuronale Netz hat die Aufgabe, den optimalen Schlaggeschwindigkeitsvektor  $[\dot{x}_{B,0}, \dot{y}_{B,0}]^\top$  für eine initiale Ballposition  $[x_{B,0}, y_{B,0}]^\top$  so zu bestimmen,

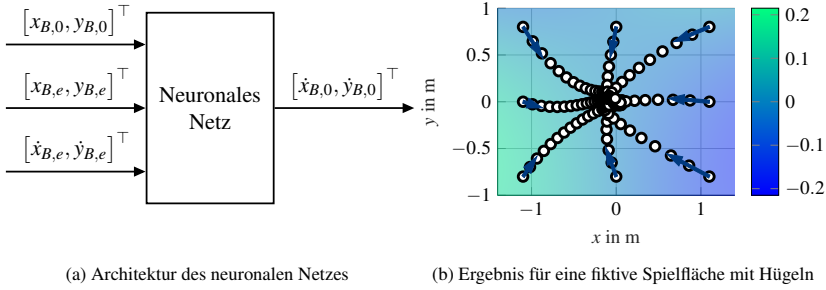


Bild 3: Bestimmung des optimalen Schlaggeschwindigkeitsvektors.

dass der Ball im Loch mit der Position  $[x_H, y_H]^\top$  liegen bleibt, d. h.

$$\begin{bmatrix} x_{B,e} \\ y_{B,e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_H \\ y_H \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \dot{x}_{B,e} \\ \dot{y}_{B,e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_H \\ \dot{y}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

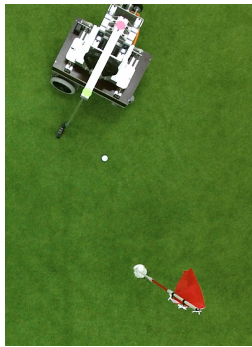
wobei der Index  $e$  die Endposition des Balles kennzeichnet. Das für diese Aufgabe entwickelte neuronale Netz mit zwei Schichten und jeweils 30 versteckten Neuronen (vgl. Bild 3a) wird mit den Trainingsdaten aus Abschnitt 2.1 trainiert. Für eine konkrete Spielsituation mit gegebener Ball- und Lochposition bestimmt das Netz dann mittels (4) explizit den erforderlichen Schlaggeschwindigkeitsvektor.

### 3 Ergebnisse und Ausblick

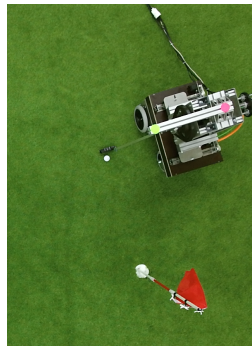
Bisher haben wir das autonome Golfspiel für eine Spielfläche ohne Hügel umgesetzt. Für eine konkrete Spielsituation werden zunächst die Positionen des Golfroboters und des Balls detektiert (vgl. Bild 4a). Danach werden der optimale Schlaggeschwindigkeitsvektor und die damit einhergehende Zielpose des Golfroboters berechnet. Schließlich wird der Golfroboter so angesteuert, dass er die Zielpose einnimmt (vgl. Bild 4b) und den Ball in das Loch schlägt (vgl. Bild 4c).

Unsere Arbeit demonstriert, wie sich datengetriebene und physikbasierte Methoden vorteilhaft kombinieren lassen. Durch ein einfaches physikalisches Mo-

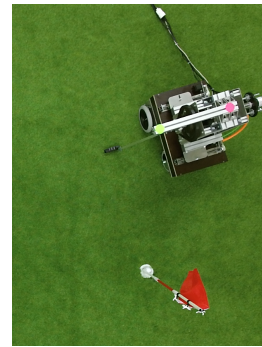




(a) Initiale Situation



(b) Situation vor dem Schlag



(c) Situation nach dem Schlag

Bild 4: Beispielhafter Ablauf einer konkreten Spielsituation für eine Spielfläche ohne Hügel. Als Trainingsdaten wurden 3000 zufällige simulierte Schläge verwendet.

dell der Balldynamik lässt sich ein neuronales Netz so trainieren, dass es zuverlässig berechnet, wie der Ball geschlagen werden muss, damit er in das Loch rollt.

Modellbasiert konnten wir die Machbarkeit unserer Strategie bereits auch für Spielflächen mit Hügeln zeigen (vgl. Bild 3b). Mit den vom neuronalen Netz bestimmten Schlaggeschwindigkeitsvektoren (dunkelblau) rollt der Ball plausibel in Richtung des Lochs im Ursprung. Eine Validierung am realen System steht für das Szenario mit Hügeln noch aus. Weitere Forschung sollte außerdem darauf abzielen, die Möglichkeit des Nachtrainierens in den Prozess zu integrieren. Dabei stellt sich die Frage, wie die realen Trainingsschläge einbezogen werden können, z. B. in Bezug auf die Gewichtung im Vergleich zu den simulativ erzeugten Trainingsschlägen.

## 4 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS20052 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor\*innen.

## Literatur

- [1] RoboGolfPro. (2017) Robo golfpro. [Online]. Available: <https://robogolfpro.com/>
- [2] N. Betzler, “The effect of differing shaft dynamics on the biomechanics of the golf swing,” Ph.D. dissertation, Edinburgh Napier University, Edinburgh, 2010.
- [3] C. Cogswell, R. Hathaway, and J. Voinovich, “Golf putter testing mechanism,” Ph.D. dissertation, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2016.
- [4] Golf Tips Magazine. (2003) Become a swing machine. [Online]. Available: <https://www.golftipsmag.com/instruction/faults-and-fixes/become-a-swing-machine/>
- [5] The Irish Times. (1998) The last swing of iron byron. [Online]. Available: <https://www.irishtimes.com/sport/the-last-swing-of-iron-byron-1.195958>
- [6] Miyamae Co.,ltd. Miya robo-10: Swing robot with rotating body, robo 10 from miyamae. [Online]. Available: <http://www.miyamae.co.jp/english/golf/img/robo10.pdf>
- [7] The Golf Wire. (2018) Rob-ot makes an appearance at the america’s warrior partnership golf tournament in la quinta, ca. [Online]. Available: <https://thegolfwire.com/rob-ot-makes-appearance-americas-warrior-partnership-golf-tournament-la-quinta-ca/>
- [8] A. Junker, N. Fittkau, J. Timmermann, and A. Trächtler, “Autonomous golf putting with data-driven and physics-based methods” (eingereicht), 2022.
- [9] Transportation Research Board, *Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy: Informing Consumers, Improving Performance – Special Report 286*. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.