

Roboter im Klassenzimmer

Benjamin Schlotter and Denis Erfurt

Abstract—Roboter oder Physical Computing Geräte werden aus vielfältigen Gründen in der Lehre eingesetzt. Beispielsweise zum Erlernen von Programmier- und Elektrotechnik, als Lehrunterstützung für Kinder mit Behinderungen, um jungen Menschen für Naturwissenschaft zu begeistern und natürlich als Unterrichtsobjekt an sich. Im folgenden geben wir einen Überblick über die unterschiedlichen Einsatzgebiete von Robotern in der Lehre. Anschließend präsentieren wir unsere eigenen Erfahrungen.

I. EINLEITUNG

Der Einsatz von Robotern in der Lehre geschieht auf vielfältige Art und Weise die im folgenden näher betrachtet werden.

Wir unterscheiden bei der Nutzung der Roboter zwischen der Nutzung als Unterrichtsgegenstand, also der Lehre von Robotik-spezifischen Themen, sowie dem Einsatz zur Lehre von nicht Robotik-spezifischen Themen. Wobei wir diesen Teil noch in technische und nicht technische Bereiche unterteilen. Ein weiterer separater Bereich ist der Einsatz von Robotern zur Motivierung von Schülern und Studenten für eine technische Laufbahn.

Die Roboternutzung im Lehrbereich kann auch anders unterteilt werden. So unterscheiden Mubin et al. in ihrem Paper *a review of the applicability of robots in education* [1] nach dem Thema, wann es gelehrt wird, also im Rahmen eines Unterrichtsplans oder außerhalb der Schule sowie welche Rolle der Roboter spielt.

II. ROBOTER ALS UNTERRICHTSGEGENSTAND

In diesem Kapitel geben wir einen Überblick über die Themen die typischerweise in einem Robotik Kurs behandelt werden. Robotik an sich wird unseres Wissens nicht außerhalb von Universitäts- oder Hochschulkursen gelehrt. Dies liegt vor allem daran das Robotik verschiedene Themen in sich vereinigt. So sind für die Konzeption und Programmierung eines Roboters Kenntnisse der Digitalen Signalverarbeitung, Linearen Algebra, Regelungstheorie, Mechanik, Elektrotechnik und der Optimierungstheorie sowie Programmierkenntnisse nötig. All diese Themen werden traditionell nur auf Hochschulniveau gelehrt.

Schulniveau

Eine Besonderheit des Robotereinsatzes in der Schule ist das es vor allem in informal stattfindet. Also nicht Teil eines Lehrplans. So gibt es beispielsweise an vielen Schulen Robotik AG's in denen sich die Schüler in ihrer Freizeit mit der Lösung von Robotik Themen unter Anleitung von Studenten und Universitätsprofessoren beschäftigen.¹ Die von uns mit durchgeführte Schülergesellschaft fällt auch in diese Kategorie. Die Schwierigkeit der vermittelten Themen und Fähigkeiten geht dabei von Schule zu Schule sehr stark auseinander. Es reicht von der Konstruktion eines Lego Kits und Ausführung eines existierenden Programms bis zum Schaltkreisentwurf und Entwurf von neuen Algorithmen für die Ballerkennung.² Auf Schulniveau stehen meist stehen die technischen Aspekte im Vordergrund also die Konstruktion und Ansteuerung der Roboter. Allerdings gibt es im RoboCup Junior eine Wettkampfform in der das Zusammenspiel von Menschen und Roboter in einer Tanzperformance im Vordergrund steht. Dieser Wettkampf ist vor allem an sehr junge Schüler als einfacher Einstieg gedacht.³

Universitätsniveau

Robotik Kurse an der Universität in Deutschland folgen keinem einheitlichem didaktischem Konzept. In anderen Ländern sieht das anders aus, beispielsweise in den USA aus wo Kurse einem Lehrbuch folgen müssen. Ein Einführungskurs in Robotik am MIT⁴ folgt beispielsweise dem Buch *Robot Analysis and Control* [2]. Allerdings lässt sich als Gemeinsamkeit feststellen das Robotik Einführungsveranstaltungen meist dem *sense-think-act* Zyklus folgen. Wobei Universitäten den Schwerpunkt und die Reihenfolge unterschiedlich wählen. Die Popularität des *sense-think-act* Zyklus in Einführungsveranstaltungen kommt daher das alle drei Bereiche in jeder noch so simplen Robotik Aufgabe eine wichtige Rolle spielen. Wir illustrieren

¹<http://avhschule.de/robotik-ag/>

²Persönliche Lehrerfahrung von Benjamin Schlotter

³<http://www.robocup2018.org/?page=junior-leagues>

⁴<https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/index.htm>

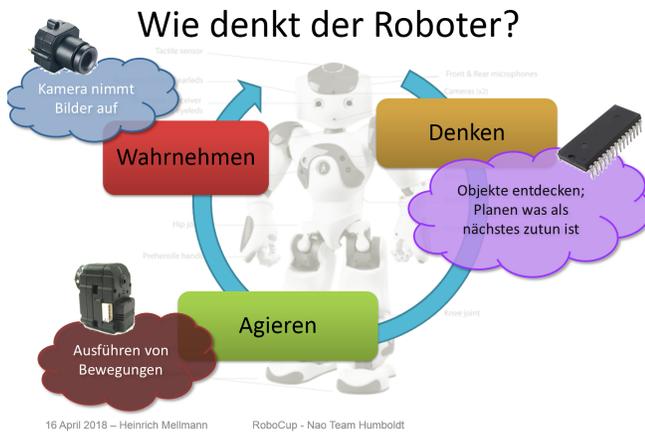


Fig. 1. Bild wurde von Heinrich Mellmann für öffentlich Auftritte des Nao Team Humboldts erstellt.

den Zyklus an der Beispiel Aufgabe: zum Ball laufen.

Sense: Umfasst die Aufnahme des Bildes und Bereitstellung dieses in einem digitalen Formats sowie die Berechnung der Pose des Roboters aus den Gelenkdaten.

Think: Aus den Pixeldaten der Kamerabilder müssen Merkmale zu Erkennung des Ball extrahiert werden. Wenn der Ball rot ist wie in Figure 3 abgebildet kann ein Merkmal die rote Farbe sein. Aus den Positionen der Pixel die den Ball darstellen muss die Position des Ball auf dem Feld geschätzt werden. Hierbei muss die Höhe der Kamera bekannt sein. Diese kann aus den Gelenkdaten berechnet werden. Anhand der Position des Ball relativ zu dem Roboter kann dann ein Pfad berechnet werden.

Act: Befehle wie beispielsweise: Gehe zum Ball werden in Motorbefehle unter Berücksichtigung der kinematischen Einschränkungen umgewandelt und an den Motor gesandt.

Viele populäre Online Kurse folgen ebenfalls dem *sense-think-act* Zyklus. Wie beispielsweise die Coursera Kurse der University of Pennsylvania ⁵ sowie weitere populäre Kurse. ⁶ ⁷ ⁸ ⁹ ¹⁰ obwohl diese

⁵<https://www.coursera.org/specializations/robotics>

⁶<https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2005/index.htm>

⁷<https://www.coursera.org/specializations/modernrobotics>

⁸<https://www.edx.org/course/robotics-columbiacx-csmm-103x-3>

⁹<https://www.futurelearn.com/programs/robotics>

¹⁰<https://de.udacity.com/course/robotics-software-engineer-nd209>

Kurse alle dem Zyklus mehr oder weniger folgen unterscheiden diese Kurse sich doch recht stark vom tatsächlichen Inhalt und Niveau und erwarteten mathematischen/ physikalischen Vorwissen [hier Beispiele einfügen: Newton Mechanik ODE, PDE] wobei Kurse die fortgeschrittenere Themen behandeln meist den *sense* und *think* Teil kürzen. Der *Kognitive Robotik* Kurs an der HU ist als Einführung in die Robotik gedacht. Der Kurs folgt dem *sense-think-act* Zyklus. Als erstes werden Sensoren besprochen. Wobei der Fokus in diesem Kurs auf Objektdetection in Bildern liegt. Danach geht es im *think* Teil um Algorithmen zur Lokalisierung und anschließend im *act* Teil um Bewegungsplanung und Ausführung. Vergleichbare Kurse an der TU, FU haben einen ähnlichen Aufbau.

Es ist wichtig zu bemerken dass der *sense-think-act* Zyklus dabei nur ein didaktisches Konzept ist um die Teilprobleme isolierter zu verstehen. In der Programmierung geschieht die strikte Trennung in den seltensten Fällen. Zum Beispiel hat in den letzten Jahren die Bedeutung von tiefen neuronalen Netzen welche die typischen Aufgaben der *sense* und *think* Teile übernehmen können zugenommen, womit die Trennung dieser Teile im Code komplett verschwindet. Aktuelle Forschung geht zunehmend in die Richtung alle drei Teile des *sense-think-act* Zyklus von einem neuronalen Netz berechnen zu lassen. [3] [4]

III. ROBOTER ALS LEHRUNTERSTÜTZUNG

A. Roboter im Informatik Unterricht

In Informatik Kursen werden Roboter eingesetzt um das Programmieren zu lehren. Der Roboter dient dabei hauptsächlich als Motivation und Testumgebung. Robotikspezifische Themen werden üblicherweise nicht behandelt. In [5], [6] und [?] beschreiben und analysieren Fagin und Merkle einen Programmierkurs an einer Militärakademie den sie mit Hilfe von Lego Mindstorms Robotern durchgeführt haben. In [5] stellen die Autoren Aufgaben vor die den Studenten grundlegende Programmierkonzepte wie Variablen, Sequentielle Ausführung und Prozeduren sowie Arrays beibringen sollen. In [6] vergleichen die Autoren inwiefern der Einsatz von Robotern den Studenten geholfen hat diese grundlegende Programmierkenntnisse zu erlernen im Vergleich zu Studenten die diese Themen traditionell gelehrt werden. Zum Vergleich werden die Ergebnisse als *midterm* und *final* Tests und der Platz im Klassenranking genommen. Wobei die beiden Tests aus einem Multiple Choice Teil, einem Freitext

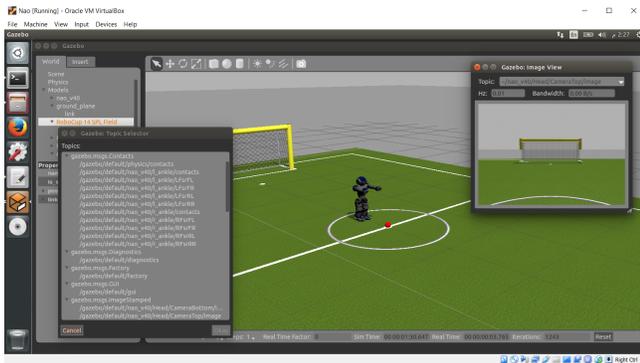


Fig. 2. Nao im Gazebo Simulator. Bild von: <https://medium.com/@blackviriol/get-your-own-personal-robot-simulation-part-ii-1d626ec580b5>

und einem Programmierenteil bestanden. Die Autoren berichten das Studenten die den Kurs ohne Roboter absolviert haben signifikant bessere Ergebnisse in den Programmier- und Freitextaufgaben erzielt haben. Für die Multiple Choice Aufgaben konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Unterschied ist weniger signifikant wenn bei der Auswertung nach der Lehrperson kontrolliert wird.

Die Autoren attribuieren das schlechte Ergebnis Studie hauptsächlich dem Fehlen eines Roboter Simulators der den *Programmier-Test-Debug* Zyklus beschleunigt. Weiterhin kommt dazu das die Studenten einen restriktiveren Zugang zu den Roboter hatten als die Studenten der Kontrollgruppe zu PC's. Somit hatten Studenten der Robotergruppe weniger Zeit zu üben. Die Studienteilnehmer gaben in einer abschließenden Umfrage die selben Punkte als größte Schwierigkeit an. Um die Einfluss der Roboter Umgebung auf das Erlernen von Programmierkonzepten unabhängig von dem Zugang zu einem Roboter zu erforschen schlagen die Autoren die Nutzung eines geeigneten Simulators vor. Eine mögliche Wahl wäre der Gazebo Simulator in Verbindung mit dem *Robot Operating System* ROS. Dieser unterstützt bereits viele Robotermodelle und macht es leicht neue Modelle zu erstellen und zu simulieren. Bessere Schulung der Lehrpersonen. Die Autoren bemerken das einige Lehrkräfte wenig Erfahrung mit den Roboter hatten bevor sie die Aufgaben an die Studenten gegeben haben.

In [7] stellen die Autoren einen Lehrplan vor der die Probleme die Fagin und Merkle in ihrem Experiment hatten adressiert. Zu einem hat jeder Student einen eigen Roboter an dem auch außerhalb des Kurses experimentiert werden kann. Zum anderen wird das Prob-

lem des langsamen *Programmier-Test-Debug* Zyklus gelöst indem das Programm auf dem PC der Studenten ausgeführt wird. Der PC sendet über eine drahtlose Verbindung Befehle an den Roboter, welcher mit Sensorwerten antwortet. Allerdings fehlt eine Auswertung des vorgeschlagenen Lehrplans.

B. Roboter als Unterstützung für autistische Kinder

Da autistische Kinder häufig leichter Beziehungen zu Dingen aufbauen können als zu Menschen gibt es Bestrebungen Roboter in der Kommunikation einzusetzen. So wird zum beispielsweise der humanoide Roboter Nao in Therapie Studien eingesetzt. [8]–[11]. In diesen Studien wird untersucht wie humanoide Roboter dabei helfen können Kindern soziale Interaktionen zu lehren. Der Vorteil der Roboter ist dabei zum einen die einfachere Gestik und Mimik im Vergleich zum Menschen und die Wiederholbarkeit. Auch sind die Verhaltensweisen eines Roboters einfacher vorherzusagen als die von Mitmenschen. Positive Meldungen aus Studien schaffen es immer wieder in die Nachrichten, aus Osaka wird zum Beispiel berichtet das einzelne Kindern Roboter mehr Aufmerksamkeit in einem Stück schenken als sie es bei einem Menschen tun.¹¹ Ob Effekte wie diese übertragbar sind und welchen Einfluss Roboter auf die Kinder in Langzeitexperimenten haben ist allerdings noch nicht ausreichend erforscht. So geben aber die vorläufigen Ergebnisse die Hoffnung das es in der Zukunft möglich wird Kinder mit Autismus mit Hilfe von Robotern den Schulalltag einfacher zu gestalten. Zum anderen ist die Hoffnung, dass die Kinder dass mit Robotern einmal Erlernte auf das menschliche Sozialleben übertragen.

IV. ROBOTER ALS MOTIVATIONSTOOL

Die hohe Bandbreite an Themen die im Robotik Umfeld eine Rolle spielen bietet nicht nur Herausforderungen in der Lehre sondern auch Chancen. So bietet sich gerade deshalb Robotik als beliebte Möglichkeit an Menschen Ingenieur, Naturwissenschaften sowie Mathematik und Informatik näher zu bringen. Gerade für junge Menschen gibt es zahlreiche Initiativen die sich diesem Ziel verschrieben haben. Zum Beispiel *RoboCup Junior*¹², *First LEGO League*¹³ und *VEX Robotics Competition*¹⁴. RoboCup Junior

¹¹<https://www.heise.de/newsticker/meldung/Der-automatische-Therapeut-Roboter-in-der-Autismus-Therapie-3309170.html>

¹²<http://junior.robotcup.org/about/>

¹³<http://www.firstlegoleague.org/>

¹⁴<https://www.vexrobotics.com/vexedr/competition>

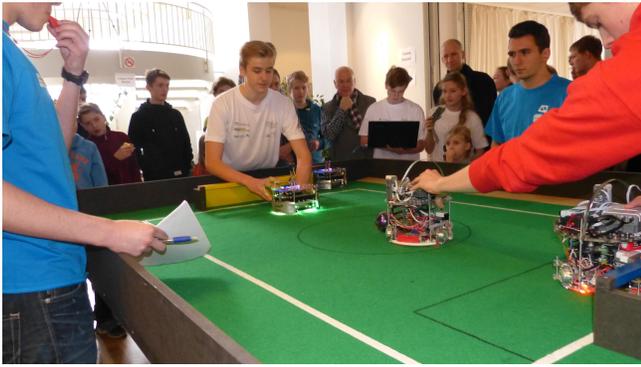


Fig. 3. Robocup Junior Qualifikationsturnier 2015 Berlin. Bild zur Verfügung gestellt von fritrobotik

ist ein Teil der RoboCup Initiative [12] die speziell für Schüler bis 19 Jahren gedacht ist. Dabei treten Teams in verschiedenen Challenges gegeneinander an. Diese Challenges sind dabei als Einstiegspunkt für die entsprechenden Major Ligen im RoboCup gedacht. Es gibt bei RoboCup Junior (RCJ) Soccer sowie Rescue Ligen und anders als im RoboCup Major eine *OnStage* Liga. In der Soccer Liga treten 2 gegen 2 Roboter gegeneinander an. Die Rescue Challenge ist zweigeteilt. In der *RCJ Rescue Line Competition* muss der Roboter einer schwarzen Linie folgen und in der *RCJ Rescue Maze Competition* muss der Roboter Verunglückte in einem Labyrinth finden. Diese sind entweder durch eine Beschriftung gekennzeichnet oder durch eine Hitzequelle. In der *First LEGO League* und in der *VEX Robotics Competition* gibt es ähnlich wie bei RCJ Aufgaben die es zu lösen gilt. Der Hauptunterschied ist bei der FLL das diese Aufgaben sich jedes Jahr ändern und nicht gleich sind wie im RoboCup Junior und *VEX Robotics Competition*. In der *First LEGO League* und der *VEX Robotics Competition* werden die Roboter während der Competition von den Schülern gesteuert, beim RoboCup nicht. Diese Initiativen haben gemeinsam das sie nicht bestimmte Konzepte vermitteln wollen sondern einen Projekt basierten Lernansatz verfolgen wobei die Interaktion mit dem Roboter und die praktische Erfahrung im Vordergrund steht im Gegensatz zu Robotik Lehre in einer Hochschule die meist sehr theoretisch erfolgt. Somit sollen die Schüler motiviert werden technische Beruf zu ergreifen. Insbesondere beim RoboCup Junior wird darauf Wert gelegt dass die Schüler auch schon frühzeitig Einblick in die akademische Forschung erhalten.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Abschließend lässt sich sagen das Roboter einen vielfältigen positiven Einfluss auf die Lehre haben können. Als Umgebung zum Programmieren lernen in einem Anfängerkurs scheinen Roboter schlechter geeignet zu sein als traditionelle Programmierkurse aufgrund dessen das die Umgebung in der sich die Roboter bewegen und die typischerweise sehr limitierte Hardware eines Roboters eine wesentlich höhere Rolle spielt. Umgebungseinflüsse können bei der Programmierung an einem PC komplett ignoriert werden, auch die Hardware spielt kaum eine Rolle. Auch die Frequenz des *Programmier-Test-Debug* Zyklus fällt bei der Programmierung deutlich geringer aus als in einer klassischen Programmierumgebung. Zudem ist die Verfügbarkeit und der Zugang zu Robotern oft beschränkt. Aus eigener Erfahrung im Rahmen der Schülergesellschaft ist gerade das schnelle ausprobieren für Schüler und Studenten sehr wichtig um die Motivation und das Interesse zu erhalten. In der Universitätslehre ist aus unserer Sicht noch deutliche Verbesserungen möglich. Oft werden einzelne Teilprobleme in den 3 Stufen im *sense-think-act* Zyklus nur benannt und eine Menge von Formeln angegeben die dieses Problem lösen. Der Roboter wird selten als ein komplexes Gesamtsystem betrachtet. Im Forschungsgebiet *Embodied AI* ist dieses Problem schon länger erkannt. Diese Erkenntnisse werden allerdings kaum in aktuelle Robotiklehre mit einbezogen.

DANKSAGUNG

Vielen dank an an Sandra Schulz für die Möglichkeit im Seminar Lehrerfahrung zu sammeln und vielen Dank auch an Frau Hafner und Herrn Mellmann vom Lehrstuhl für Adaptive Systeme für das Bereitstellen der Nao Roboter für die Schülergesellschaft.

REFERENCES

- [1] O. Mubin, C. J. Stevens, S. Shahid, A. A. Mahmud, and J.-J. Dong, "A REVIEW OF THE APPLICABILITY OF ROBOTS IN EDUCATION," vol. 1, no. 1. [Online]. Available: <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?paperId=43268>
- [2] J.-J. E. S. H. Asada, *Robot Analysis and Control*. John Wiley & Sons, 1986.
- [3] N. Sünderhauf, O. Brock, W. Scheirer, R. Hadsell, D. Fox, J. Leitner, B. Upcroft, P. Abbeel, W. Burgard, M. Milford, and P. Corke, "The limits and potentials of deep learning for robotics," vol. 37, 04 2018.
- [4] J. Bohg, K. Hausman, B. Sankaran, O. Brock, D. Kragic, S. Schaal, and G. S. Sukhatme, "Interactive perception: Leveraging action in perception and perception in action," *CoRR*, vol. abs/1604.03670, 2016. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1604.03670>

- [5] B. S. Fagin, L. D. Merkle, and T. W. Eggers, "Teaching computer science with robotics using ada/mindstorms 2.0." ACM Press, p. 73. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=507574.507592>
- [6] B. S. Fagin and L. Merkle, "Quantitative analysis of the effects of robots on introductory computer science education," vol. 2, no. 4, pp. 1–17. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=949257.949259>
- [7] T. Balch, J. Summet, D. Blank, D. Kumar, M. Guzdial, K. O'Hara, D. Walker, M. Sweat, G. Gupta, S. Tansley, J. Jackson, M. Gupta, M. N. Muhammad, S. Prashad, N. Eilbert, and A. Gavin, "Designing personal robots for education: Hardware, software, and curriculum," vol. 7, no. 2, pp. 5–9. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4487080/>
- [8] R. Suzuki, J. Lee, and O. Rudovic, "Nao-dance therapy for children with asd," 03 2017, pp. 295–296.
- [9] L. dzhar Ismail, S. Shamsuddin, H. Yusoff, F. Hanapiah, and N. Ismarrubie Zahari, "Robot-based intervention program for autistic children with humanoid robot nao: Initial response in stereotyped behavior," vol. 41, pp. 1441–1447, 12 2012.
- [10] S. Shamsuddin, H. Yussof, L. I. Ismail, S. Mohamed, F. A. Hanapiah, and N. I. Zahari, "Humanoid robot nao interacting with autistic children of moderately impaired intelligence to augment communication skills," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1533 – 1538, 2012, international Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027464>
- [11] M. A. Miskam, M. A. C. Hamid, H. Yussof, S. Shamsuddin, N. A. Malik, and S. N. Basir, "Study on social interaction between children with autism and humanoid robot nao," in *Advances in Manufacturing and Mechanical Engineering*, ser. Applied Mechanics and Materials, vol. 393. Trans Tech Publications, 11 2013, pp. 573–578.
- [12] H. Kitano, M. Asada, Y. Kuniyoshi, I. Noda, and E. Osawa, "Robocup: The robot world cup initiative," in *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, ser. AGENTS '97. New York, NY, USA: ACM, 1997, pp. 340–347. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/267658.267738>