

› F. Alnajjar
› C. Bartneck
› P. Baxter

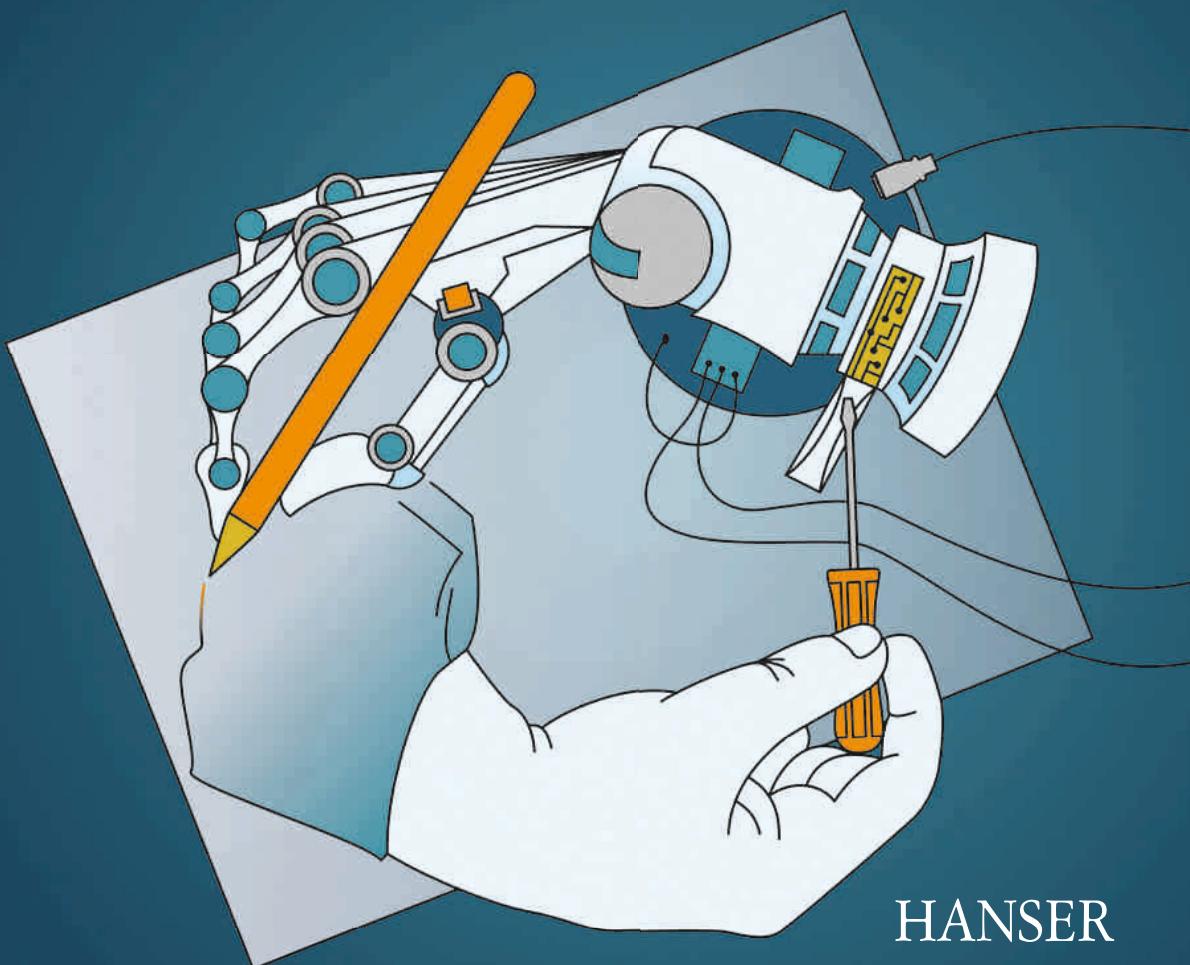
› T. Belpaeme
› M. Cappuccio
› C. Di Dio

› F. Eyssel
› J. Handke
› O. Mubin

› M. Obaid
› N. Reich-
Stiebert

ROBOTER IN DER BILDUNG

Wie Robotik das Lernen im
digitalen Zeitalter bereichern kann



HANSER

Alnajjar / Bartneck / Baxter / Belpaeme / Cappuccio / Dio / Eyssel /
Handke / Mubin / Obaid / Reich-Stiebert
Roboter in der Bildung



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Fady Alnajjar
Paul Baxter
Massimiliano L. Cappu
Friederike Eyssel
Omar Mubin
Natalia Reich-Stiebert

Christoph Bartneck
Tony Belpaeme
Cinzia Di Dio
Jürgen Handke
Mohammad Obaid

Roboter in der Bildung

Wie Robotik das Lernen im digitalen Zeitalter bereichern kann

Autoren:

- Dr. Fady Alnajjar, United Arab Emirates University, al-Ain (VAEU)
Prof. Dr. Christoph Bartneck, University of Canterbury, Christchurch (Neuseeland)
Dr. Paul Baxter, University of Lincoln, Lincoln (Großbritannien)
Tony Belpaeme, Universiteit Gent, Gent (Belgien), und University of Plymouth, Plymouth (Großbritannien)
Massimiliano Cappuccio, University of New South Wales, Sydney (Australien)
Cinzia Di Dio, Università Cattolica del Sacro Cuore, Mailand (Italien)
Friederike Eyssel, Universität Bielefeld
Jürgen Handke, Universität Marburg
Dr. Omar Mubin, School of Computing, Engineering and Mathematics, Western Sydney University, Kingswood (Australien)
Dr. Mohammad Obaid, Chalmers University of Technology, Göteborg (Schweden)
Dr. Natalia Reich-Stiebert, FernUniversität in Hagen



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2021 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Anne Kurth

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Satz: Eberl & Kösel Studio GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-46695-1

E-Book-ISBN 978-3-446-46802-3

E-Pub-ISBN 978-3-446-47014-9

Inhalt

Danksagung	IX
1 Einführung	1
1.1 Lehrtechnologien: Die digitale Wende in der Bildung	2
1.2 Definition von und Einführung zu Bildungsrobotern	6
1.3 Wissenschaft versus Fiktion	10
1.4 Gliederung des Buches	13
2 Theorien des Lernens	15
2.1 Lerntheorien	15
2.1.1 Behaviorismus	16
2.1.2 Kognitivismus	17
2.1.3 Konstruktivismus	17
2.2 Soziales Lernen	22
2.3 Tutoring	23
2.4 Kollaboratives und kooperatives Lernen	24
2.5 Projektbasiertes Lernen	26
2.6 Bildungstheorie und Roboter in der Bildung	27
3 Der interaktive Verstand	29
3.1 Kognitive Grundlagen des menschlichen Lernens	30
3.1.1 Aufmerksamkeit	31
3.1.2 Gedächtnis	32
3.1.3 Exekutive Funktionen	34

3.2	Sozial-kognitive Grundlagen von Interaktionen	35
3.2.1	Empathie	36
3.2.2	Nachahmung	38
3.2.3	Theorie des Geistes (Theory of Mind, ToM)	40
3.2.4	Anthropomorphismus	42
3.2.5	Nonverbale Kommunikation	44
3.3	Demografische Daten	46
3.3.1	Biologisches und soziales Geschlecht (Sex und Gender)	46
3.3.2	Alter	47
3.3.3	Ethnizität	47
3.4	Sind sie wirklich „wie ich“?	48
4	Was macht einen Roboter aus?	51
4.1	Der Roboter	52
4.1.1	Robotertypen und ihre Steuerung	52
4.1.2	Grundlegende Roboter-Hardware	54
4.2	Eingabe-Technologien	56
4.2.1	Die Spracherkennung	56
4.2.2	Computer Vision	57
4.2.3	Näherungssensoren	58
4.2.4	Berührungssensoren	59
4.2.5	Physiologische Sensoren	59
4.3	Ausgabe-Technologien	60
4.3.1	Motor-Bewegungen und Mobilität	60
4.3.2	Haptisches Feedback	61
4.3.3	Audio	61
4.3.4	Augen	62
4.4	Verarbeitungssoftware	63
4.4.1	Entwicklungs-Tools	64
4.4.2	Roboter-Software-Middleware	65
4.4.3	Sprachverarbeitung	66
4.4.4	Einschränkungen	67
4.4.5	Lokalisierung und Kartierung	67
4.4.6	Künstliche Intelligenz	68

5	Roboter als Werkzeug	73
5.1	Warum werden Roboter im Unterricht eingesetzt?	74
5.2	Informatisches Denken (Computational Thinking)	76
5.3	Hardware	78
5.3.1	Einsatzbereite Roboter (Ready-to-Run)	78
5.3.2	Roboter-Baukästen	80
5.3.3	TurtleBot	83
5.3.4	Benutzerdefinierte Hardware	83
5.4	Software	85
5.4.1	Programmierung	85
5.4.2	Simulationsumgebungen	86
5.5	Roboter-Wettbewerbe	87
5.6	Herausforderungen	88
5.6.1	Mangelndes Vertrauen der Lehrkräfte	88
5.6.2	Roboter im Lehrplan	89
5.6.3	Wirksamkeit von Robotern in der Bildung	90
5.7	Ausblick	90
6	Roboter als soziale Agenten	93
6.1	Was macht einen sozialen Roboter aus?	93
6.2	Rollen von sozialen Robotern in der Bildung	94
6.2.1	Der Roboter als Tutor	95
6.2.2	Der Roboter als Peer	99
6.2.3	Der Roboter als Novize	101
6.2.4	Der Roboter als Assistent im Klassenzimmer	102
6.2.5	Der Roboter als Prüfer	104
6.2.6	Der Roboter als Mediator	105
6.2.7	Der Roboter als Lernberater	108
6.2.8	Der Roboter als Telepräsenz-Tool	109
6.3	Ausblick	111

7	Anforderungen an den Einsatz von Robotern	113
7.1	Auswahl eines Roboters	113
7.2	Finanzielle Fragen	116
7.2.1	Wartung	117
7.2.2	Versicherung	118
7.3	Die Infrastruktur	118
7.3.1	Eine Entwicklungs- und Testumgebung	118
7.3.2	Transport	119
7.3.3	Vorbereitung für den Gebrauch im Klassenzimmer	121
7.3.4	Internetzugang	122
7.4	Entwicklung/Programmierung	122
7.4.1	Das Entwicklerteam	123
7.4.2	Die sozialen Medien	123
7.4.3	Installation	124
7.4.4	Das Entwicklungsumfeld	124
7.5	Ausblick	125
8	Anwendungen	127
8.1	Lernen	128
8.1.1	Wissen	128
8.1.2	Fertigkeiten	130
8.1.3	Komplexe Themen	132
8.1.4	Rehabilitation und Entwicklung sozialer Fähigkeiten	133
8.1.5	Verhaltensänderung	136
8.1.6	Roboterunterstütztes Sprachenlernen	137
8.1.7	Hochschulbildung	139
8.2	Bewertung	141
8.2.1	Prüfinstanz	142
8.2.2	Feedback	143
8.3	Ausblick	144

9 Einstellungen gegenüber Robotern	147
9.1 Technologieakzeptanz	147
9.2 Messung der Einstellung gegenüber Robotern	148
9.3 Einstellung zu Bildungsrobotern	150
10 Ethik	155
10.1 Was ist Ethik?	157
10.2 Ethik für Roboter	159
10.3 Ethische Bedenken im Klassenzimmer	161
10.4 Ausblick	165
11 Forschungsmethoden in der Bildungsrobotik	169
11.1 Kurz- und Langzeit-Untersuchungen	170
11.2 Forschungsprozess	172
11.2.1 Literaturübersicht	172
11.2.2 Definition der Forschungsfragen und Hypothesen	173
11.2.3 Definition der Methode	174
11.2.4 Analyse	180
11.2.5 Schreiben und Publizieren	180
Literaturverzeichnis	183
Index	205

Danksagung

Dieses Buch ist das Ergebnis einer einwöchigen intensiven Schreibklausur, die – gefördert vom AI & Robotics Lab der Universität der Vereinigten Arabischen Emirate (UAEU) – im Januar und Februar 2020 in Al Ain, Emirat Abu Dhabi, stattfand.

Alle Koautoren haben aktiv an dieser Klausurtagung teilgenommen sowie an der Gestaltung, dem Entwurf und der Überarbeitung der Struktur und der ursprünglichen Inhalte mitgewirkt, aus denen dieses Buch besteht. Sie wurden von Frau Faith Bosworth (Booksprints.net) bei der Implementierung des Book-Sprint-Workflow-Formats unterstützt.



Die Klausurtagung war mit dem 5.Joint UAE-Symposium über Social Robotics (JSSR2020) verbunden, an dem die Koautoren unmittelbar nach Abschluss der Schreibklausur als Referenten teilnahmen. Die Klausur und das Symposium wurden durch einen großzügigen Beitrag des College of Humanities and Social Sciences und des College of Information Technology der Universität der VAE ermöglicht.

Die JSSR ist Teil der Aktivitäten, die die UAEU jährlich im Rahmen des Innovationsmonats unter der Schirmherrschaft ihres Kanzlers, S.E.Dr.Saeed Ahmed Ghobash, durchführen, dem wir für die Unterstützung unserer Initiative dankbar sind.

Die Autoren dieses Buches möchten auch Dr.Ghaleb Ali Alhadrami, Dr.Hassan Naboodah, Dr.Taieb Znati, Dr.Meera Alkaabi und Dr.Munkhjargal Gochoo für die Unterstützung der Organisation dieser Initiative danken. Unser besonderer Dank gilt Dr.Munkhjargal Gochoo und Dr.Fiona Baker für ihre hilfreichen Anregungen und Einsichten während der Anfangsphase der Klausur.



1

Einführung

*„If we teach today's students as we taught yesterday's,
we rob them of tomorrow.“*

- John Dewey: *Democracy and Education.*
New York, Macmillan, 1944.



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- die sich wandelnde Natur der Bildung,
- eine kurze Geschichte der Bildungsroboter,
- echte Roboter versus fiktive Roboter,
- Ausblick auf die folgenden Themen.

Ein modernes Lernszenario: Sarah besucht einen Informatikkurs und arbeitet heute mit *Ozobot*. Mit ihm (siehe Bild 5.5) fängt sie Pokémons und lernt dabei spielerisch grundlegende Kodierungskonzepte kennen. *Ozobot* ist ein kleiner programmierbarer Roboter, entwickelt, um den Unterricht von Mathematik und Naturwissenschaften bis hin zur Kunst praxisnah zu unterstützen. Zur gleichen Zeit nimmt Ben an einem Spanischkurs teil. Er interagiert mit *Pepper*, einem Roboter, der einem Menschen mit Armen und einem Gesicht, das als freundlich und niedlich empfunden werden soll, recht ähnlich sieht (Bild 1.3). Sie sprechen über das Leben von Straßenkindern in Lateinamerika. *Pepper* spricht langsam und ohne Akzent und wiederholt geduldig, wenn Ben ihn nicht verstanden hat. Er kann Lehren und Lernen in verschiedenen Disziplinen unterstützen. Er spricht 27 Sprachen und ist in der Lage, menschliche Emotionen zu erkennen und sozial zu interagieren.

Der Einsatz von Bildungstechnologien zur Unterstützung des Lernens und Lehrens hat sich von computergestützten Präsentationen und Online-Lernumgebungen hin zu den neuesten Lehrtechnologien, nämlich zum Einsatz von Bildungsrobotern wie *Ozobot* oder *Pepper* entwickelt. Schulen und Universitäten auf der ganzen Welt haben bereits damit begonnen, den Einsatz von Robotern im Klassenzimmer zu testen. Rasche technologische Innovationen, die unter dem Stichwort „Digitalisierung“ zusammengefasst werden, sind ein Grund für diese Entwicklung. Vor dem Hintergrund der digitalen Transformation spielt der kompetente Einsatz digitaler Medien im aktuellen Bildungsdiskurs eine immer wichtigere Rolle. Immer häufiger treten die sogenannten „Kompetenzen des 21. Jahrhunderts“ (die sog. 21st Century Skills) in den Vordergrund und umfassen u.a. Informations-, Medien- und Technologiekompetenz, Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit sowie Lern-

und Innovationsfähigkeit. Eine Aufgabe von Unterricht ist daher, neue Kenntnisse und Kompetenzen zu vermitteln und neue Formen des Austauschs in einer zunehmend vernetzten Welt zu lehren. Die Robotik ist eine treibende Kraft in diesem technologischen Wandel und ihre Bedeutung in unserem zukünftigen Alltag wird stetig zunehmen. Aus diesem Grund muss den Studierenden die Möglichkeit gegeben werden, sich diesem Thema zu nähern und sich Wissen darüber anzueignen, um auf heutige und zukünftige Lebens- und Arbeitsumgebungen vorbereitet zu sein. Was noch wichtiger ist: Die Forschung zeigt uns, dass das Lernen mit Robotern für Schüler¹ aller Altersgruppen interessant ist. Es fördert ihre Neugier gegenüber Themen, von denen die Betreffenden nie gedacht hätten, dass sie sie interessieren würden. Der Einsatz von Bildungsrobotern kann dazu beitragen, eine Lernumgebung zu schaffen, die Schüler durch die Neuartigkeit des Interaktionsmediums an den Inhalt fesselt.

In diesem Buch skizzieren wir zunächst verschiedene Lernparadigmen, die der Bildungsrobotik zugrunde liegen und betrachten dann das Potenzial von Robotern in der Bildung und die Rollen, die sie bei der Wissensvermittlung spielen können. Darüber hinaus werden wir technische Anforderungen und Anwendungspotenziale sowie mögliche damit verbundene Herausforderungen diskutieren. Schließlich werden wir untersuchen, wie die visuellen, sozialen und verhaltensbezogenen Signale eines Roboters das Lernen beeinflussen und welche Forschungsmethoden geeignet sind, um Mensch-Roboter-Interaktionen im Bildungsbereich zu untersuchen.

■ 1.1 Lehrtechnologien: Die digitale Wende in der Bildung

„Bildung“ ist im 21. Jahrhundert im Wandel. Die Rolle von Robotern in der zukünftigen Bildung kann daher nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss im Zusammenhang mit den digitalen Veränderungen verstanden werden, die derzeit zu beobachten sind. Die zentrale Idee dieses neuen Ansatzes zum Lehren und Lernen besteht darin, dass die Wissensvermittlung und der Wissenserwerb heute weitgehend durch digitale Technologien erfolgen kann. Digitale Technologien erlauben es Lehrkräften, Lernen zu personalisieren und dem Lernenden die Verantwortung für seinen persönlichen Lernprozess zu übertragen.

¹ Alle generischen Formen schließen alle Geschlechter mit ein. Auf die wortinterne Großschreibung, den Genderstern oder den Unterstrich wurde aufgrund der Empfehlungen des Rechtschreibrates von 2018 und der Gesellschaft für Deutsche Sprache von 2019 verzichtet.

Ein Trend in der digitalen Transformation der Bildung, der ein immenses Wachstum erlebt, ist das Online-Lernen. Statt einer textbasierten, statischen Lernerfahrung in einem Klassenzimmer oder einem Hörsaal arbeiten die Lernenden mit einem Online-Lernprogramm an Lernelementen, die in Produktionsstudios, Workshops oder außerhalb der Lernumgebung für sie zusammengestellt wurden. Diese Inhalte werden in der Regel über das Internet mithilfe von Lernmanagementsystemen (LMS) vermittelt. Einer der größten Vorteile dabei ist, dass die Studierenden ihre eigene Lernintensität und die Geschwindigkeit, mit der sie in ihrem Lernprozess voranschreiten, selbst bestimmen können. Kurse, die in solchen anpassbaren Formaten angeboten werden, können sehr viele Teilnehmer erreichen, da eine große Anzahl von Lernenden die digitalisierten Inhalte in sogenannten Massive-Open-Online-Kursen (MOOCs) abrufen kann.

Viele Bildungseinrichtungen betrachten MOOCs als Schlüssel zum Lehren und Lernen in einer modernen Welt. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dieses Format unter extrem niedrigen Erfolgsquoten leidet, die oft unter 5 % liegen. Khalil und Ebner (2014) erwähnen, dass Zeitmangel, mangelnde Motivation der Lernenden, das Gefühl der Isolation und ein Mangel an Interaktivität die zentralen Probleme in solchen Online-Lehr- und Lernszenarien sind. Die versprochene Größenordnung, in der ein Tutor Tausende von Studierende und Nichtakademiker kostenlos unterrichtet, ist nicht erreicht worden (Neubök et al., 2015). Die hohen Produktionskosten von professionellen Online-Kursen führten dazu, dass erhebliche Einschreibgebühren erhoben werden müssen (Hollands, 2014). Diese Probleme bestehen auch in geschlossenen Online-Kursen, die von etablierten Universitäten angeboten werden, um beispielsweise Mikrozertifikate zu erwerben (Handke und Franke, 2013). Daher werden Online-Kurse wahrscheinlich nicht die Lösung für die Probleme des traditionellen Lehrens und Lernens sein.

Wir brauchen eine zusätzliche Komponente, in der das digital erworbene Wissen vertieft und eingeübt wird. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten für den Präsenzunterricht, der dann kompetenzorientiert und nicht primär auf den Wissenstransfer ausgerichtet sein kann. Deshalb wird ein zweiphasiges Lehr- und Lernszenario vorgeschlagen: Online-Inhaltsvermittlung und selbstgesteuerter Inhaltserwerb, jedoch mit angeleiteter Wissensvertiefung. Dieses Szenario, das lange Zeit mit dem Begriff „umgekehrter“ oder „invertierter Unterricht“ (Lage et al., 2000; Baker, 2000) assoziiert wurde, ermöglicht den Lernenden nicht nur ihren eigenen Lernstil und ihren eigenen Zeitrahmen beizubehalten, sondern auch einen hohen Grad an Individualisierung in der Online-Phase. Mehr noch, sie stützt sich auf eine anschließende Präsenzunterrichtphase, in der das neu erworbene Wissen vertieft und eingeübt wird.

Eine große Verbesserung der Online-Bildung, die sowohl im Präsenzunterricht als auch online genutzt werden kann, kam mit dem Aufkommen virtueller und erweiterter Realitäten (VR, *Virtual Reality* und AR, *Augmented Reality*), die es den Ler-

nenden ermöglichen, eine immersive Lernerfahrung zu machen. Virtuelle Realität ist eine computergenerierte Simulation von Umgebungen, in denen Benutzer dreidimensional und realistisch interagieren können und in denen sie sich durch elektronische Geräte wie Helme oder mit Sensoren ausgestattete Kleidung präsent fühlen können (Biocca, 1992; Steuer, 1992; Zhou und Deng, 2009). Aktuelle bekannte VR-Systeme sind z. B. die *CAVE*, ein begehbarer Würfel, auf dessen Wände Bilder projiziert werden, sodass sich für den Anwender im Inneren des Würfels mit einer 3D-Brille der virtuelle Eindruck einer realen Szene ergibt (CAVE, Cruz-Neira et al., 1992). Andere Systeme setzen auf mit LCD-Bildschirmen ausgestattete sogenannte *Head-Mounted Displays* (HMD, Santos et al., 2009), auf dem Kopf tragbare Ausgabegeräte. *Augmented Reality* kombiniert Objekte und Elemente aus dem wirklichen Leben mit VR-Komponenten (Azuma, 1997). Im Vergleich zu VR koexistieren bei AR virtuelle Elemente in realen Umgebungen und ermöglichen so die Verschmelzung von Lernelementen im virtuellen Raum und in der realen Welt (Bower et al., 2014). Mobile mit GPS ausgestattete Geräte erhöhen die Mobilität und Interaktion der Lernenden untereinander und ermöglichen es, die reale Welt authentisch ergänzt durch virtuelle Elemente wie Bilder, Texte oder Videos zu erleben. AR-Lehrbücher sind ein Beispiel für solche Anwendungen in der Bildung. Vorlesungsaufzeichnungen werden durch Visualisierungen, 3D-Modelle oder Simulationen ergänzt, die eine neue interaktive Art des Lernens schaffen.

Ein großer Vorteil von *Virtual- und Augmented-Reality*-Anwendungen in der Bildung ist, dass sie realitätsnahe Erfahrungen auf immersive Weise ermöglichen. Neuere Arbeiten zeigen, dass der Einsatz von VR- und AR-Systemen in der Bildung einen positiven Einfluss auf die Lernergebnisse haben kann, wie z. B. erhöhte Motivation und Interesse oder höhere Leistung und Kreativität (Makransky und Lilleholt, 2018; Alhalabi, 2016; Bower et al., 2014; Wu et al., 2013). Pädagogische Fragen und Herausforderungen ergeben sich jedoch aus der Implementierung sowohl von Online-Lernen als auch von VR- und AR-Anwendungen in der Bildung. Innovative Unterrichtsansätze in Ergänzung zu herkömmlichen lehrerzentrierten, umsetzungsorientierten Methoden sind erforderlich.

Eine Lehrkraft leistet heutzutage nicht mehr nur Wissensvermittlung, sondern Assistenz im Bildungsprozess: „Vom Weisen auf der Bühne zum Begleiter“ (King, 1993). Diese neue Rolle ist eine Herausforderung. Sie umfasst die Beantwortung von Fragen, die Betreuung von Projektarbeiten im Unterricht, Gruppenarbeit mit den Lernenden und die Steuerung von Technologien wie *Audience-Response*-Systemen (ARS) oder Lern-Apps. Das sind Aktivitäten, die inhaltspezifische, mediale und technologische Kompetenzen erfordern. Eine einzelne Lehrkraft ist oft nicht in der Lage, alle diese Rollen ausreichend zu übernehmen, insbesondere in Klassen mit mehr als 25 Lernenden (Handke, 2020). Aber auch in kleineren Klassen kann der ständige Wechsel zwischen Inhalt und Technologie den Lehrer von der Zusammenarbeit mit den Lernenden ablenken. Infolgedessen benötigen wir mehr Assis-

tenten, die diese Aufgaben übernehmen, idealerweise einen für jeden Studenten. Dies käme dem antiken Ideal nahe, dass Sokrates durch die Straßen Athens wandert, während er sich mit einem Studenten unterhält.

Heute gibt es jedoch eine neue Option. Eine Lehrtechnologie, die die Bildung in nicht allzu ferner Zukunft prägen wird, ist der Einsatz von Robotern für das Lehren und Lernen. Wir glauben, dass Roboter ein besonders großes Potenzial haben, die Zukunft der Bildung zu gestalten und Schüler zum Lernerfolg zu führen. Einschlägige Lernerfahrungen mit Bildungsrobotern (seien es Roboter als Werkzeuge oder als soziale Akteure), wie z.B. beim Programmieren oder einfach durch die Zusammenarbeit mit ihnen, können die Kreativität anregen, das Problemlösen trainieren und diejenigen selbstregulierenden Lernfähigkeiten fördern, die Lernende benötigen, um im heutigen und zukünftigen Arbeitsleben erfolgreich zu sein. Bildungsroboter als soziale Akteure können zumindest in gewissem Umfang einige der Aufgaben von menschlichen Lehrkräften übernehmen und diesen dadurch neue Freiräume für individuelle Beratung und Betreuung ermöglichen. Ein Einsatz von Robotern, der den Menschen nicht ersetzt, sondern unterstützt, ist ein wesentlicher Bestandteil der digitalen Wende. Während die Rolle des Lehrers und die des Roboters die Lernerfahrung verändern wird, machen Roboter den Lehrer nicht überflüssig. Die Programmierung der Roboter, die Erstellung von Inhalten und die Wartung werden sogar zu vielen neuen Arbeitsplätzen führen.

Man könnte an dieser Stelle argumentieren, dass virtuelle „Lehrkräfte“, die auf Bildschirmen oder mobilen Anwendungen basieren, diese Aufgabe ebenfalls erfüllen könnten und keine teure Hardware benötigen würden. In diesem Buch werden wir jedoch argumentieren, dass die einzigartige physische Verkörperung und die interaktiven Fähigkeiten von sozialen Robotern der Schlüssel zur Bildung einer sozialen und doch einfühlsamen Bindung zwischen den Lernenden und den Robotern ist und, dass diese Bindung die Lernerfahrung verbessert. Mechanische Roboter sind dagegen vielleicht nicht in der Lage, sich mit einem Menschen zu unterhalten, aber durch ihren Formfaktor oder ihre manipulative modulare Struktur bieten sie eine Plattform, um etwas über Technik und Wissenschaften zu lernen. Daher enthält dieses Buch Kapitel über beide Arten von Robotern: als soziale Akteure und als Werkzeuge.

Was ist mit der Vergangenheit? Gab es Beispiele von Robotern, die menschliche Lehrer in der Bildung vor der Digitalisierung begleitet haben? Gibt es darüber hinaus Beispiele für den Einsatz von Robotern in Lehr- und Lernumgebungen, die über die beschriebenen hinausgehen? Die folgenden Passagen geben zunächst einen allgemeinen Überblick und befassen sich dann mit dem Potenzial von Robotern im Vergleich von Wissenschaft und Fiktion und dem, was zur imaginären und realen Welt gehört.

■ 1.2 Definition von und Einführung zu Bildungsrobotern

Unter „Bildungsroboter“ werden alle Roboter verstanden, die im Bildungskontext eingesetzt werden können. Je nach ihrem Interaktionsstil mit Menschen lassen sie sich in Roboter einteilen, die als Werkzeuge oder als soziale Akteure eingesetzt werden können. Als Werkzeuge werden sie entweder eingesetzt, um Lernende über Roboter an sich zu unterrichten oder, um durch ihre Programmierung technisches Wissen zu vermitteln (Eguchi, 2012). Zu dieser Kategorie gehören Roboter wie die *LEGO Mindstorms* oder der *Aibo*-Roboter (*Sony*).

In ihrer Rolle als soziale Akteure werden Roboter als Lernbegleiter betrachtet (Miller und Nourbakhsh, 2016). Durch soziale Interaktionen bieten sie Unterstützung und Hilfe. Sie können in einem fächerübergreifenden Kontext eingesetzt werden. Zu dieser Gruppe gehören humanoide Roboter wie der *Pepper*-Roboter (*SoftBank Robotics*) oder Telepräsenzroboter wie der *Beam*-Roboter (*Suitable Technologies*). Wie wir in späteren Kapiteln sehen werden, handelt es sich bei dieser Unterteilung eher um ein Kontinuum als um eine binäre Unterscheidung.

Bildungsroboter gibt es schon seit vielen Jahren. Da Roboter zuerst in Fabriken eingeführt wurden, fokussierte sich der Unterricht im Rahmen von Mechatronik-Lehrplänen auf den Bau und die Programmierung von Industrieroboterarmen. Die Komplexität dieser Maschinen (wie z.B. der KUKA-Roboterarm) machte sie für nicht ingenieurwissenschaftliche Studierende mehr oder minder unzugänglich.

Das *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) begann bereits 1987 mit der Arbeit an einer Ausbildungsroboterplattform unter dem Titel „*Logo Brick*“, die mittlerweile zu ihrem „*Red Brick*“ weiterentwickelt wurde. The *LEGO Group* (TLG) interessierte sich für diese Entwicklung und begann 1996 mit dem MIT zusammenzuarbeiten, woraus 1998 der erste programmierbare LEGO-Baustein namens „*Robotics Invention System*“ (RIS) entstand (Martin et al., 2000). Er wurde als *LEGO Mindstorms* vermarktet. Das ursprüngliche Design wurde mit den *Mindstorms NXT* und *EV3* verbessert (Bild 1.1).

LEGO Mindstorms ist heute das wohl am weitesten verbreitete Robotik-Lehrmedium (Kubilinskiene et al., 2017). Allerdings haben mehrere neue Plattformen, die auf fortschrittlichen Mikrocontrollern basieren, *LEGO Mindstorms* aus technologischer Sicht übertroffen. Zwei solcher Geräte sind der *Raspberry Pi* (Bild 1.2) und der *Arduino*. Diese Geräte sind dazu gedacht, Robotik und Programmierung zu lehren. Sie können zwar auch für die Lehre anderer Themen verwendet werden, ihr Schwerpunkt liegt jedoch nach wie vor in der Informatik und im Ingenieurwesen. Wir werden diese Systeme in Kapitel 5 ausführlicher vorstellen.



Bild 1.1 LEGO Mindstorms-Roboter (von links nach rechts: RCX, NXT, EV3)



Bild 1.2 Raspberry Pi (© Michael Henzler)

Im Jahr 2008 entwickelte *Aldebaran Robotics* (jetzt *SoftBank Robotics*) einen vollständig integrierten humanoiden Roboter mit dem Namen „*NAO*“. Dabei handelte es sich nicht mehr um einen Satz von Bausteinen, Sensoren oder Aktoren, die zusammengebaut werden mussten, sondern um einen voll funktionsfähigen, einsatzbereiten Roboter. Er wurde schnell zu einer beliebten Forschungsplattform (fast ein De-facto-Standard) und in vielen Studien über den Einsatz von Robotern in der Bildung verwendet. Während *NAO* auch für den Unterricht über Robotik eingesetzt werden kann, wurde er für viele andere Lehrbereiche verwendet, wie z.B. für den Zweitspracherwerb (Kennedy et al., 2016). Nachdem *SoftBank Robotics* die Firma *Aldebaran Robotics* gekauft hatte, wurde der Roboter „*Pepper*“ entwickelt und 2014 auf den Markt gebracht (Bild 1.3). *Pepper* erschließt durch seine Fähigkeit zur

Emotionserkennung, eine Tablet-Integration und die Eignung für Multi-User-Tracking und Interaktion auch den Bildungsbereich.



Bild 1.3

Roboter Pepper (© SoftBank Robotics)

Andere Arten von Bildungsrobotern sind zoomorphe Roboter, d.h. Roboter, die wie Tiere geformt sind, z.B. Hunde und Katzen. Sony brachte 1999 den Roboter *Aibo* auf den Markt. Obwohl der *Aibo* ursprünglich nicht für den Bildungsbereich konzipiert war, stellte Sony Werkzeuge zur Programmierung des Roboters zur Verfügung, mit denen Forscher maßgeschneiderte Programme erstellen konnten, sodass er in Lehrplänen verwendet werden konnte (Yamamoto et al., 2006). Die ersten Versionen des *Aibo* wurden zwischen 1999 und 2006 produziert. Im Jahr 2018 brachte das Unternehmen eine völlig neue Version des Roboters auf den Markt (Bild 1.4).

Alle bisher beschriebenen Roboter können entweder autonom operieren, d.h. einmal programmiert, agieren sie ohne weitere Rücksprache mit dem Programmierer, oder durch die Wizard-of-Oz-Methode (WoZ-Methode), d.h. der Roboter agiert autonom, wird aber tatsächlich von einem nicht in Erscheinung tretenden Menschen (dem sogenannten *Wizard*) bedient und gesteuert. Ein weiterer Ansatz für den Ein-

satz von Robotern in der Bildung sind Telepräsenzroboter. Hier steuert ein Lehrer einen lokalen Roboter, der mit den Lernenden interagiert, aus der Ferne. Die *Geminoid*-Roboterserien (Bild 1.5) von Hiroshi Ishiguro sind Beispiele für Telepräsenzroboter mit hoher Menschenähnlichkeit (Nishio et al., 2007). Weniger menschenähnlich geformte Telepräsenzroboter sind z.B. die von *Suitable Technologies* entwickelten *Beam*-Roboter. Es ist möglich, dass ein und derselbe Lehrer mehrere ferngesteuerte Roboter bedienen kann und dadurch Fernunterricht ermöglicht.



Bild 1.4

Roboter Aibo (© Sony Corporation)



Bild 1.5 *Geminoid-HI-4*-Roboter von Hiroshi Ishiguro an der Universität von Osaka entwickelt
(© Hiroshi Ishiguro)

Die heute für den Bildungsbereich verfügbaren Roboter sind leistungsfähiger geworden und weisen natürlichere Formen der Interaktion auf. Wir werden den Aufbau von Robotern, ihre Funktionen und die zugrunde liegende Technologie in Kapitel 4 ausführlicher diskutieren.

■ 1.3 Wissenschaft versus Fiktion

Im Bereich der Robotik ist es sehr schwierig zu unterscheiden, was wissenschaftliche Fakten sind und was reine Fiktion bleibt. Die breitere gesellschaftliche Öffentlichkeit ist oftmals nicht nur schlecht über den Stand der Technik in der Robotik informiert, sondern wird zudem durch die mediale und fiktionale Darstellung von Robotern in die Irre geführt (Sandoval et al., 2014; Mubin et al., 2016).

Seit langem schon haben *Science-Fiction*-Autoren Roboter als Begleiter, als Kumpel, als Mitarbeiter, als Lebenspartner oder als Diener, meist als Butler, als Kindermädchen oder als Leibwächter dargestellt. Sehr oft wird in der *Science-Fiction*, wenn Robotern eine erzieherische Funktion zugewiesen wurde, diese Funktion unter der Rolle des Pflegers subsumiert: Denken Sie an den Netflix-Film „*I am Mother*“ (Sputore, 2019) und *Grace* in „*Umbrella Academy*“ (Way and Ba, 2008), oder an den berühmten Roboter *M3 B9* in der Serie „*Lost in Space*“, der als Begleiter und Leibwächter des jüngsten Mitglieds der „Robinson-Familie“ fungierte. Wenn Roboter in der *Science-Fiction* als Lehrkraft dargestellt werden, liegt das vielleicht daran, dass diese Aktivitäten oft Teil des Erziehungs- oder Schutzverhaltens sind, das ihnen einprogrammiert wurde. Die *Science-Fiction* gibt aber auch inspirierende Darstellungen von Robotern als Lehrer und Erzieher. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit möchten wir zwei fiktionale Darstellungen von Robotern in der Lehrerrolle ins Gedächtnis rufen und aufzeigen, dass beide Formen der Darstellung mitunter wenig schmeichelhaft porträtiert, was passieren kann, wenn Erziehung Robotern anvertraut wird.

Die erste ist „*The Fun They Had*“, ein Klassiker der SciFi-Literatur von 1951. In dieser denkwürdigen Kurzgeschichte von Isaac Asimov, die im Jahr 2155 spielt, geht es um ein Mädchen das, nachdem ihr Nachbar zufällig ein altes Schulbuch auf dem Dachboden gefunden hatte, entdeckt, dass Kinder früher in Gruppen mit menschlichen Lehrkräften lernten, bevor diese vollständig durch Roboter ersetzt wurden. Zu der Zeit, in der die Geschichte spielt, lernen die Kinder einzeln zu Hause unter der Aufsicht eines Roboterlehrers. Obwohl das Mädchen der Idee, von einem erwachsenen Menschen unterrichtet zu werden, zunächst skeptisch gegenübersteht, träumt sie am Ende der Geschichte davon, in einer Schule der Vergangenheit in Gesellschaft anderer Lernender und einer menschlichen Lehrkraft zu

lernen. In dieser Geschichte wird der Begriff der Robotik in der Bildung mit einer Mischung aus Skepsis und einem Gefühl der Nostalgie für traditionelle Bildung aufgenommen. Liest man jedoch Asimovs Geschichte im Jahr 2021, mag man zu einer anderen Interpretation kommen: Angesichts der gut dokumentierten Vorteile des Einsatzes von Robotern im Klassenzimmer, um das Engagement der Kinder zu erhöhen und das Lernen in der Gruppe zu erleichtern, kann man sich der Ironie nicht erwehren, dass der heutige Roboter eine der vielversprechendsten Lösungen für die in Asimovs Geschichte beschriebene Isolation zu bieten scheint. Eine weitere populäre Darstellung der Robotik in der Bildung bietet Mark Lesters (1990) dystopischer Film „*Class of 1999*“. Der Film zeigt eine Schule in einer gewalttätigen Nachbarschaft, die von Schüler-Unruhen und jungen Kriminellen heimgesucht wird. Um der Schule zu helfen, ihre Schüler unter Kontrolle zu bekommen, werden Lehrer heimlich durch neue Modelle humanoider Roboter ersetzt, die sehr bald eine fragwürdige Neigung zu repressiven Methoden bei der Disziplinierung der widerspenstigen Jugendlichen zeigen. Auch dieses dystopische Szenario scheint heute, wo die Interaktion zwischen Robotern und Kindern realer geworden ist und mit der wir vertrauter geworden sind, ziemlich ironisch zu sein. Während an der Idee, dass Roboter zu Werkzeugen der Überwachung² und Abschreckung werden können und, dass sie im Prinzip eingesetzt werden können, um undiszipliniertes oder falsches Verhalten im Klassenzimmer zu verhindern, definitiv etwas Wahres sein mag, steht das freundliche und harmlose Aussehen der heutigen Roboter in starkem Kontrast zu dem schrecklichen autoritären Aussehen, das im Film dargestellt wird.

Die *Science-Fiction*-Darstellungen von Robotern haben sich in der Realität nicht immer als richtig vorausgesagt erwiesen. Doch wir müssen feststellen, dass auch die wissenschaftliche Sicht verwirrend sein kann. Auf der einen Seite werden uns Videos der realen akrobatischen Fähigkeiten der *Atlas*-Roboter der Firma *Boston Dynamics* präsentiert, während gleichzeitig Videos eines computergenerierten *Atlas*-Roboters im Umlauf sind, die vom Original visuell nicht zu unterscheiden sind (Bartneck und Keijsers, 2020). Darauf hinaus sind wir mit Pseudo-Robotern wie *Titan* konfrontiert, der über erstaunliche Fähigkeiten zu verfügen scheint. *Titan* ist jedoch nur ein Mensch in einem Anzug. Diese Ungewissheit hängt nicht nur von der Täuschungskraft ab, die hyperrealistische Computergrafiken und hochentwickelte Videos heutzutage erreicht haben, sondern auch von der potenziellen Ungenauigkeit, die mit der Definition von Robotern und ihren Fähigkeiten verbunden ist. Die Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung lässt viele von uns im Unklaren darüber, was derzeit möglich ist und was nicht.

² Die „Hello Barbie“-Puppe von Mattel war mit einem Mikrofon ausgestattet und kommunizierte über das Internet mit den Servern von Mattel. Mattel hörte zu jeder Zeit mit, was im Kinderzimmer vor sich ging. Während dies ihnen wahrscheinlich großartige Einblicke in das Marketing verschaffte, löste es bei den Eltern, die um ihre Privatsphäre besorgt waren, einen erheblichen Aufschrei aus.

Erwünschte Fähigkeiten wie hochentwickelte Sprachverarbeitung, komplexe Objekterkennung und ausgeprägte adaptive Manipulation der Umgebung sind noch nicht erreicht worden. Robotiker debattieren, ob und wann sie diese je erreichen werden. Auf der anderen Seite haben wir in den letzten zehn Jahren durch die schnelle Entwicklung des maschinellen Lernens und Big Data enorme Fortschritte bei der Fähigkeit von Computern erlebt, Muster zu erkennen, Flugbahnen vorherzusagen und implizite Regelmäßigkeiten aus riesigen unorganisierten Datensätzen zu extrahieren, was unter anderem sehr leistungsfähige Modelle der natürlichen Sprache (z. B. GPT-3) hervorbrachte. Dieser schnelle Fortschritt hat die Hoffnung genährt, Handlungseinheiten erschaffen zu können, die zumindest in gut abgegrenzten Aktivitätsbereichen intelligent operieren könnten. Frustrierend ist aber nach wie vor, dass wir nicht in der Lage sind, allgemeine Intelligenz zu reproduzieren und ein KI-System von einem Bereich der praktischen Anwendung in einen anderen zu übertragen. Unsere gegenwärtige Wahrnehmung von Robotern ist durch eine kaum auflösbare Spannung zwischen erfüllten und frustrierten Erwartungen gekennzeichnet, sodass die Hoffnung auf technologischen Fortschritt manchmal durch den Zynismus ersetzt wird, der sich aus der scheinbar ewigen Wiederholung derselben Fehler ergibt: So werden beispielsweise jedes Jahr ehrgeizige Forschungsprogramme mangels konkreter positiver Ergebnisse eingestellt (Ackerman, 2018), während andere – noch teurere – Projekte in der Hoffnung gefördert werden, die nächste große Idee in der KI zu finden.

Es muss jedoch auch darauf hingewiesen werden, dass die Schwierigkeit, Fakten von Fiktion zu unterscheiden, dem Begriff des Roboters selbst inhärent zu sein scheint, dessen Wesen auf halbem Wege zwischen Realität und Wahrnehmung der Benutzer liegt. Die Identität humanoider Roboter erschöpft sich nie in ihrer physischen Präsenz, da sie immer auch eine Darstellung der menschlichen Möglichkeiten beinhaltet. Deshalb spiegelt das Design von sozialen Robotern nicht nur unsere immanente Verfassung und unsere materiellen Bedürfnisse wider, sondern auch unsere Wünsche, Ängste, Zukunftswünsche und Werte. In diesem Sinne sind Roboter immer nicht nur technologische Artefakte, sondern bis zu einem gewissen Grad auch Geschöpfe der Phantasie und Hoffnung. Dies impliziert, dass der konzeptuelle Beitrag, den Fiktion und künstlerische Darstellung zur Robotik leisten, niemals unterschätzt oder als bloße Täuschung abgetan werden sollte, auch wenn er Gefahr läuft, ungenau und möglicherweise irreführend zu sein. Es stimmt, dass die *Science-Fiction* oft die Grenzen zwischen realistischen und fantastischen Erwartungen verschwimmen lassen kann, aber sie spielt auch eine wichtige, produktive Rolle. Unzählige Male hat die *Science-Fiction* den Robotikern geholfen, die Vision zu entwickeln, die sie brauchten, um innovative Technologien zu konzipieren. Sie hat ihre Bemühungen inspiriert, anspruchsvollere soziale Roboter zu entwerfen. Darüber hinaus kann die *Science-Fiction* innovativen Pädagogen helfen, die breite Öffentlichkeit auf eine Zukunft vorzubereiten, in der eine erfolgreiche Mensch-

Roboter-Interaktion als die Norm angesehen werden wird: Fantastische Erzählungen können Erwachsenen, nicht weniger als Kindern, helfen, sich mit der Idee vertraut zu machen, selbstbewusst mit Robotern zu arbeiten und von ihnen zu lernen, und so eine Kultur der Inklusion und Akzeptanz schaffen, die sowohl Lehrer als auch Schüler darauf vorbereitet, „künstliche“ Begleiter und Assistenten zu akzeptieren.

■ 1.4 Gliederung des Buches

Unser Buch soll aufzeigen, wie Roboter in Schulen und anderen Bildungseinrichtungen zum Einsatz kommen können. Obwohl dieses Buch zahlreiche theoretische Konzepte vorstellt, verfolgt es selbst einen pragmatischen Ansatz. Unser Ziel ist es, ein hilfreiches Set an Orientierung gebenden Begriffen, Beispielen und Lesarten zu geben, sowie methodische Hinweise und konkrete Vorschläge für eine effektive Anwendung autonomer Technologien in Klassenzimmern zu liefern, um die Arbeit gegenwärtiger und zukünftiger Lehrpersonen zu erleichtern, zu unterstützen und zu ergänzen.

In Kapitel 2 stellen wir die wichtigsten Lern- und Bildungstheorien vor, sowie die pädagogischen Settings, die sie am besten veranschaulichen, und – schließlich – wie Roboter in sie passen. In Kapitel 3 werden wir die Grundlagen der menschlichen Kognition betrachten und die Mechanismen und Prozesse vorstellen, die für das Lernen und zur Optimierung von Lehrmethoden, einschließlich solcher, die Roboter einbeziehen, dienlich sind. In Kapitel 4 werden wir uns mit der eigentlichen Definition von Robotern befassen. Dort werden wir einen Überblick über die technologischen Systeme geben, die die Robotik unterstützen.

Kapitel 5 und Kapitel 6 zielen auf die Einführung von Robotern in den Unterricht ab. Hier stellen wir die zwei verschiedenen Rollen dar, die Roboter in einer Lernumgebung einnehmen können: Kapitel 5 befasst sich mit Robotern als Werkzeug, die den Lernprozess erleichtern und erweitern; Kapitel 6 befasst sich mit Robotern als soziale Akteure, die dem Lernprozess in humanoiden Rollen wie Lehrassistenten oder Mentoren dienen. Die Einführung von Robotern im Bildungsbereich stellt bestimmte Anforderungen an den Erwerb von Technologien, die Ausbildung von Personal und die Vorbereitung von Lehrplänen. Kapitel 7 fasst diese Anforderungen zusammen. Kapitel 8 umfasst eine systematische Überprüfung der Anwendungen der Robotik in der Bildung, einschließlich einer großen Anzahl von Fallstudien und beschreibender Analysen in Bezug auf verschiedene Themen und Fähigkeiten. Die Wirksamkeit von Robotern in der Bildung hängt stark von der Wahrnehmung der Benutzer und der Einstellung der Lehrer gegenüber Robotern ab. Darauf gehen wir in Kapitel 9 ein.

Kapitel 10 befasst sich mit den ethischen Bedenken, die mit der Einführung von Robotern im Bildungswesen einhergehen. Das Kapitel bietet einen theoretischen Hintergrund zum Verständnis der moralischen Dilemmata, die mit dem Einsatz von Robotern im schulischen Umfeld verbunden sind. Schließlich werden in Kapitel 11 die spezifischen Forschungsmethoden erörtert, die zur Untersuchung der Mensch-Roboter-Interaktion (*Human Robot Interaction, HRI*) in der Bildungslandschaft und der Wirksamkeit der durch Roboter vermittelten Lernpraktiken angewandt werden müssen.

2

Theorien des Lernens

*„Tell me and I will forget, show me and I may remember;
involve me and I will understand.“*

- Xun Kuang in Xunzi



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- ein Überblick über einflussreiche Theorien in der formalen Bildung,
- wie Bildungstheorien und Robotik in Lernumgebungen aufeinandertreffen,
- Modelle des Lernens.

Dieses Kapitel soll einen allgemeinen theoretischen Hintergrund der Robotik in der Bildung vermitteln. Es sollen einige grundlegende Begriffe der Lerntheorie und Pädagogik vorgestellt werden. Diese Begriffe sind notwendig, um die Beziehung zwischen den Bildungswissenschaften und der Mensch-Roboter-Interaktion zu verstehen.

Im ersten Teil des Kapitels fassen wir die drei Haupttheorien des Lernens zusammen, die im 20. Jahrhundert entwickelt wurden: Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus. Der zweite Teil des Kapitels beschreibt die gebräuchlichsten im Schulkontext verwendeten Lernsettings: das Lehrsetting, das Tutorsetting, das kollaborative Lernsetting und das projektbasierte Lernsetting. Erläutert wird deren implizite Verbindung zu den drei Lerntheorien. Im dritten und letzten Teil dieses Kapitels gehen wir kurz auf die Rolle ein, die Roboter in jedem dieser Lernkontakte spielen können. Abschließend stellen wir einige Überlegungen zum Bildungswert von Robotern im Lichte der drei Lerntheorien vor.

■ 2.1 Lerntheorien

Die Lernpraxis in der Grundschule wird in hohem Maße von pädagogischen Paradigmen beeinflusst. Sie stützt sich ausdrücklich auf Theorien der frühen Bildung. In den heutigen frühkindlichen Lehrzusammenhängen greifen Pädagogen gerne auf die Arbeiten von Vygotsky (1962) und Rogoff (1998) zurück, die die Bedeutung der Entwicklung von Kindern in einem sozialen Umfeld betonen. Diesen zufolge lernen Kleinkinder durch Interaktionen und Zusammenarbeit – etwas, das heute selbstverständlich scheint.

Ein weiterer einflussreicher Psychologe ist Jean Piaget. Er arbeitete zu Beginn des 20.Jahrhunderts und entwickelte eine Reihe von Lerntheorien, indem er vor allem die Entwicklung seiner eigenen Kinder beobachtete. Nach Piagets theoretischem Stufenansatz wird Wissen nicht vermittelt, sondern durch Interaktion mit der physischen Welt aufgebaut. Kinder beginnen die Entdeckung der Welt durch Manipulation, ein grundlegender Schritt nach Piaget (1927, 1928), der die Bildung und Entwicklung von enaktivem Wissen, d.h. von verkörpertem, in Wahrnehmung und Handlung verwurzeltem Wissen, ermöglicht. Für einen Pädagogen ist es unerlässlich, die kognitiven Stadien eines Kindes zu erkennen, um entsprechende Interventionen anbieten zu können.

Bei vielen Themen waren sich Piaget und Vygotsky nie ganz einig. Sie waren sich jedoch darin einig, wie wichtig es ist, dass Menschen ihr Wissen durch die Interaktion mit der physischen Welt erwerben.

2.1.1 Behaviorismus

Der Anfang des 20.Jahrhunderts aufkommende Behaviorismus ist ein Ansatz in der Psychologie, der methodisch vorschlägt, sich nur auf die beobachtbaren Aspekte von Verhalten zu konzentrieren. Dieser Ansatz lehnt die Introspektion, also den „Blick nach innen“, ab, spielt somit die Rolle der inneren (psychischen) Zustände herunter und lehnt sie im Extremfall ab.

In Bezug auf Bildung versteht der Behaviorismus Lernen als Erwerb neuer Verhaltensmuster auf Grundlage von Umweltbedingungen. Der Erwerb von Wissen bedeutet im Wesentlichen die Beherrschung eines großen Repertoires differenzierter Verhaltensweisen als Reaktion auf detaillierte Umweltreize. Ein Lehrer würde behavioristisches Lernen fördern, indem er die richtigen Hinweise für eine gewünschte Reaktion identifiziert und Übungssituationen arrangiert, in denen Reize mit Zielen gepaart werden. Er sollte sicherstellen, dass die kontextuellen Bedingungen so eingestellt sind, dass die Lernenden die gewünschte Reaktion in Gegenwart der Zielreize zeigen (Ertmer und Newby, 1993).

Wie Watson interessierte sich B.F.Skinner nicht für mentale Prozesse, die sich der direkten Beobachtung entziehen, sondern für beobachtbares Verhalten, das Gesetzen folgt, vorhersagbar und kontrollierbar ist (Delprato und Midgley, 1992; Skinner, 1965). Skinner konzeptualisierte Verhalten als Disposition zu handeln, die durch Verstärkung und Bestrafung kontrolliert wird, Begriffe, die als operante Konditionierung bekannt sind. Ein Beispiel für die Auswirkungen des Skinner'schen Ansatzes zur Messung und Analyse von Verhalten auf die Bildung ist jedoch der „Präzisionsunterricht“. Dies gilt als eine erfolgreiche schülerzentrierte Methode zur Messung des Lernens in verschiedenen Bereichen (z.B. Lesen (Carl Hughes et al., 2007)). Allerdings hat die Tatsache, dass Skinner den Menschen in einer

eher deterministischen, mechanistischen Weise betrachtet, zur Kritik an seinen Ideen beigetragen.

2.1.2 Kognitivismus

Als Antwort auf die harsche Kritik am behavioristischen Lernansatz bietet der Kognitivismus eine alternative Sichtweise. Der Kognitivismus wiederum erachtet mentale Prozesse als zentral für den Wissenserwerb. Diese Idee geht auf die Gestaltpsychologie zurück (Kohler et al., 1973), derzufolge dich der Verstand durch die Interaktion mit der Außenwelt konstituiert, sodass das, was wir wahrnehmen, durch innere mentale Faktoren beeinflusst wird. Gemäß diesem Ansatz ist Lernen das Resultat der Interaktion interner Prozesse, einschließlich der eigenen Bedürfnisse, Motivation und Erwartungen, und dem Kontext, in dem das Lernen stattfindet.

Die kognitive Herangehensweise an das Lernen legt somit den Schwerpunkt auf die Förderung der psychischen Prozesse, wie zum Beispiel die Motivation des Lernenden, zur Verbesserung der Kodierung, Speicherung, Organisation und Abruf von Informationen (Ertmer und Newby, 2013). Die Mittel zur Wissensvermittlung umfassen eine Reihe von Strategien, die von Beispielen, über Demonstrationen bis hin zu Erklärungen reichen. Der Lernende kann aktiv an der Wissensaneignung arbeiten und dabei verschiedenste Strategien anwenden.

Trotz ihrer breiten Anwendung in der pädagogischen Praxis, werden sowohl der Kognitivismus als auch der Behaviorismus oft dafür verantwortlich gemacht, dass das Lernen auf einen mechanistischen, monodirektionalen Prozess reduziert wird. Ein Prozess, der letztlich durch die zu verarbeitenden Informationen und – im Falle des Kognitivismus durch ihre kognitive Verarbeitung – determiniert wird, die unbewusst durch den Lernenden erfolgt.

2.1.3 Konstruktivismus

Der Konstruktivismus unterscheidet sich von den vorhergehenden Sichtweisen, weil er Lernen als einen bidirektionalen Prozess versteht, der Verhandlungen und eine aktive Rolle des Lernenden einschließt, eines Akteurs, der notwendigerweise in eine bewusste Interaktion mit den Input-Quellen, auf die er sich stützt, eingebunden ist.

Es gibt zwei Traditionen des Konstruktivismus. Die erste wurde primär von Vygotsky (1962, 1978) geprägt und wird Sozialkonstruktivismus genannt. Hier wird die soziale und kollaborative Dimension des Lernens in den Vordergrund gerückt und die Gruppe, weniger das Individuum steht im Fokus. Die zweite, von Jean

Piaget vertretene Tradition wird durch kognitive Entwicklungsstufen charakterisiert. Hier werden die individuelle Dimension des Lernens und die Tatsache betont, dass neue Erfahrungen von den Individuen erarbeitet werden, während diese aufeinander folgende Stufen der kognitiven Entwicklung durchlaufen. Dieser zweite Strang wird auch mit dem kognitiven Ansatz in Verbindung gebracht, da er dessen Grundlage bildet – weshalb Piaget oft das Verdienst zugeschrieben wird, sowohl den kognitiven als auch den konstruktivistischen Ansatz inspiriert zu haben.

Die konstruktivistische Herangehensweise an die Bildung basiert in erster Linie auf der Piaget'schen Sichtweise des Lernens (Piaget, 1929). In diesem Zusammenhang werden die beiden grundlegenden Mechanismen der Akkommodation und Assimilation im Lernprozess explizit genutzt. Assimilation findet statt, wenn der Lernende neue Informationen in seine bestehende Wissensstruktur integriert. So kann z. B. ein Kind, das in der Mathematik Subtraktion lernt, dies mit seinem vorhandenen Wissen über Addition in Beziehung setzen. Akkommodation hingegen bedingt, dass existierendes Wissen in Bezug auf neue Informationen adaptiert und verändert werden kann. Sie bezieht sich auf die Erweiterung der Wissensstruktur, um ein neues Denkmittel oder eine neue Denkmethode zu integrieren: Als solche ist sie aus der Perspektive des Lernenden typischerweise schwieriger. Ein Beispiel könnte ein Lernender sein, der zum ersten Mal Computerprogrammierung lernt (unter Verwendung von Kontrollstruktur, Rekursion usw.), zuvor jedoch nur Prosa geschrieben hat. Assimilation würde verwendet werden, wenn derselbe Student eine andere Programmiersprache erlernen würde: Er wäre in der Lage, seine Kenntnisse einiger der gängigen Programmierprinzipien anzuwenden, auch wenn die Syntax unterschiedlich ist. Es ist daher von Vorteil, wenn die Lehrkraft diesen Prozess versteht, da sie besser in der Lage wäre, die relative Leichtigkeit oder Schwierigkeit des Lernenden bei der Anwendung dieser jeweiligen Mechanismen nachzuvollziehen.

Im Rahmen eines soziokulturellen Lernansatzes legt Vygotsky einen besonderen Akzent auf die Bedeutung des sozialen Umfelds. Er argumentiert, dass ein sachkundiger Anderer in der Lage sei, substanzelle Hilfe bei der Einordnung der potenziellen/unausgesprochenen Kompetenzen des Kindes in die weitere Entwicklung zu bieten. Ein Gleichaltriger, ein Betreuer oder ein Lehrer haben das Potenzial, dem Kind zu helfen, in einer bestimmten Entwicklungsphase vorwärts zu kommen, die als Zone der proximalen Entwicklung (Zone of Proximal Development, ZPD) bezeichnet wird, d. h. in der die unausgedrückten Potenziale des Kindes/Lernenden auf einen höheren Wissensstand gebracht werden können. Während dies beibehalten wird, haben neue post-Piaget'sche Erkenntnisse gezeigt, dass ein Gleichaltriger oft ein besserer Lernpartner ist, weil dieser über konzeptuelles Wissen und eine Sprache verfügt, die besser auf die des Lernenden abgestimmt ist. Diese Beobachtung hat große Auswirkungen auf die Möglichkeit, Lernende zusammenarbeiten zu lassen, indem diese Wissen kontextualisieren und mitkonstruieren.

Im konstruktivistischen Ansatz besteht die Rolle des Lehrers bzw. des Lernpartners daher nach Vygotsky darin, eine unterstützende Rolle (vergleichbar mit einem Gerüst) zu spielen, um den Lernprozess zu erleichtern, indem er die Fähigkeit des Schülers ausnutzt, neues Lernmaterial – so Piaget – zu assimilieren und schließlich aufzunehmen. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die drei wichtigsten Lerntheorien und ihre Anwendung in der Bildungspraxis.

Tabelle 2.1 Lerntheorien

	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Zentrale psycho-logische Annahmen	Untersucht direkte Korrelationen zwischen Stimuli und Reaktionen. Die internen Prozesse des Geistes (Black Box) sind unzugänglich oder methodologisch undurchsichtig.	Studiert die Prozesse des Geistes. Der Verstand ist eine Reihe von verdeckten Informationsprozessen, die zwischen Wahrnehmungsinput und Verhaltensoutput angesiedelt sind.	Der Verstand ist ein System, das sich aktiv an der Interpretation von Informationen beteiligt, indem es früheres Wissen nutzt, um Informationen über gegenwärtige und zukünftige Erfahrungen zu generieren.
Lernprozess	Lernen geschieht durch Assoziationen zwischen Reizen und Reaktionen. Der Wissenserwerb wird immer raffinierter und führt dadurch zu neuen Verhaltensweisen.	Lernen ist eine interne Informationsverarbeitung, die mittels kognitiver Strategien, d.h. Bildung und Speicherung von mentalen Repräsentationen, zu Verständnis und Wissenserhalt führt.	Lernen bedeutet, die eigenen Interpretationsmodelle zu aktualisieren, d.h. sich Methoden anzueignen, um die Bedeutung neuer Erfahrungen auf der Grundlage der Bedeutung vergangener Erfahrungen herauszuarbeiten.
Natur des Lernprozesses	Neue Verhaltensweisen oder Verhaltensänderungen werden durch Assoziationen zwischen Reizen und Reaktionen erworben. Assoziationen sind direkte Input-Output-Korrespondenzen, die durch Wiederholungs- oder Verstärkungsmechanismen hergestellt werden.	Der Lernprozess steht in Wechselwirkung mit den Umweltgegebenheiten, die als objektiv begründet und quantifizierbar angesehen werden. Lernen geschieht durch intellektuelle Prozesse. Mentale Prozesse interagieren mit Umweltfaktoren und beeinflussen somit das Lernen.	Lernen ist ein Prozess, der – ob individuell oder in Zusammenarbeit – sowohl auf dem Wissen der Vergangenheit als auch auf proaktiver kreativer Synthese von Neuem und Bekanntem aufbaut. Da der Lernprozess keinem linearen Verlauf folgt, sind die Lernergebnisse weitgehend unvorhersehbar und lassen sich daher nur schwer innerhalb einer vordefinierten Vorlage konsistent einrahmen.

	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Rolle des Lernenden im Lernprozess	Lernen ist ein passiver Prozess, der darauf beruht, Umweltreizen ausgesetzt zu sein. Individuelle Initiative und Kreativität spielen dabei kaum eine Rolle.	Die Rolle der Lernenden ist aktiv, da sie Informationen suchen und Rätsel lösen müssen, aber sie bleibt rein intellektuell. Die verkörperte Komponente der Informationsverarbeitung spielt dabei keine aktive Rolle.	Sozialkonstruktivismus: Der Lernende nimmt an einem sozialen und kolaborativen Prozess teil. Stufe der kognitiven Entwicklung: Der Lernende erarbeitet neue Erfahrungen, indem er durch Assimilation und Akkommodation aufeinander folgende Stufen der kognitiven Entwicklung durchläuft.
Aktivitäten und Aufgaben auf denen der Lernprozess basiert	Fallstudien Forschungsprojekte problemorientiertes Lernen Brainstorming gemeinschaftliches Lernen entdeckendes Lernen Simulationen	Kategorisierung und Bündelung von Informationen Assoziation zwischen begrifflichen Inhalten Definition logischer Strukturen Problemlösung Bildsprache aktive Strategien des Auswendiglernens	Rollenspiel gemeinsame Arbeit soziale Interaktion Auswendiglernen und Wiederholen Anreize zum Üben und Lernen aktive Teilnahme verbale Verstärkungsappelle als Belohnung) Aufstellung von Regeln



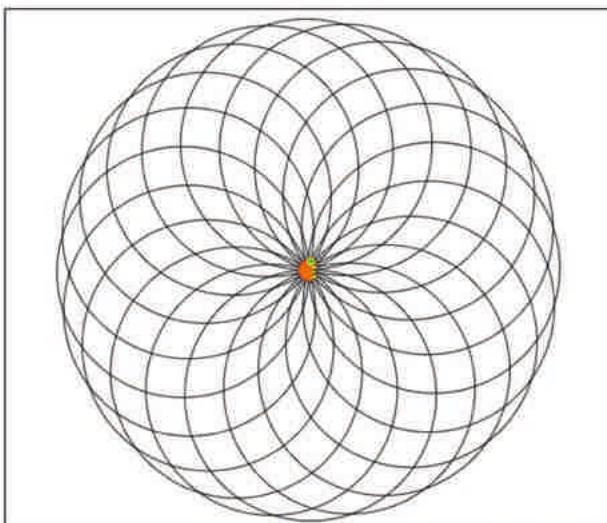
Seymour Papert und *LEGO Mindstorms*

Seymour Papert war ein südafrikanischer Mathematiker und Informatiker, der die meiste Zeit seines Lebens in den Vereinigten Staaten arbeitete. Aufbauend auf dem Werk von Jean Piaget, mit dem er mehrere Jahre lang in Genf zusammenarbeitete, führte er die konstruktionistische Bewegung¹ im Bildungswesen an und setzte sich speziell für den Einsatz von Programmierung in Schulen ein. Zusammen mit Wally Feurzeig und Cynthia Solomon entwickelte Papert die Programmiersprache *Logo*. *Logo* war eine Programmiersprache für den Bildungsbereich und am bekanntesten für die „Schildkrötengrafiken“, bei denen ein programmiert Befehl einen Stift, die sogenannte „Schildkröte“, über den Bildschirm bewegte, um Linien zu zeichnen (siehe Bild 2.1). Die Sprache wurde konzipiert, um Konzepte des algorithmischen Denkens und Programmierens zu lehren. Papert argumentierte, dass *Logo* das „körper-syntonische Denken“ unterstützte und den Lernenden dabei helfe, die Bewegung der „Schildkröte“ zu verstehen, vorherzusagen und zu begründen, indem sie sich vorstellen, was sie tun würden, wenn sie die „Schildkröte“

¹ Man beachte den Unterschied zwischen Konstruktionismus und Konstruktivismus: Sie sind verwandt, bringen aber unterschiedliche Ideen vor.

wären. Die Logo-Programmiersprache ist in der Bildung immer noch populär. Es gibt zahlreiche Online-Umgebungen, zum Beispiel turtleacademy.com.

Logo und die dahinterstehenden pädagogischen Konzepte hatten einen großen Einfluss auf den Einsatz von Robotern in der Bildung. In seinem 1980 erschienenen Buch *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas* behauptete Papert, dass Computer nicht nur als eine Erweiterung von Stift und Papier in der Bildung angesehen werden sollten und sprach sich dagegen aus, „dass der Computer zur Programmierung des Kindes verwendet wird“. Stattdessen sollten Computer von den Schülern aktiv programmiert werden und sie dazu einladen, Lösungen für Herausforderungen durch algorithmisches Denken zu konstruieren. Auf diese Weise „programmiert das Kind den Computer und erwirbt dadurch sowohl ein Gefühl der Beherrschung einer der modernsten und leistungsfähigsten Technologien als auch einen intimen Kontakt mit einigen der fundamentalsten Ideen aus Wissenschaft, Mathematik und der Kunst, in Modellen zu denken“. Papert begann eine Zusammenarbeit mit der Firma *The LEGO Group*, und seine Ideen dienten als Inspiration für den *LEGO Mindstorms*-Lernroboterbausatz, der nach seinem Buch benannt wurde. 1989 stiftete *The LEGO Group* einen Lehrstuhl am *Massachusetts Institute of Technology*, wo Papert der erste *LEGO*-Professor für Lernforschung wurde. Die konstruktivistische Herangehensweise an die Robotik ist nach wie vor der vorherrschende Ansatz bei Robotern im Bildungswesen. Millionen von Roboterbausätzen, darunter auch die *LEGO Mindstorms*-Bausätze, werden in Schulen auf der ganzen Welt eingesetzt, um Kindern und Schülern das Erlernen von Wissenschaft, Technik, Ingenieurwesen, Design und Mathematik zu erleichtern.



```
repeat 20 [repeat 180 [fd 4 rt 2] rt 18]
```

Run

Bild 2.1

Eine „Schildkröte“, die mit der Logo-Programmiersprache ein Muster zeichnet: Die „Schildkröte“ macht einen Schritt vorwärts und dreht sich 2 Schritte nach rechts, dies wird 180 Mal wiederholt, wobei ein Kreis gezeichnet wird. Danach dreht sie sich 18 Schritte nach rechts und wiederholt die vorherigen Anweisungen 20 Mal. Logo war eine beliebte erste Programmiersprache für viele angehende Programmierer

■ 2.2 Soziales Lernen

Ein prominentes Beispiel für eine sozialkonstruktivistische Theorie ist die Lerntheorie von Albert Bandura (Bandura, 1978), die auch als „Modellernen“ bezeichnet wird. Bandura veranschaulichte seine Prinzipien des Lernens durch Beobachtung und Nachahmung in den klassischen „Bobo-Puppen-Experimenten“ (Bandura et al., 1963a), in denen Kinder aggressives Verhalten gegenüber einer aufgeblasenen *Bobo*-Puppe beobachteten, wie z.B. ihr ins Gesicht schlagen, sie in die Luft werfen, auf der Puppe sitzen oder verbal aggressiv auf sie reagieren. Die Kinder beobachteten solche Handlungen entweder direkt oder sahen ein kurzes Video, in dem ein Darsteller aggressiv auf *Bobo* reagierte, oder sie sahen einen Zeichentrickfilm mit einer Katze, die die Puppe angriff. Die Ergebnisse der Forschungsstudie von 1963 zeigten, dass es keine Rolle spielte, welchen Darsteller bzw. welche Modell-Situation sie sahen. In allen Fällen ahmten die Kinder die Aggression des Darstellers, des Modells, gegenüber der *Bobo*-Puppe nach und fügten der Puppe sogar doppelt so viele Schläge und Tritte zu. Sie benutzten zudem die gleichen verbal beleidigenden Kommentare wie der Darsteller (stellvertretendes Lernen). Es zeigte sich, dass sowohl direkte Beobachtung und filmisch vermittelte Aggressionen Nachahmung hervorrufen können. Die Reaktionen von Menschen konnten unmittelbar geformt werden. Im selben Jahr betonten die Autoren auch die Rolle der Verstärkung des Verhaltens (*vicarious reinforcement*). Wenn der Darsteller mit Süßigkeiten belohnt wurde, ahmten Kinder schlechtes Verhalten stärker nach, als wenn er gescholten wurde (Bandura et al., 1963b). Dies zeigte, dass Kinder nicht nur durch direkte Belohnung oder Bestrafung lernen, sondern dass sie auch lernen können, wenn sie sehen, wie jemand anderes belohnt oder bestraft wird.

Der Begriff des Modellernens kann für die Forschung im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion nützlich sein, da ein Roboter als Modell dienen kann, das gewünschte Verhaltensweisen bei Menschen ermöglicht, z.B. in Fällen, in denen der Roboter als Trainer eingesetzt wird, um körperliche Übungen zu erleichtern. Beispielsweise wurden Roboter eingesetzt, ein kardiovaskuläres Übungsprogramm vorzumachen und die Patienten zu motivieren, es einzuhalten (Casas et al., 2018). Der Roboter wird dabei als Modell eingesetzt, mit dem Ziel, positive gesundheitsbezogene Verhaltensweisen zu verstärken. Dasselbe Prinzip gilt auch für die Idee eines Roboters, der Verhaltensweisen an den Tag legt, die entweder ethischen und moralischen Prinzipien entsprechen oder nicht, wie in Kapitel 10 ausführlich dargestellt werden wird.

■ 2.3 Tutoring

Tutoring ist die Bereitstellung von Unterstützung und Anleitung für eine oder mehrere Personen im Rahmen eines Lernprozesses. Dies kann in einem formellen Rahmen, z.B. im Schulkontext, oder in einer informellen Umgebung, z.B. im privaten Bereich zuhause, geschehen. Entscheidend ist dabei, dass das Lernmaterial und das Lerntempo individuell gestaltet sind und, dass dem Verhältnis zwischen Lehrenden und Lernenden viel Aufmerksamkeit gewidmet wird. Der Bildungspychologe Benjamin Bloom bezeichnete Tutoring als eine der effektivsten Lehrmethoden. In seinen Forschungen stellte er fest, dass Kinder, die tutorielle Unterstützung erhalten, einen signifikanten Vorteil gegenüber ihren Altersgenossen haben, die traditionellen Unterricht im Schulkontext erhielten. Dies ist als *Blooms 2-Sigma* bekannt geworden und wurde benutzt, um für einen stärker individualisierten Unterricht zu plädieren.

Die Argumente für Tutoring haben nach wie vor Bestand, wie jüngere Studien zeigen: VanLehn (2011) stellte fest, dass Tutoring gegenüber traditionellem Unterricht im Klassenverband einen Mehrwert aufweist, was vielleicht erklärt, warum weltweit Millionen von Eltern immense Gebühren für Nachhilfeunterricht bezahlen, um die reguläre schulische Ausbildung ihrer Kinder zu ergänzen.

Auch Roboter beginnen, als Tutoren in die Bildungsumgebung eingeführt zu werden (Belpaeme et al., 2018a; Vogt et al., 2019). So zielte das von der EU geförderte Forschungsprojekt L2TOR („el tutor“) darauf ab, mithilfe des sozialen NAO-Roboters den Unterricht von Vorschulkindern im Alter von fünf Jahren in einer Fremdsprache zu unterstützen, insbesondere Englisch als Zweitsprache für Muttersprachler des Niederländischen, Deutschen und Türkischen sowie Niederländisch als Zweitsprache für Migrantenkinder, die Türkisch als Muttersprache sprechen. Inspiriert durch die Art und Weise, wie menschliche Tutoren typischerweise mit Kindern interagieren, wurde der Roboter so programmiert, dass er in individuellen Tutorsitzungen mit Kindern interagiert und sowohl verbale als auch nonverbale Kommunikation verwendet, manchmal auch adaptiv auf die Handlungen der Kinder reagiert und angemessenes Feedback gibt. Natürlich ist dieses Projekt nicht erschöpfend, da soziale Roboter derzeit technisch noch nicht in der Lage sind, Beziehungen auf völlig autonome Weise zu gestalten. Dieses Projekt stellt jedoch ein eindrückliches Beispiel dafür dar, wie eine Reihe von Richtlinien entwickelt werden kann, die dabei helfen sollen, künftige Tutor-Roboter für den groß angelegten Einsatz im Bildungsbereich zu entwerfen.

■ 2.4 Kollaboratives und kooperatives Lernen

In den letzten Jahrzehnten wurden die Unterrichtspraktiken stark durch Ansätze des kollaborativen und kooperativen Lernens beeinflusst. Diese gehen davon aus, dass effektives Lernen in Gruppen stattfindet, wobei jedes Mitglied versucht, seine eigenen Lernergebnisse und die seiner Mitlernenden zu maximieren (Johnson und Johnson, 2015) und dabei seine rein individuellen Interessen zurückstellt. Die Begriffe kollaboratives Lernen und kooperatives Lernen gehen oft ineinander über, bezeichnen aber unterschiedliche Konzepte. Beide Lernformen implizieren, dass zwei oder mehr Lernende zusammenarbeiten, um gemeinsame Ziele zu erreichen. Der Hauptunterschied besteht darin, dass bei der Kollaboration die Lernenden die Arbeit gemeinsam erledigen, während bei der Kooperation die Lernenden die Aufgabe aufteilen, individuell an ihrer Teilaufgabe arbeiten und schließlich die Ergebnisse zu einem gemeinsamen Ergebnis (Dillenbourg, 1999) zusammenfügen. Kollaboratives und kooperatives Lernen haben sich sowohl in Einzelinteraktionen unter Gleichaltrigen als auch in größeren Gruppen und mit Schülern verschiedener Altersgruppen, die über eine Vielzahl von Themen lernen, als effektiv erwiesen (Slavin, 1996; Johnson et al., 2007; Johnson und Johnson, 2009).

In formalen kollaborativen und kooperativen Lernsettings arbeiten Lernende für die Dauer einer einzelnen Unterrichtseinheit oder sogar über einen längeren Zeitraum hinweg zusammen, um eine gemeinsame Leistung zu erzielen (Johnson et al., 2007). Das gemeinsame Ziel sollte vom Lehrer hervorgehoben werden, ebenso wie die Belohnung, die alle Gruppenmitglieder aufgrund der individuellen Expertise und der von jedem Gruppenmitglied eingenommenen Rolle erhalten werden. Auf diese Weise erkennen alle Gruppenmitglieder ihren entscheidenden individuellen Einfluss auf die Gesamtleistung der Gruppe. Das kollaborative und kooperative Lernen hat eine umfangreiche Geschichte und ist in einer Vielzahl empirischer Studien untersucht und validiert worden (siehe Johnson et al., 2007; Johnson und Johnson, 2009, 2015).

Elemente erfolgreicher Kooperation wurzeln in der Theorie der sozialen Interdependenz, wie sie von Deutsch (1949, 1962) vorgeschlagen wurde, einem Psychologen, der Konflikte und Zusammenarbeit in Gruppen untersucht hat. Wichtig ist, dass die Gruppenzugehörigkeit an sich nicht zu verbesserten Lernergebnissen führt; grundlegende Bedingungen müssen dafür erfüllt sein. Die fünf Kernfaktoren, die den Erfolg von kooperativem Lernen in Bildungskontexten fördern, sind soziale Interdependenz, individuelle Verantwortlichkeit, direkte Interaktion, angemessener Einsatz sozialer Kompetenzen und Gruppenprozess-Reflexion (Johnson et al., 2007; Johnson und Johnson, 2009). Diese fünf vorteilhaften Komponenten von kooperativem Lernen werden kurz besprochen.

Soziale Interdependenz beruht auf der Idee, dass die Bemühungen und der Erfolg eines Einzelnen von der Leistung und dem Erfolg der anderen Lernenden in einer Gruppe abhängen. Die Wirksamkeit positiver Interdependenz wurde in einer Vielzahl von Studien dokumentiert (für einen Überblick siehe Johnson et al., 2007). Beispielsweise können Lernende in Bezug auf Ergebnisse, z.B. Ziele und Belohnungen, oder in Bezug auf Ressourcen voneinander abhängig sein, wobei die gegenseitige Abhängigkeit von Zielen eine größere Produktivität fördert als die gegenseitige Abhängigkeit von Ressourcen (Johnson et al., 1991).

Das Wissen, dass die Bemühungen eines Einzelnen zum Erfolg der Gruppe beitragen, schafft ein Gefühl der individuellen Verantwortung. Die individuelle Verantwortlichkeit ist hoch, wenn das Ergebnis eines Lernenden bewertet und der Gruppe berichtet wird, was auch die wahrgenommene Interdependenz in Gruppen erhöht (Archer-Kath et al., 1994).

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die direkte persönliche Interaktion vorteilhaft für die Ergebnisse des kooperativen Lernens ist. Das heißt, der Lernkontext ermöglicht den direkten Kontakt, damit die Lernenden ihr Wissen austauschen sowie Hilfestellung oder Feedback in unmittelbarer räumlicher Nähe geben können.

Ein Schlüsselement effizienter Kooperation sind die sozialen Fähigkeiten, die jedes Gruppenmitglied in die Lerngruppe einbringt. Nach Johnson et al. (1998) dienen solche sozialen Fertigkeiten direkt der Arbeitsleistung: Sie umfassen Kompetenzen wie Lehrfähigkeit, Entscheidungsfindung, Vertrauensbildung, Kommunikation und Konfliktmanagement.

Schließlich umfasst die Gruppenprozess-Reflexion die Diskussion gegenseitiger Handlungen und die Entscheidungen darüber, welche Aktivitäten für zukünftiges Lernen geändert oder beibehalten werden sollten (Johnson und Johnson, 2009).

Johnson et al. (2014) haben betont, dass zeitgenössische Unterrichtspraktiken idealerweise von einer validierten Theorie informiert und geleitet werden sollten. Hier erweist sich die große Menge an Forschungsergebnissen über kollaboratives und kooperatives Lernen insofern von Nutzen, als diese Erkenntnisse nicht nur als Grundlage für die Bildungspraxis Mensch-zu-Mensch verwendet werden können, sondern auch in den robotergestützten Unterricht einfließen sollten. Es liegt auf der Hand, dass die Robotik einen starken Einfluss hat. Genau dies war das Ziel des von Reich-Stiebert (2019) realisierten experimentellen Forschungsprogramms. Es untersuchte empirisch die Auswirkungen der Umsetzung der oben genannten Kernelemente des kooperativen Lernens beim Lernen mit einem Roboter. Genauer gesagt, übertrug sie die bildungstheoretischen Annahmen erfolgreichen Unterrichts auf das Gebiet der Mensch-Roboter-Interaktion. Konkret wurde innerhalb eines dyadischen Mensch-Roboter-Interaktionskontextes kooperatives Lernen als Strategie eingesetzt, um das gemeinsame Ziel des Erlernens einer Roboter-Interak-

tionssprache (*ROILA* (Mubin et al., 2012, 2013a) mit dem NAO-Roboter zu erreichen.

Den Lernenden wurde Lernmaterial für *ROILA* zur Verfügung gestellt, der Roboter wurde jedoch als Hauptinstrument zur Förderung objektiver und subjektiver Lernergebnisse eingesetzt. Im Gegenzug hatten die Lernenden Karteikarten erhalten, um dem Roboter *ROILA*-Vokabeln beizubringen und so eine gegenseitige kollaborative Lernerfahrung zu realisieren. Gemessen wurden Ergebnisse wie die Lernleistung, die intrinsische Motivation, die Selbstwirksamkeitserwartungen und die Stimmung während des Lernprozesses. Ebenso wurde der Roboter als Lernpartner bewertet. Insgesamt zeigte jedoch Reich-Stieberts (2019) Versuch, die Theorie des kooperativen Lernens im Kontext von Mensch-Roboter-Interaktionen empirisch zu testen und zu validieren, dass die Implementierung von positiver Interdependenz, sozialer Unterstützung und Gruppenprozess-Reflexion in die Mensch-Roboter-Interaktion keine signifikanten Ergebnisse hat.

■ 2.5 Projektbasiertes Lernen

Projektbasiertes Lernen betrachtet den Lernenden als einen aktiven Lerner, der in einem Projektkontext gemeinsam mit anderen Lernenden Probleme aus dem wirklichen Leben löst. Um erfolgreich zu sein, muss sich ein Projekt auf ein klar definiertes Problem konzentrieren, das gelöst werden muss und in Angriff genommen werden kann, indem ein greifbares Produkt entwickelt wird, wobei das Endprodukt und nicht der Prozess selbst im Mittelpunkt steht. Um ein konkretes Artefakt herzustellen, müssen die Lernenden alle Phasen der Herstellung des gewünschten Endprodukts durchlaufen, wobei die Zusammenarbeit und die gemeinsame Nutzung von Ressourcen von wesentlicher Bedeutung sind. Aus diesem Grund qualifiziert sich projektbasiertes Lernen auch als eine Form des gemeinschaftlichen Lernens (Aksela und Haatainen, 2019). Kokotsaki et al. (2016) haben ferner darauf hingewiesen, dass Lernen im Kontext stattfindet, wobei der Lernende den Lernprozess kontrolliert und die Möglichkeit hat, je nach Projektmethode verschiedene Ergebnisse zu erzielen (d.h. verschiedene Arten von Darstellungen, siehe Aksela und Haatainen, 2019). Dieser Ansatz wurde in der MINT-Bildung erfolgreich angewandt (Aksela und Haatainen, 2019) und kulturübergreifend in Vorschul-, Grundschul-, Sekundarschul- und Hochschulkontexten untersucht. Im Gegensatz dazu konzentriert sich problembasiertes Lernen in erster Linie auf den Lernprozess und auf die Untersuchung eines Problems, das formuliert wurde und für das das Wissen des Lernenden unzureichend ist. Projektbasiertes Lernen hingegen betont das Endprodukt des Projekts.

■ 2.6 Bildungstheorie und Roboter in der Bildung

Forschung im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion hat gezeigt, dass Kinder und Erwachsene Roboter oft wie soziale Interaktionspartner behandeln (Belpaeme et al., 2013; Duffy, 2003; Fink, 2012). Auf dieser Grundlage gibt es eine Fülle von Forschungsergebnissen, die zeigen, dass interaktive Roboter in der Lage sind, zu beeinflussen, zu überreden und zu überzeugen. Durch ihre physische und soziale Präsenz ziehen sie die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich und können, wenn sie die richtigen Verhaltensmuster aufzeigen, glaubwürdig erscheinen (Bartneck et al., 2020b; Di Dio et al., 2020b). All dies sind Elemente, die für Bildung von zentraler Bedeutung sind, und als solche könnten die Bildungstheorien, die entwickelt wurden, um zu erklären und zu unterstützen, wie Menschen Wissen und Fähigkeiten an andere weitergeben, auch für die Art und Weise relevant sein, wie Roboter als Tutoren und Lehrer eingesetzt werden können.

Stellen Sie sich folgendes Szenario vor: Ein sozialer Roboter wird Ihnen als Lernpartner vorgestellt, als ein Gleichaltriger, der sich Ihnen auf Ihrer Lernreise anschließt und Ihnen nur knapp voraus ist. Er fordert Sie heraus und ermuntert Sie, mit ihm mitzuhalten, er weckt mit Lob ihren Lerneifer. Er belohnt Sie, wenn Sie die Dinge richtig machen, und ermahnt Sie, wenn Sie etwas falsch machen, so wie es ein Freund tun würde. Gemeinsam lösen Sie und der Roboter Matheaufgaben. Sie arbeiten sich durch immer schwieriger werdende Fragestellungen. Manchmal macht der Roboter einen Fehler. Das gibt Ihnen nicht nur die Möglichkeit, den Roboter zu korrigieren und dabei zu glänzen, sondern lässt den Roboter auch als einen Akteur erscheinen, der absichtsvoll handelt (Short et al., 2010). Natürlich sind die Verhaltensweisen des Roboters sorgfältig vorausgewählt, um Ihnen auf Ihrer Lernreise zu helfen, aber auch, um Ihr Selbstvertrauen zu stärken. Dieses hypothetische Beispiel ist eine Mischung aus kollaborativem Lernen, Tutoring und sozialkonstruktivistischem Lernen, mit einem Hauch von John Dewey. Eine etablierte Theorie, die Roboterentwickler beraten kann, wie sie die künstliche Intelligenz solcher Roboter programmieren könnten, gibt es nicht. Daher haben die Forscher sehr pragmatische Ansätze gewählt und durch Versuch und Irrtum gelernt, was die effektivsten Lehrmethoden sind. Mehr dazu in Kapitel 6.



Diskussionsfragen

- Wie passen die drei wichtigsten Lerntheorien – Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus – in eine Zukunft, in der Roboter in der Bildung eingesetzt werden?
- Da Roboter gut geeignet sind, zu wiederholen, wäre eine Anwendung von behavioristischen Robotern im Klassenzimmer effektiv?
- Wie können Roboter bestehende Modelle des Lernens im Klassenzimmer revolutionieren?



Weiterführende Literatur

- David Didau und Nick Rose. *What every teacher needs to know about psychology*. John Catt Educational Limited, Melton, Woodbridge, 2016.
- Gary Thomas. *Education: A very short introduction*. Oxford University Press, Oxford, 2013.
- Mark Haselgrove. *Learning: A very short introduction*. Oxford University Press, Oxford, 2016.
- Denis Phillips und Jonas F. Soltis. *Perspectives on learning*. Teachers College Press, New York, 2015.

3

Der interaktive Verstand

*„It is a curious fact that people are never so trivial
as when they take themselves seriously.“*

- Oscar Wilde



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- kognitive Prozesse, die für Mensch-Roboter-Interaktion im Lernkontext relevant sind,
- Prozesse und Mechanismen, die Robotern menschliche soziale Kompetenzen verleihen,
- demografische Faktoren, die bei der Mensch-Roboter-Interaktion zu berücksichtigen sind.

Um Roboter für den Einsatz in der Bildung kohärent zu entwickeln und erfolgreich zu implementieren, müssen wir uns mit den wichtigsten kognitiven, sozialen und emotionalen Merkmalen befassen, die menschliche Lernende und Lehrende charakterisieren. Mit anderen Worten: Genauso wie die Bildungsrobotik von Bildungstheorien beeinflusst wird, werden Bildungstheorien wiederum von psychologischen Modellen der Kognition und des Verhaltens beeinflusst. Um diese Idee auszuführen, gibt dieses Kapitel eine kurze Einführung in eine Reihe grundlegender Begriffe der Kognitions- und Sozialpsychologie. Das Ziel ist es, die wichtigsten menschlichen Merkmale hervorzuheben, die für die Optimierung von Lern- und Lehrpraktiken relevant sind, einschließlich jener, die Roboter betreffen.

Die in diesem Kapitel eingeführten Begriffe bieten einen Überblick über die menschlichen Eigenschaften, die an Lern- und Lehrprozessen beteiligt sind. Diese Begriffe werden auf der Grundlage empirischer Daten und Modelle vorgestellt, die von verschiedenen Zweigen der Psychologie (Sozial-, Entwicklungs- und Kognitionspsychologie) und der Kognitionswissenschaft generiert wurden.

Die Sozialpsychologie ist dasjenige Fachgebiet in der Psychologie, das den Einfluss anderer auf unser Denken, Fühlen und Verhalten in den Fokus stellt. Hierbei kann es sich sowohl um andere Menschen als auch um Artefakte wie Roboter oder virtuelle Agenten handeln (McDougall, 2015).

Die Entwicklungspsychologie hingegen beschreibt die dynamische Entwicklung der biologischen, sozialen, emotionalen und kognitiven Merkmale, die ein Individuum charakterisieren, im Laufe der Lebensspanne (Butterworth, 2014).

Die Kognitionspsychologie untersucht mentale Fähigkeiten (z. B. Gedächtnis, Kontrolle, Wahrnehmung, Entscheidung) auf der Ebene der zugrunde liegenden Informationsprozesse und -systeme (Reisberg, 2013).

Die Kognitionswissenschaft ist demgegenüber ein interdisziplinäres Fachgebiet, die die kognitive Psychologie mit den Werkzeugen und Methoden ergänzt, die durch die Forschung in den Bereichen Neurowissenschaften, KI und Robotik bereitgestellt werden. Die Schlüsselidee der Kognitionswissenschaft ist, dass die Synthese einer mentalen Funktion mithilfe eines Computers oder Roboters genutzt werden kann, um die entsprechende mentale Funktion bei einem Menschen empirisch zu verstehen. Zusätzlich ist die Analyse einer mentalen Funktion bei einem Menschen nützlich, um die gleiche Funktion mithilfe von Computern effektiv zu rekonstruieren (Gallagher und Schmicking, 2010).

Die Anwendung der oben genannten Begriffe auf das Studium der Bildungsrobotik ermöglicht es uns, das wissenschaftliche Verständnis über Lernprozesse im menschlichen Geist mit dem technologischen Wissen, das für den Bau von Bildungsrobotern notwendig ist, effektiv zu integrieren. Es ist erforderlich, den sozialen Kontext, in dem Unterricht stattfindet, das spezifische Entwicklungsstadium des Lernenden sowie die ausgeprägten kognitiven Fähigkeiten und Einschränkungen der allgemeinen menschlichen Benutzer zu erkennen, um Anwendungen in der Bildungsrobotik zu entwerfen, die auf die Besonderheiten des menschlichen Lernens zugeschnitten sind.

■ 3.1 Kognitive Grundlagen des menschlichen Lernens

Stellen Sie sich vor, Sie sitzen in einem Klassenzimmer und der Lehrende erklärt Ihnen den Satz des Pythagoras. Sie hören zu, was der Lehrer sagt, und versuchen, die Diagramme und Gleichungen auf der Tafel zu verstehen. Ihr Freund kichert, was Sie kurz ablenkt, aber Sie wenden Ihre Aufmerksamkeit wieder der Lektion zu. Sie versuchen sich zu erinnern, was Quadratwurzeln und Quadrate waren, wobei Sie an eine frühere Übung zurückdenken. Sie wissen, dass Sie sich Notizen machen sollten, Ihr Stift schwebt über dem Papier und Sie versuchen, sich zu beteiligen (oder zumindest engagiert zu erscheinen).

Dieses einfache Beispiel verdeutlicht eine Reihe von Anforderungen an unser kognitives System in einem pädagogischen Kontext: Der Versuch, dem Lehrer zuzuhören und ihm zuzuschauen, erfordert *Aufmerksamkeit*, das Erinnern früherer Erfahrungen erfordert *Gedächtnis* (sowohl episodisch in Bezug auf die Erinnerung an die letzte Lektion als auch prozedural in Bezug auf die Vorgehensweise). Der

Versuch, Ablenkung zu ignorieren, erfordert eine bestimmte Art von Handlungsfähigkeit, in der Psychologie als *exeutive Funktionen (EF)* bezeichnet.

Die Art und Weise, wie wir als Menschen Entscheidungen treffen, und die Art und Weise, wie wir argumentieren, sind Ausdruck unserer kognitiven Fähigkeiten. Trotz der großen Zahl kognitiver Systeme und Prozesse, die in Betracht gezogen werden können, wollen wir in diesem Abschnitt jedoch diejenigen Aspekte herausarbeiten, die für unser Verständnis des Lernkontextes (siehe Kapitel 2) und anschließend – sofern Lernen ein sozialer Prozess ist – im sozial interaktiven Kontext (Abschnitt 3.2) von zentraler Bedeutung sind. Dem einfachen Beispiel oben folgend, identifizieren wir drei dieser Kernkomponenten: Aufmerksamkeit (z.B. Aufmerksamkeit schenken; Abschnitt 3.1.1), Gedächtnis (vorhandenes Wissen nutzen; Abschnitt 3.1.2) und exekutive Funktionen (z.B. Versuch, Ablenkungen zu ignorieren; Abschnitt 3.1.3)

3.1.1 Aufmerksamkeit

Aufmerksamkeit kann definiert werden als die Fähigkeit eines Individuums, sich nur auf die wichtigsten Informationen zu einem bestimmten Zeitpunkt zu konzentrieren, während andere, potenziell störende Informationen ausgeblendet werden. Die Rolle der Aufmerksamkeit als kognitiver Mechanismus ist für die Aufrechterhaltung der Fähigkeit, aufgabenorientiert zu bleiben, von wesentlicher Bedeutung: In diesem Sinne steht sie insofern in zentraler Beziehung zum Begriff des Arbeitsgedächtnisses (*Working Memory*) (siehe Abschnitt 3.1.2), als dass kognitive Aufgabenanforderungen im Einklang mit begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen bewältigt werden müssen, was wiederum von der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses abhängt (D'Esposito, 2007). Gedächtnis und Aufmerksamkeit arbeiten im Einklang miteinander: Begrenzte Aufmerksamkeit bedeutet, dass nur aufgabenrelevante Informationen aus dem Gedächtnis abgerufen werden – was wiederum den Fokus der Aufmerksamkeit verändern kann.

Die Aufmerksamkeitsspanne hat Auswirkungen auf die Aktivitäten, an denen ein Einzelner beteiligt ist. Auch wenn weitere Forschung erforderlich ist, um diese Behauptung zu untermauern, geht man davon aus, dass Studierende im Hochschulbereich, z.B. in einer Vorlesung, Informationen am besten innerhalb eines Zeitfensters von 10–15 Minuten verarbeiten können (z.B. Bradbury, 2016; Wilson und Korn, 2007). Eine besonders wichtige verhaltensbedingte Manifestation der Aufmerksamkeit ist der Einsatz der Augen, genauer: des Blicks. Blick kann zwar auch als soziales Signal zur Steuerung der Interaktion zwischen Menschen verwendet werden (siehe Abschnitt 3.2.5), aber die begrenzten visuellen Fähigkeiten des menschlichen Auges schränken den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit natürlich ein – wir können immer nur eine Sache auf einmal betrachten, daher müssen

wir unsere Aufmerksamkeit nur auf eine Aufgabe konzentrieren, wenn wir unsere Chancen auf einen erfolgreichen Abschluss maximieren wollen.

3.1.2 Gedächtnis

Das Gedächtnis ist an allen Aspekten des menschlichen Denkens beteiligt, vom Verstehen dessen, was man sieht und hört, bis hin zum Handeln in der Welt. Die Prozesse des menschlichen Gedächtnisses bestehen im weitesten Sinne aus drei Elementen bestehend charakterisiert worden: Kodieren, Speichern und Abrufen (*Retrieval*). *Kodieren* bezieht sich auf die Umwandlung wahrgenommener Information in eine Form, die im Gedächtnis gespeichert und manipuliert werden kann. *Abrufen* bezieht sich auf den Prozess, die relevante gespeicherte Information zu finden und auf sie zuzugreifen. Es wurde eine enge Kopplung zwischen Kodierung und Abruf festgestellt: Nach dem Prinzip der Kodierungsspezifität (Tulving und Thomson, 1973) wird der Abruf erleichtert, wenn der Abrufkontext mit dem Kodierungskontext übereinstimmt. Der Speicherkomponente wurde in Bezug auf ihre Struktur und Organisation besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Es wurde eine Reihe verschiedener Funktionen/Typen identifiziert, wobei in erster Linie zwischen *sensorischem*, *Kurzzeit-* und *Langzeitgedächtnis* unterschieden wird. Ursprünglich von Atkinson und Shiffrin (1968) vorgeschlagen, wurde dieses grundlegende *Multi-Store-Modell* in der Folge verfeinert und umstrukturiert (siehe Bild 3.1).

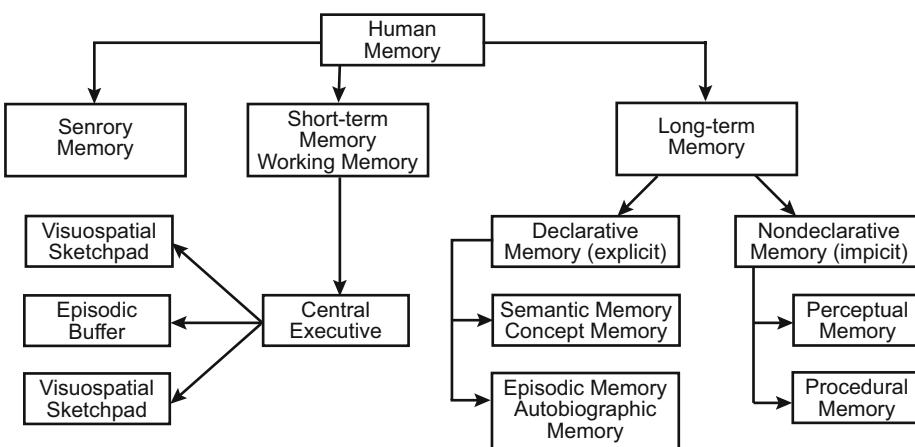


Bild 3.1 Gesamtorganisation des menschlichen Gedächtnisses.

Das Langzeitgedächtnis bezieht sich im Allgemeinen auf Informationen, Wissen und Fertigkeiten, die im Prinzip dauerhaft gespeichert sind, um jederzeit genutzt

werden zu können, wenn auch mit der Möglichkeit, sich im Laufe der Zeit zu verändern. Es wird standardmäßig unterschieden zwischen dem *expliziten* Gedächtnis, welches Wissen wie Fakten sowie Ereignisse umfasst und das bewusst zugänglich ist, und dem *impliziten* Gedächtnis, das Wissen enthält, das normalerweise nicht bewusst zugänglich ist, wie Fertigkeiten und Handlungen. Bewusst zugängliche Informationen – explizites Gedächtnis – umfassen Fakten und Wissen, über die wir verfügen und an die wir uns erinnern können, z.B. aus vergangenen Lernprozessen (semantische Informationen) und Erinnerungen an zuvor erlebte Ereignisse, die eine Sammlung von Informationen sind, die sich speziell auf eine bestimmte Episode beziehen (episodisches Gedächtnis). Implizite Erinnerungen hingegen werden in der Regel unbewusst über einen bestimmten Zeitraum hinweg erworben. Die Hauptkategorie dieser Art von Gedächtnis wird als prozedural bezeichnet; dazu gehören motorische Fähigkeiten wie das Schreiben.

Das Kurzzeitgedächtnis wurde ursprünglich als ein passives System angesehen, das Informationen, die für die aktuelle Aufgabe relevant sind, vorübergehend speichert. Unter Einbeziehung von Informationen aus dem sensorischen Gedächtnis (sehr kurze Zeitskalen, in der Größenordnung von weniger als einer Sekunde) und dem expliziten Langzeitgedächtnis wurde das Kurzzeitgedächtnis in der Folge als ein System verstanden, das eine aktiver Rolle spielt. Das heute weithin akzeptierte Modell (Baddeley, 1992) erlaubt die vorübergehende Speicherung und Manipulation (unter der Kontrolle einer „zentralen Exekutive“) von Informationen insbesondere in visueller („visuell-räumlicher Notizblock“) und sprachlicher (phonologische Schleife) Form, wobei auch zusätzliche Informationen aus expliziter Vorerfahrung berücksichtigt werden (der episodische Puffer). Ein wichtiges Merkmal des Arbeitsgedächtnisses ist, dass es in seiner Kapazität begrenzt ist, d.h. dass immer nur eine relativ kleine Menge an Informationen gleichzeitig gespeichert werden kann.

Sowohl Kurzzeit-, als auch Langzeitgedächtnis interagieren flexibel, wie das Phänomen des „Chunking“ illustriert: Hierbei handelt es sich um einen Prozess, bei dem Informationen mit ähnlichen Merkmalen (z.B. auf der Grundlage früherer Erfahrungen) zusammengefasst werden können und als „Chunk“ dann bis zu einem gewissen Grad als eigenständige Einheit behandelt werden können. Dies hat Auswirkungen auf die Kapazität. Die klassische Kapazitätsgrenze von „ 7 ± 2 “ Einheiten (Miller, 1956) wird zwar auch heute noch häufig genannt, aber die empirischen Befunde hierzu sind nicht eindeutig (Shiffrin und Nosofsky, 1994). In der Tat haben neurowissenschaftlich fundierte Forschungsergebnisse (z.B. Fuster, 1997; Wood et al., 2012) die enge Integration und Interaktion von Lang- und Kurzzeitgedächtnissystemen sowohl auf der funktionellen als auch auf der zugrunde liegenden neuronalen Ebene betont und die komplexen Interaktionen hervorgehoben, die zwischen verschiedenen Gedächtnissystemen zur Unterstützung der Kognition stattfinden. Man könnte argumentieren, dass das Gedächtnis somit als Substrat für die Kognition fungiert.

Dass Menschen in der Lage sind, sich an Informationen und Fertigkeiten zu erinnern und diese wiederzuerlangen, ist im Zusammenhang mit Bildung von großer Bedeutung: Ohne Aufmerksamkeits- und Gedächtnisfunktionen wäre kein Lernen möglich, wie die Fälle zeigen, in denen diese beeinträchtigt sind (z.B. bei Menschen mit Alzheimer). Durch das Verständnis der Besonderheiten unserer Gedächtnissysteme und ebenso ihres Zusammenspiels können wir einen ersten Einblick gewinnen, wie die Informationsverarbeitung potenziell erleichtert werden kann, z.B. durch eine aufmerksamkeitsstarke Präsentation von Informationen, durch die die Speicherung in unserem Langzeitgedächtnis erleichtert wird, anstatt nur im Kurzzeitgedächtnis zugänglich zu sein, und durch die Berücksichtigung der Grenzen des menschlichen Gedächtnisses, um die Lernenden nicht zu überfordern. Während ältere Theorien der Gedächtnisorganisation die Wiederholung als Mittel zur Konsolidierung von Informationen im Langzeitgedächtnis betont haben mögen, heben neuere Theorien die komplexen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Gedächtnissystemen hervor. Im Idealfall könnte dies zu einer nuancierten Sichtweise auf die Struktur der dem Lernenden dargebotenen Informationen sowie zu einer adäquaten Lehrmethode führen, die das Lernen erleichtert.

3.1.3 Exekutive Funktionen

Neben dem Arbeitsgedächtnis, das unsere Fähigkeit einschließt, Informationen im Gedächtnis zu behalten und im Geiste mit ihnen zu spielen (z.B. wenn man im Geiste Mathe macht), bilden „hemmende Fähigkeiten“ (*Inhibition*) und kognitive Flexibilität die zentralen *exekutiven Funktionen* (Diamond, 2013). Die „hemmende“ Kontrolle der Aufmerksamkeit hilft uns zum Beispiel, die Kontrolle über unsere Aufmerksamkeitsressourcen auszuüben, sodass wir selektiv auf fokale Informationen eingehen können, während wir andere ignorieren. Andernfalls würden wir dazu neigen, nur unseren Impulsen zu folgen, da wir „Gewohnheitstiere“ sind, wie Diamond (2013, S. 136) es ausdrückt. Was die Reaktionen betrifft, so hat die Forschung gezeigt, dass Kinder schnelle, präpotente Antworten geben, wenn sie gedrängt werden, eine Aufgabe zu erledigen. Diese Antworten sind aber oft falsch. Wenn jedoch ein Stimulus von ihrer Sicht abgeschirmt und dadurch die Notwendigkeit einer hemmenden Kontrolle verringert wird, kommen dieselben Kinder im Kontext derselben Aufgabe zu einer richtigen Antwort. Dies wird im klassischen Piaget'schen Paradigma anhand von zwei Bechern veranschaulicht, in die ein Kind die gleichen Flüssigkeitsmengen gießen muss, wobei ein Becher groß und schmal und der andere kurz und breit ist. Typischerweise führt dies bei der Untersuchung dieses Phänomens bei Kindern zu der irrtümlichen Schlussfolgerung, dass der hohe Becher mehr Flüssigkeit enthält als der breite Becher. Untersuchungen von Sozialkonstruktivisten (Friedenberg, 1966) haben jedoch gezeigt, dass Kinder im

Alter von vier bis fünf Jahren diesem Irrtum nicht zum Opfer fallen, wenn sie die Flüssigkeit in einen der Becher füllen, während der andere nicht sichtbar ist.

Die verbleibende zentrale Exekutivfunktion, die wir in diesem Kapitel noch nicht behandelt haben, die kognitive Flexibilität, spiegelt das Zusammenspiel von Prozessen wider, die mit dem Arbeitsgedächtnis und der Inhibition zusammenhängen. Das Konstrukt der kognitiven Flexibilität beinhaltet einen Perspektivenwechsel, der nur möglich ist, wenn eine „alte“ Perspektive aufgegeben und eine neue aus dem Arbeitsgedächtnis abgerufen wird. Kognitive Flexibilität wird von Diamond (2013) als das Gegenteil von Rigidität beschrieben und ist in erfolgreichen Lehr- und Lernszenarien von wesentlicher Bedeutung, da sich nicht nur Lernende flexibel an die wechselnden Anforderungen einer Lernsituation anpassen müssen, sondern auch der Lehrende kognitive Flexibilität demonstrieren muss, indem er einem Lernenden nicht einfach die Schuld für eine falsche Antwort gibt, z.B. im Zusammenhang mit dem erwähnten Piaget'schen Beispiel. Vielmehr kann durch eine veränderte Unterrichtspraxis (z.B. durch Verstecken des zweiten Bechers vor der Sicht des Kindes) die richtige Antwort des Kindes erleichtert und hervorgerufen werden. Auf diese Weise ändert sich die Perspektive von der Betrachtung des Kindes als von Natur aus unfähig, die Aufgabe zu erkennen, hin zur Sichtweise, dass die Aufgabe vom Kind gelöst wird.

■ 3.2 Sozial-kognitive Grundlagen von Interaktionen

Soziale Kognition ist die Gesamtheit der kognitiven und emotionalen Fähigkeiten, die es sozialen Akteuren ermöglichen, sich gegenseitig als soziale Akteure zu erkennen, die Ziele und Absichten des anderen zu verstehen und die psychischen Zustände wie Überzeugungen und Wünsche des anderen wahrzunehmen (Gallagher, 2008). Es ist auch die Gesamtheit der zwischenmenschlichen Prozesse, die es mehreren Akteuren ermöglichen, sinnvoll miteinander zu kommunizieren, ihr Verhalten auf ein gemeinsames Ziel hin zu koordinieren und eine Erfahrung oder eine Motivation zum Handeln zu teilen. In den folgenden Abschnitten stellen wir daher die Begriffe Empathie und Nachahmung, „Theory of Mind (ToM)“, Anthropomorphismus sowie nonverbale Kommunikation vor und veranschaulichen, warum diese Begriffe entscheidend sind, um Bildung effektiv und die Mensch-Roboter-Interaktion erfolgreich zu gestalten.

3.2.1 Empathie

Wenn wir Empathie erfahren, versetzen wir uns in die Lage des anderen. Die grundlegende Fähigkeit des Menschen, die im Verhalten von anderen wahrgenommenen Absichten und Emotionen zu erkennen und sich sinnvoll darauf einzustellen, ist integraler Bestandteil unserer sozialen Kognition. In den frühesten Entwicklungsstadien des Lebens stützt sich die soziale Kognition in erster Linie auf verkörperte interaktive Prozesse und direktes sensomotorisches Engagement (Meltzoff und Decety, 2003). Die direkte Wahrnehmung anderer psychischer Zustände ist kognitiv einfach, wie das frühe Auftauchen in der Ontogenie und Phylogenie vor der Entstehung von Sprache und komplexen meta-repräsentativen Fähigkeiten bezeugt (De Jaegher, 2009). Die einfachsten bis hin zu den ausgefeilten Formen der intersubjektiven Einstimmung – diese können kognitiv anspruchsvolle Prozesse wie Meta-Repräsentationen, induktive Inferenzen und Sprache beinhalten – beruhen letztlich auf der grundlegenden Fähigkeit des Menschen, das Verhalten anderer subjektiv zu erfahren (De Jaegher et al., 2010).

Die frühesten sozialen Fähigkeiten sind mit Nachahmung verbunden. Meltzoff (2002) bemerkte, wie Neugeborene Gesichtsausdrücke – wie das Zungerausstrecken und das Öffnen des Mundes – von Erwachsenen imitieren. Dies ist relativ besonders, da es bedeutet, dass das Kind die Fähigkeit besitzt, die Beobachtung der Verhaltensweisen anderer mit seinen eigenen motorischen Handlungen zu verknüpfen. Trevarthen (1979) bemerkte, dass Neugeborene jeweils nur mit einem Objekt oder einer Person interagieren. Er nannte dies primäre Intersubjektivität. Dies ermöglicht ein direktes „Zweite-Person“-Verständnis des Anderen (Gallese, 2013), das auf einer direkten und wechselseitig exklusiven Auseinandersetzung mit ihnen beruht. Den Gegensatz dazu bildet das „Dritte-Person“-Verständnis, das charakteristisch für die sogenannte „sekundäre Intersubjektivität“ ist, die komplexere soziale Beziehungen umfasst und die durch gemeinsame Aufmerksamkeit und koordinierte, auf ein äußeres Objekt konzentrierte Praktiken vermittelt wird.

Die Nachahmung ist grundlegend für die innere Erfahrung, die als „Empathie“ bezeichnet wird, ein psychologischer Begriff, der etymologisch mit dem deutschen Wort „Einfühlung“ (Erleben durch den Körper eines anderen oder Erleben des anderen durch den eigenen Körper) verwandt ist. Empathie wird oft als die Fähigkeit beschrieben, die Welt aus der Perspektive eines anderen zu erleben (Zahavi, 2012). Einigen Philosophen zufolge ist sie absolut grundlegend und in unsere eigenen Wahrnehmungsfähigkeiten eingebaut (Zahavi, 2010), da jede subjektive Erfahrung der Welt implizit die Möglichkeit eines ganzen Horizonts hypothetischer Erfahrungen anspricht, die von anderen Subjekten aus unterschiedlichen Blickwinkeln wahrgenommen werden.

Empathie wurde als ein analoger Prozess definiert, weil sie voraussetzt, dass die eigene gelebte Erfahrung als Modell verwendet werden kann, um sich an die von

anderen gelebte Erfahrung anzunähern. Daher würden größere Ähnlichkeiten zwischen den Subjekten mit stärkeren empathischen Veranlagungen und besseren Fähigkeiten des gegenseitigen Verständnisses verbunden sein. Zugleich soll es als „gelebte Analogie“ („*analogie vécue*“, wie Ricoeur und Jarczyk (1991) es nennen) verstanden werden. Diese stützt sich nicht auf rationale Schlüsse, sondern auf Ähnlichkeiten zwischen der eigenen und der verkörperten Erfahrung des anderen (d.h. die Art und Weise, wie die Welt subjektiv als Funktion des Vorhandenseins eines bestimmten Körpers, der nur bestimmte Handlungsmöglichkeiten zulässt, und spezifischer qualitativer Erfahrungen erscheint). Die psychologische Forschung über Empathie hat verschiedene Stränge oder Ebenen dieses Phänomens aufgezeigt. Sie unterscheidet sie anhand der Art der Erfahrung, die mit jemand anderem geteilt wird, sowie der Ebene ihrer Übereinstimmung (Decety, 2015). Wir unterscheiden zwischen einer kognitiven Empathie (die eine perspektivistische Wahrnehmung ermöglicht und eine intellektuelle Simulation der Inhalte der Überzeugungen und Absichten des anderen erfordert) und einer affektiven Empathie (die hauptsächlich auf der Simulation der sensorischen und emotionalen Erfahrungen des anderen beruht und einen gemeinsamen Hintergrund gelebter Erfahrungen erfordert). Kognitionswissenschaftler haben Empathie als einen Prozess der „verkörperten Simulation“ modelliert, d.h. als einen weitgehend automatischen Prozess, der sich auf die eigenen früheren Erfahrungen stützt, um einer – von anderen gelebten – Erfahrung einen Sinn zu geben (Gallese, 2008).

Einfühlungsvermögen ist der Schlüssel zu menschlichen Beziehungen. Es bietet eine Grundlage gemeinsamer Erfahrungen und Kompetenzen, um soziale Interaktionen und menschliche Kommunikation zu regulieren (Feshbach, 1978). Vor einem solchen Hintergrund ermöglicht die Empathie, Gefühle und Emotionen anderer zu verstehen und auf Handlungen synchron zu reagieren. Nach Hoffman (1984) manifestiert sich Empathie zunächst auf der affektiven Ebene. Während des ersten Lebensjahres zeigen Kinder primär zirkuläre Reaktionen und motorische Mimikry, indem sie die Emotionen, die sie beobachten, innerlich imitieren (z.B. indem sie weinen, wenn ein anderer Säugling weint). Ihre emotionale Reaktion ist jedoch unfreiwillig und undifferenziert (globale Empathie) (Hoffman, 1984). Später entwickelt sich diese Fähigkeit zu einer vollwertigen, selektiven Imitationsfähigkeit.

Einfühlungsvermögen spielt eine entscheidende Rolle in der Lern- und Lehrpraxis, da es eine der Schlüsselkomponenten der Beziehung zwischen Lehrendem und Lernendem und eine Voraussetzung für ihre gegenseitige Einstimmung ist: Der Lehrende braucht Einfühlungsvermögen, um dem Lernenden Motivation und Ziele zu vermitteln, der Lernende, um dem Lehrenden seine Bedürfnisse und Probleme mitzuteilen.

Aus diesem Grund wurde Empathie aufgrund ihrer Bedeutung für die Herleitung einer reibungsloseren Interaktion in mehreren Studien zur Mensch-Roboter-Interaktion erforscht und reflektiert. Im Bildungskontext stellten beispielsweise Obaid

et al. (2018) Forschungen über den Einsatz eines Roboter-Tutors mit empathischen Fähigkeiten vor. Ihre Arbeit war Teil des europäischen Projekts EMOTE¹, das sich speziell auf die Erforschung des auf Empathie basierenden Lernens mit Roboter-Tutoren konzentrierte.

3.2.2 Nachahmung

Da Empathie ein grundlegender Mechanismus des gegenseitigen Verstehens und der Koordination ist, ist sie auch der Schlüssel zur Entwicklung von „Nachahmung“. Durch Nachahmung beginnen Säuglinge, Äquivalenzen zwischen sich selbst und anderen zu erfassen. Äquivalenzen stellen einen elementaren Mechanismus dar, die frühe Entwicklung der „sozialen Kognition“ zu stützen (Meltzoff und Moore, 1977), d.h. diejenigen kognitiven Prozesse, die wir in Gang setzen, um uns mit anderen abzustimmen und deren Ziele und Absichten zu verstehen. Die übergreifende Übereinstimmung zwischen den Handlungen, die wir bei anderen sehen, und den Handlungen, die wir selbst ausführen, erlaubt, die Handlungen des anderen in meinem Körper zu spüren und meine Handlungen in seinem Körper widergespiegelt zu sehen. Dies führt zu der analogen Darstellung des anderen als eine „wie ich“-Einheit: Ich verstehe die Absichten des anderen, weil ich wie er handeln würde, wenn ich in seiner Situation wäre. Umgekehrt kann der andere meine Absichten insofern verstehen, als meine Handlungen mit dem übereinstimmen, was er in der gleichen Situation tun würde (Meltzoff und Brooks, 2001).

Gemeint ist: Ich weiß, was der andere meinen oder fühlen könnte, weil die beobachteten Handlungen und die damit verbundenen Gefühle im Repertoire der motorischen Reaktionen, die ich gewohnt bin, abgebildet sind. Der physiologische Mechanismus, durch den diese Übereinstimmung möglich ist, wird durch eine bestimmte Klasse von visuell-motorischen Neuronen, die als Spiegelneuronen bezeichnet werden, unterstützt (Rizzolatti et al., 1996). Durch die Aktivierung dieser Neuronen in präfrontalen und parietalen Hirnarealen und dank ihrer Verbindung zu tiefen Strukturen, die an der Emotionsverarbeitung beteiligt sind, wie die *Insula* (Di Cesare et al., 2016), wird die Handlungsbeobachtung automatisch in die unmittelbare Wahrnehmung des Handlungsziels des anderen übersetzt, was bereits ein verkörpertes, vorreflektiertes Verständnis der Umstände, die diese Handlung motivieren, und der damit verbundenen Emotionen und Gefühle einschließt. Diese Art des Verstehens, das durch die Teilnahme an den sichtbaren Aspekten des Verhaltens des anderen (d.h. Gesichtsausdruck, Körperhaltung, Bewegungsdynamik) vermittelt wird, kann als prä-reflektierend definiert werden. Es erfordert weder eine explizite Wahrnehmung noch die Notwendigkeit einer konzeptuellen Darstel-

¹ <http://www.emote-project.eu/>

lung, um verbal über die eigenen Handlungen zu berichten. Da Spiegelneuronen einen Schlüsselmechanismus für die zwischenmenschliche Abstimmung und soziale Koordination darstellen, haben an der Reproduktion von Empathie und Imitation interessierte Robotiker biologisch inspirierte Modelle der Funktion von Spiegelneuronen entwickelt. Sie basieren auf der Fähigkeit eines Roboters, die sensomotorischen Fähigkeiten eines beobachteten Anderen in seinem eigenen Aktionsrepertoire zu modellieren (Metta et al., 2006).

Bevor der Mensch den Gebrauch von Sprache und Begriffen beherrscht, hat er bereits ein verkörpertes Wissen über das Verhalten eines Gegenübers. Wenn Sie Ihren Partner lächelnd, lachend, weinend oder enttäuscht sehen, wissen Sie im Grunde sofort, wie er sich fühlt und wie es sich anfühlt, selbst in dieser Situation zu sein. Diese Art von Wissen ist kein Ergebnis vertieften Nachdenkens, sondern hier manifestiert sich eine automatische körperliche Reaktion auf Gefühle und Zustände des Gegenübers, die – wie in uns einprogrammiert – sofort eine Entsprechung auf körperlicher Ebene finden. Die soziale Bedeutung von *Embodiment* zeigt sich schon bei den ersten Versuchen von Neugeborenen, Gesichtsausdrücke zu imitieren (Meltzoff und Moore, 1977). Wichtig ist, dass Imitation nicht nur als sehr frühreif, wenn nicht sogar als angeboren definiert werden kann, wie manche behaupten würden, sondern auch, und das ist wichtig, als zielgerichtet und absichtsvoll. Neugeborene zeigen schon sehr früh imitierende Verhaltensweisen, die mit fortschreitender Entwicklung immer abstrakter werden: Es handelt sich nicht nur um eine Verhalten-zu-Verhalten-Imitation, sondern es wird zu einem Verhalten, das „passt“ (Meltzoff und Decety, 2003). Dies ist der Zeitpunkt, an dem Säuglinge beginnen, bestimmte Bewegungen zu machen und zu beobachten, ob die Bezugsperson das Gleiche auf die gleiche Weise tut. Das Verständnis der Aufmerksamkeit (der andere schaut, ohne zu handeln; eine Haltung, die eine distanzierte Beziehung offenbart) scheint sich nach dem ersten Lebensjahr zu entwickeln. Es handelt sich also nicht nur um eine „Blickverfolgung“ in einem rein imitativen Sinne (Nachahmung der groben Kopfbewegung): Es ist eher eine „Aufmerksamkeitsverfolgung“, bei der der Fokus und das Interesse des anderen im Auge behalten wird (siehe Shepherd und Cappuccio, 2011; Cappuccio und Shepherd, 2013). „[...] Die visuelle Wahrnehmung der anderen selbst zu verstehen, könnte von der Erfahrung profitieren, sich selbst als Betrachter/Rezipient zu erleben“ (Meltzoff und Brooks, 2001, S. 190). Wenn diese Fähigkeit erworben ist, beginnt sich das Gefühl der Handlungsfähigkeit herauszubilden.

Schließlich kommt ein weiterer Baustein zur sozialen Interaktion hinzu, nämlich das Intentionsverständnis. *Zeigen, geteilte Aufmerksamkeit, Zuweisen von Handlungsfähigkeit* und *Rollenspielfähigkeit* sind allesamt Marker für das Verständnis von Absicht. Nachahmung ist dem Lernprozess so inhärent und von so grundlegender Natur, dass sie sich auch auf die Interaktion mit Robotern stark auswirkt, insbesondere im klinischen und pädagogischen Umfeld.

Zur Veranschaulichung wurde dies in einer Forschungsstudie gezeigt, in der rechnergestützte Modellierung und eine Roboterimplementierung verwendet wurden, um den funktionalen Wert der Handlungsnachahmung zu untersuchen (Boucenna et al., 2016). Indem Erwachsene, Kinder mit typischer Entwicklung und Kinder mit einer Autismus-Spektrum-Störung eine Imitationsaufgabe mit einem Roboter durchführten, wurde gezeigt, dass eine Lernarchitektur in der Lage war, aus einer Interaktion zu lernen, die eine gegenseitige Imitation umfasste. Interessanterweise ermöglichte die gegenseitige Nachahmung dem Roboter, den Interaktionspartner in einer späteren Begegnung zu erkennen. Darüber hinaus war der Roboter in der Lage, die sozialen Charakteristika der Interaktionspartner zu unterscheiden (d.h. ein sich typisch entwickelndes Kind, ein Kind mit einer autistischen Störung und einen Erwachsenen). Experimente, bei denen Roboter als Werkzeuge zur Modellierung der menschlichen kognitiven Entwicklung eingesetzt werden, zeigen im Wesentlichen, wie Personenerkennung durch nachahmende Erfahrung und Körper-Mapping – wie oben in diesem Abschnitt beschrieben – erfolgen kann.

3.2.3 Theorie des Geistes (Theory of Mind, ToM)

Kinder erleben im zweiten Lebensjahr etwas, was egozentrische Empathie (Hoffman, 1984) genannt wird. In dieser Phase bieten Kinder Hilfe an, wenn sie z.B. ein anderes Kind weinen sehen. Die Art der Hilfe, die sie anbieten, wird durch das motiviert, was sie selbst als tröstlich empfinden würden, und in diesem Sinne ist die gezeigte Empathie egozentrisch. Das Kind erachtet den anderen immer noch als „wie ich“, was die Unreife im Hinblick auf die Fähigkeit widerspiegelt, die psychischen Zustände eines anderen Menschen von den eigenen zu unterscheiden.

Im Alter von drei Jahren entwickeln sich Rollenübernahmefähigkeiten, die die kognitive Fähigkeit des Kindes widerspiegeln, zwischen sich selbst und anderen zu unterscheiden. Die Kinder beginnen sich bewusst zu werden, dass sich die Gefühle anderer Menschen von den eigenen unterscheiden können. In diesem Zusammenhang können die Reaktionen des Kindes auf Notlagen den Bedürfnissen der anderen Person besser entsprechen. Die Entwicklung einer Theorie des Geistes (Theory of Mind, ToM) markiert diese Reifezeit (Marchetti et al., 2019). ToM ist eine kognitive Kompetenz, die seit mehr als 40 Jahren als diejenige menschliche Funktion untersucht wird, die Individuen befähigt, an die psychischen Zustände anderer zu denken, wie z.B. Gedanken, Absichten, Motivationen, Wünsche und Emotionen, die dem Verhalten der Anderen zugrunde liegen (Wimmer und Perner, 1983). Durch die Zuschreibung von Geisteszuständen können Menschen die Gedanken und Handlungen anderer unter Berücksichtigung eines bestimmten Kontextes, einer bestimmten Kultur und der Identität der Person vorhersagen und angemessen darauf reagieren. Frühere Forschung hat inzwischen die Bedeutung der ToM

für die Entwicklung sozialer Kompetenzen gezeigt: Durch die ToM kann ein Individuum seine eigenen und die psychischen Zustände anderer Menschen verstehen, was ihm erlaubt, sein eigenes und das Verhalten anderer auf der Grundlage solcher Meta-Darstellungen vorherzusagen und zu interpretieren (Perner und Wimmer, 1985; Premack und Woodruff, 1978).

Kinder entwickeln diese Fähigkeit in den ersten Lebensjahren, etwa im Alter von vier bis sechs Jahren. Diese Entwicklung ist nicht plötzlich, sondern geht von einer Phase des Verstehens der konkreten Welt in eine Phase der mentalen Repräsentation über, auch dank der Entwicklung von Prozessen und Verhaltensweisen, die als Vorläufer der ToM erkannt werden (Marchetti et al., 2019). Dazu gehören gemeinsame Aufmerksamkeit und referentielle Kommunikation. Im Laufe der Entwicklung wird die ToM zunehmend komplexer. Zum Beispiel beinhaltet die ToM erster Ordnung ein rekursives Denken, das die Meta-Repräsentation oder die Repräsentation einer mentalen Repräsentation von geringem Komplexitätsgrad impliziert, also „Ich denke, dass du denkst ...“. Kinder zeigen diese Kompetenz mit dem Auftauchen von „falschen Überzeugungen“, dem Verständnis, dass andere nicht unbedingt die gleichen Dinge wissen. Die ToM zweiter Ordnung impliziert ferner eine Meta-Darstellung von höherer Komplexität, von der Art „Ich denke, dass du denkst, dass er denkt ...“. Typischerweise haben Kinder im Alter von sieben Jahren und älter diese Kompetenz, obwohl sie auch in einem früheren Alter auftauchen kann. Wichtig für das Verständnis einer ToM ist, dass Kinder, unabhängig von der Kultur, explizit verstehen lernen, dass das Handeln von Menschen durch das, was sie denken, und nicht nur durch die Realität selbst bestimmt wird (Wellman et al., 2001; Wellman, 2018).

Welche Rolle spielt die Theory of Mind in der Bildung? Wie von Wellman (2018), einem herausragenden Gelehrten auf dem Gebiet der ToM, grundlegend argumentiert wird, hat die Entwicklung der ToM weitreichende und bedeutende Auswirkungen auf die Bildung. Dazu gehören die Auswirkungen von ToM-Fähigkeiten auf die Freundschaften und die Popularität von Kindern, ihr Engagement im Lügen und Täuschen, ihre Spielfähigkeiten, ihre Strategien zum Überreden oder zum Streiten mit anderen sowie beim Übergang zur Schule. Darüber hinaus werden die kognitiven Fähigkeiten und Handlungen von Kindern beeinflusst, wenn sie ToM-Erkenntnisse erwerben. Die Bereiche, in denen die ToM nachweislich eine bedeutende Rolle in der Bildung spielt, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Lernstrategien und Gedächtnis,
- akademische Leistung,
- akademische Motivation,
- Leseverständnis und mathematische Fähigkeiten,
- Sensibilität für Lehrer-Feedback.

Zum Beispiel haben Längsschnittstudien (Lecce et al., 2011, 2014) gezeigt, dass eine frühe ToM-Kompetenz im Alter von fünfeinhalb Jahren die späteren schulischen Leistungen im Alter von zehn Jahren vorhersagt, operationalisiert im Hinblick auf die Lese- und Mathematikfähigkeiten der Kinder sowie die schulischen Leistungen insgesamt. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Sensibilität für das Feedback von Lehrpersonen im Alter von zehn Jahren durch ein verbessertes ToM-Verständnis im Alter von fünf Jahren beeinflusst wird. Verständlicherweise hat die Fähigkeit, auf Lehrer-Feedback zu reagieren, einen erheblichen Einfluss auf die schulischen Leistungen.

Die Bedeutung von ToM für die Mensch-Roboter-Interaktion wird deutlich, wenn man über eine Zukunft nachdenkt, in der Roboter in Bildungsumgebungen autonom agieren können. Es gibt Hinweise darauf, dass Kinder, die eine ToM-Fähigkeit entwickelt haben, den Roboter als ein einfaches Werkzeug betrachten, das für bestimmte Anwendungen programmiert ist (Di Dio et al., 2018, 2020a). Stellen wir uns jedoch einen Roboter mit einer eigenen ToM vor. Die Ausstattung des Roboters mit ToM-Fähigkeiten würde es ihm nicht nur ermöglichen, in einem bestimmten Kontext korrekt zu interagieren, sondern auch von Menschen als ein absichtsvoll handelnder und pädagogisch wirksamer sowie vertrauenswürdiger Partner erkannt und daher auch behandelt zu werden. In diesem durchaus optimistischen Zukunftsszenario würde die Untersuchung von ToM-Mechanismen neben ihren Vorläufern in der Kindheit (z.B. gemeinsame Aufmerksamkeit, Rollenspielfähigkeiten, Blickkontakt usw.) die Implementierung kognitiver neuronaler Netze in Robotern ermöglichen, die menschlicher ToM ähneln. Erste Schritte in diese Richtung wurden bereits im Rahmen der Entwicklungsrobotik (Vinanzi et al., 2019; Manzi et al., 2020a) und der Entwicklungskybernetik (Itakura, 2008; Itakura et al., 2008; Moriguchi et al., 2011; Wang et al., 2020) unternommen.

3.2.4 Anthropomorphismus

Menschen haben eine Neigung, sowohl Lebewesen (z.B. Tieren) als auch nicht-menschlichen Entitäten (z.B. unbelebten Objekten) menschenähnliche Eigenschaften und Merkmale zuzuschreiben (Epley et al., 2007). Erinnern Sie sich zum Beispiel an die Zeiten, in denen Sie wütend mit Ihrem Computer oder Auto gesprochen haben, oder wenn Sie ein Kind mit einer Puppe spielen sahen, als wäre es ein echtes Baby. In beiden Fällen laufen automatische Prozesse ab (Zlotowski et al., 2018).

Bereits Piaget (1929) wies darauf hin, dass Kinder unter sechs Jahren dazu neigen, Objekten Bewusstsein zuzuschreiben – nämlich die Fähigkeit, zu fühlen und wahrzunehmen – und, dass Kinder auch jene Dinge als „lebendig“ betrachten, die von Erwachsenen als unbelebt angesehen werden. Dieses Phänomen wird Animismus genannt.

In ähnlicher Weise ist die Pareidolie, d.h. die Interpretation eines wahrgenommenen Reizes als etwas für den Beobachter Bedeutungsvolles, mit dem Anthropomorphismus verwandt. Zum Beispiel zu meinen, ein Gesicht in Wolken zu sehen oder ein Gesicht in der Anordnung von nur wenigen Punkten auszumachen. Experimentelle Befunde deuten darauf hin, dass dieser Effekt auf die automatische Verarbeitung im visuellen System zurückzuführen ist, die früher eingreift als die Zuschreibung komplexerer mentaler Merkmale wie Lebhaftigkeit und Handlungsfähigkeit. Sie kann daher von Roboterdesignern leicht ausgenutzt werden, da die Gestaltung selbst minimalistischer synthetischer Gesichter zu anthropomorphen Zuschreibungen führt.

Ein verwandter Effekt ist die Zuschreibung von Handlungsfähigkeit an unbelebte Objekte, wobei ihr Aussehen nicht notwendigerweise komplex sein muss. Ihr Verhalten reicht bereits. Der Umgang mit diesen Objekten suggeriert, dass ihnen ein gewisses Maß an Autonomie und Handlungsunabhängigkeit zugeschrieben wird. Eines der eindrücklichsten Beispiele dafür sind die klassischen Animationen von Heider und Simmel (1944), die zeigen, wie die Bewegung einfacher Formen leicht zur Interpretation dieser Formen als Akteure mit Emotionen (Angst, Aggression usw.) führt. In Anwendung dieser Idee auf Roboter zeigten Asselborn et al. (2017), dass ein kleiner, nur wenige Bewegungen beherrschender humanoider Roboter höhere Bewertungen hinsichtlich Freundlichkeit und Menschenähnlichkeit erhielt.

Duffy (2003) und Epley et al. (2007) geben einen Überblick über die Prinzipien, die die Zuschreibung menschenähnlicher Merkmale an nichtmenschliche Entitäten determinieren. Das Drei-Faktoren-Modell des Anthropomorphismus von Epley et al. (2007) hat als wichtiges psychologisches Rahmenmodell beispielsweise eine Vielzahl an empirischen Forschungsarbeiten angeregt.

Die Forschung im Bereich der sozialen Robotik hat beispielsweise gezeigt, dass Anthropomorphismus mit einem höheren Grad an Sympathie und wahrgenommener Intelligenz des Roboters korreliert, was wiederum ein stabileres Vertrauen und Interesse voraussagt. Wenn ein nichtmenschliches Wesen jedoch hyperrealistisch erscheint, kann dieser Effekt beim menschlichen Wahrnehmer unheimliche und beunruhigende Gefühle hervorrufen. Dies wird oft als „*Uncanny Valley*“-Effekt bezeichnet (Mori et al., 1970; Carpenter et al., 2006; Zlotowski et al., 2013, 2015). Es wurde jedoch argumentiert, dass die Kurve, die die Beziehung zwischen der Menschenähnlichkeit des Roboters und der Sympathie gegenüber dem Roboter beschreibt, eher einer Klippe als einem Tal ähnelt (Bartneck et al., 2007a).

Gleichzeitig erleichtert das Vorhandensein menschenähnlicher Merkmale und Verhaltensweisen bei nichtmenschlichen Entitäten einfühlsmale Reaktionen. Im weiteren Verlauf des Kapitels konzentrieren wir uns auf die Rolle der sozialen Signale, die die Mensch-Mensch-Interaktion und -Kommunikation erleichtern. Als solche können diese sozialen Signale ebenfalls zu erfolgreichen Interaktionen zwischen Menschen und Robotern in Bildungskontexten beitragen.

3.2.5 Nonverbale Kommunikation

Zu den nonverbalen sozialen Hinweisen gehören der Gesichtsausdruck von Emotionen, der Blick, Gesten, die Körperhaltung und Proxemik – die Entfernung und der Winkel, in dem wir zu anderen stehen. Die Relevanz dieser sozialen Signale wird besonders deutlich, wenn man einer Person begegnet, die den richtigen Gebrauch einiger oder sogar aller dieser Kompetenzen nicht kennt oder „korrekt“ ausführt. Stellen Sie sich eine Lehrperson vor, die einen Vortrag hält, ohne Augenkontakt herzustellen. Würden Sie ihr während der gesamten Dauer einer Unterrichtsstunde zuhören? Stellen Sie sich vor, diese Lehrperson gibt Ihnen ein positives Feedback, wobei die verbale Botschaft nicht mit dem nonverbalen Ausdruck übereinstimmt. Würden Sie diesem Feedback vertrauen? Diese Szenarien veranschaulichen die zentrale Rolle von nonverbalen sozialen Hinweisen für eine effektive Interaktion zwischen Menschen.

Gesichtsausdrücke

Eines der am häufigsten untersuchten nonverbalen sozialen Signale ist die Emotionsdarstellung. Der innere emotionale Zustand eines Individuums wird oft, aber nicht immer, durch den Gesichtsausdruck und insbesondere durch die dynamische Aktivierung der Gesichtsmuskeln angezeigt. Das Erkennen des inneren emotionalen Zustands einer anderen Person durch den Blick ins Gesicht ist ein automatischer Prozess, der sich möglicherweise auf unsere Fähigkeit zur Nachahmung und unsere ToM stützt.

Eine der populärsten Ansichten über menschliche Emotionen, die auf die Arbeiten von Ekman (1975) zurückgeht, ist, dass es sechs universelle Gesichtsausdrücke und damit sechs allgemein anerkannte Emotionen gibt: Freude, Trauer, Überraschung, Wut, Ekel und Angst. Dies ist jedoch nicht ganz korrekt, da es mehr Ausdrücke gibt, die in allen Kulturen anerkannt sind. Ekman glaubte, dass es 15 Grundemotionen gibt, darunter Stolz auf die Leistung, Erleichterung, Zufriedenheit, Sinnesfreude und Scham. Die genaue Zahl ist irrelevant, es genügt zu sagen, dass Emotionen oft durch Gesichtsausdrücke geäußert werden, ob absichtlich oder nicht. Zur Beschreibung von Gesichtsausdrücken stellten Ekman und Friesen (1978) das *Facial-Action-Coding-System* (FACS) vor, ein Notationssystem zur Untersuchung von Muskelaktivität auch auf Mikroebene. FACS kommt nicht nur in der Emotionsforschung, sondern auch in der sozialpsychologischen Forschung zum Einsatz. Das FACS hat nicht nur die Analyse des Gesichtsausdrucks von Emotionen inspiriert, sondern auch die Entwicklung von Emotionssynthese- und Erkennungssystemen in Avataren und Robotern.

Blickverhalten

Das Blickverhalten ist eine wesentliche nonverbale Komponente bei erfolgreichen Interaktionen zwischen Menschen. Der Blick erleichtert die Synchronisierung und Ausrichtung der Kommunikation, einschließlich des Sprecherwechsels bei Gesprächen zwischen Menschen. Der Blick reflektiert auch Aufmerksamkeitsprozesse, einschließlich der gemeinsamen Aufmerksamkeit. Das heißt, wenn Menschen dasselbe Objekt von Interesse betrachten. Geteilte Aufmerksamkeit ist der Schlüssel zu sozialen Interaktionen im Allgemeinen und zum Lernen im Besonderen, weil sie den Menschen hilft, ihre Handlungen zu koordinieren.

Gesten

Neben der Mimik als Indikator für den inneren Zustand eines Individuums stellen Gesten einen wichtigen Kanal der nonverbalen Kommunikation dar. In der Literatur wurden Gesten in verschiedenen Taxonomien kategorisiert, wie z.B. in den Arbeiten von Efron (1941) sowie Ekman und Friesen (1969). Sie definierten Gestenkategorien, um das menschliche gestische Verhalten in der sozialen Kommunikation verstehen zu können. Eine gebräuchlichere Kategorisierung wurde von McNeill (1985) und McNeill (1992) vorgeschlagen, um die gestische Kategorisierung als fünf Arten von Gesten zu definieren und jede Geste in vier Phasen einzuteilen.

Proxemik

Die zwischenmenschliche Distanz und Orientierung zwischen Individuen haben eine wichtige Funktion, da sie indirekt Informationen über die Einstellung zu einer anderen Person und die Beziehung zwischen Individuen vermittelt. Frühe Arbeiten von Par (1924) haben die zeitgenössische Theoriebildung beeinflusst, wobei Halls Taxonomie der Proxemik (Hall, 1966) noch heute einflussreich ist. Er schlug vier zwischenmenschliche Zonen vor, wobei die intime Zone die nächstgelegene ist, gefolgt von der persönlichen, der sozialen und der öffentlichen Zone.

Körperhaltung

Die Körperhaltung spielt eine bedeutende Rolle in der nonverbalen Kommunikation zwischen Menschen. Als solche stellt die Körperhaltung viel mehr dar als die bloße physische Position der Körperteile. Tatsächlich liefert die Körperhaltung „verkörperte“ Informationen über die Einstellungen, den emotionalen Zustand oder das Interesse eines Individuums. Einen Überblick über die Verwendung von Körperhaltungen als Kommunikationsmittel im Unterricht haben Caswell und Neill (2003) gegeben. Zum Beispiel kann ein Lehrer mit den Händen auf den Hüften oder mit verschränkten Armen nonverbal kommunizieren, dass er mit dem Verhalten eines Kindes möglicherweise nicht zufrieden ist. Ein Lehrer, der sich zu einem Kind hinneigt, kann besonderes Interesse am Verhalten des Kindes zeigen.

■ 3.3 Demografische Daten

Eine Reihe von individuellen demografischen Faktoren beeinflussen zudem unsere Interaktionen, sowohl mit anderen Menschen als auch mit sozialen Robotern (Flandorfer, 2012). Im Kontext des Einsatzes von Robotern im Bildungssektor wiederum sind diese zentralen sozialen Kategorien und die damit verbundenen Informationen wichtig, um menschenzentrierte, personalisierte Technologien entwickeln zu können und auf diese Weise eine hohe Akzeptanz seitens der Nutzer zu gewährleisten. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn es darum geht, personalisierte und „integrative“ Systeme zu entwickeln, letztlich Szenarien für Bildungsroboter, die die unterschiedlichen Bedürfnisse verschiedener Benutzer ansprechen und adressieren. Im kommenden Abschnitt werden wir uns auf die drei demografischen Kernvariablen konzentrieren, nämlich Geschlecht, Alter und ethnische Zugehörigkeit (Fiske, 1998). Tatsächlich haben Geschlecht, Alter und Ethnizität einer Person Auswirkungen auf die menschliche Kognition, die Gemütsregungen und das Verhalten, da diese sozialen Kategorien bei der Eindrucksbildung verwendet werden und das Verhalten gegenüber anderen prägen. Im Wesentlichen bestimmt die Zugehörigkeit zu einer bestimmten sozialen Gruppe (z.B. eine ältere farbige Frau zu sein), wie wir die Welt sehen und wie andere uns sehen. Diese Merkmale sind daher sowohl im Alltag als auch im Forschungskontext von wesentlicher Bedeutung.

3.3.1 Biologisches und soziales Geschlecht (Sex und Gender)

Die Berücksichtigung des Geschlechts und der Geschlechtszugehörigkeit einer Person, d.h. biologischer versus sozial konstruierter Eigenschaften, ist wichtig, um unser Verständnis des Menschen im Allgemeinen zu bereichern. Sowohl die biologischen Eigenschaften einer Person, als auch das Gender, das psychologische, soziale und kulturelle Faktoren umfasst, haben einen Einfluss darauf, wie wir denken, fühlen und handeln. Zum Beispiel können Stereotype, die mit dem männlichen oder weiblichen Geschlecht verbunden sind, unsere Karriereentscheidungen beeinflussen, sodass wir einen Mangel an weiblichen Studierenden in den Ingenieurwissenschaften und an männlichen Studierenden in den Geisteswissenschaften haben (Scrpanti et al., 2018; Rogers et al., 2006). In diesem Zusammenhang hat sich gezeigt, dass das Geschlecht eines Studierenden geschlechtsspezifische Antworten eines Lehrers hervorruft, dessen Aufmerksamkeit lenkt und sogar seine Benotung beeinflusst. Sekundarschülerinnen erhalten insbesondere im MINT-Unterricht weniger Ermutigung als männliche Schüler (Lavy und Sand, 2015), was sich möglicherweise auf die Leistungen von Frauen in diesen Disziplinen auswirkt (Backonja et al., 2018). Generell sollte in jedem Bereich der wissenschaftlichen

Forschung idealerweise das Geschlecht als zentrale Analyseeinheit einbezogen werden. Bei der Bewertung von Forschungsergebnissen sollte berücksichtigt werden, dass sich diese oft nur auf die Untersuchung von Männern oder nur von Frauen konzentrieren und Befunde somit verzerrt und in ihrer Gültigkeit eingeschränkt sind (Tannenbaum et al., 2019).

3.3.2 Alter

Die sozio-relationale Dynamik verändert sich mit dem Alter dramatisch. Dies ist in hohem Maße auf die Entwicklung emotionaler und kognitiver Kompetenzen zurückzuführen, die die Qualität zwischenmenschlicher Beziehungen prägen. Wenn wir Dreijährige sehen, die in Gruppen sitzen und lebhaft sprechen, beobachten wir höchstwahrscheinlich ein Phänomen, das Piaget (1959) als egozentrisches Sprechen bezeichnete. Kinder sprechen eigentlich nicht miteinander, sondern sind in eine persönliche/private Rede verwickelt, in ihre eigenen Gedanken vertieft. Wenn dagegen ältere Kinder, Teenager oder Erwachsene in einer Gruppe sind, kann man erwarten, dass ein aktiver Austausch stattfindet. Darüber hinaus wird die Qualität des Austauschs und der Gruppendynamik durch den Grad der intellektuellen Reife in Verbindung mit einem bestimmten Alter beeinflusst. Insbesondere im Bildungskontext ist es daher wichtig, sowohl das körperliche als auch das Entwicklungsalter zu berücksichtigen, um auf unterschiedliche Bedürfnisse einzugehen und die Unterrichtsstrategien entsprechend anzupassen.

3.3.3 Ethnizität

Genau wie beim biologischen Geschlecht oder der sozialen Geschlechtszugehörigkeit eines Menschen prägt die Zugehörigkeit zu einer bestimmten ethnischen Gruppe Kognition, Gemütsausdruck und Verhalten in signifikanter Weise. Es kann sein, dass die Zugehörigkeit zu einer sozialen Gruppe mit bestimmten gruppenspezifischen Stereotypen und Vorurteilen einhergeht, die sich auf Eigenschaften oder Fähigkeiten beziehen, die die Person angeblich aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu einer sozialen Gruppe besitzt. Beispielsweise hat die Literatur über stereotype Bedrohung gezeigt, dass weiße Amerikaner im Vergleich zu Afroamerikanern im Sport unterdurchschnittliche Leistungen erbringen, wenn das Stereotyp über ihre sportliche Unfähigkeit und ihre Gruppenzugehörigkeit aktiviert wird (Stone et al., 1999).

■ 3.4 Sind sie wirklich „wie ich“?

Anthropomorphe Agenten passen gut zu der allgemeinen Idee eines sozial kompetenten Beziehungspartners (DiSalvo et al., 2002; Wykowska et al., 2016; Ishiguro et al., 2003). Doch was wissen wir eigentlich über die Wahrnehmung von Robotern durch den Einzelnen? Wie wir bisher gelernt haben, sollte ein sozialer Roboter in einer von Menschen interpretierbaren Weise handeln, um als absichtsvoll handelnder Akteur zu erscheinen. Wenn ein Mensch mit Robotern interagiert, werden dieselben kognitiven Mechanismen aktiv, die wir für die Interaktion mit Menschen verwenden (Cappuccio et al., 2019). Wir reagieren auf das offenkundige Verhalten des Roboters, indem wir seine Bewegungen und Geräusche interpretieren, aber auch die mentalen Prozesse des Roboters konzeptualisieren, indem wir dem Roboter Absichten, Überzeugungen und Emotionen zuschreiben. Darüber hinaus können wir davon ausgehen, dass der Roboter über bestimmte Kompetenzen als Sozialpartner verfügt. Wir fühlen uns aufgefordert, mit dem Roboter so zu interagieren, als könne er wirklich denken, sich erinnern, schlussfolgern und Emotionen empfinden.

Einen Roboter als „Ich-ähnliches Wesen“ wahrzunehmen, trägt sicherlich dazu bei, um eine Bindung zu etablieren. Dies ist umso wahrscheinlicher, wenn menschliche Interaktionspartner den Roboter als einen Akteur mit vermeintlichen kognitiven Fähigkeiten wahrnehmen und somit anthropomorphisieren, anstatt ihn als Werkzeug oder technisches Gerät wahrzunehmen.

Im Rahmen der Forschung zur Vermenschlichung nichtmenschlicher Entitäten wie sozialer Roboter sind Forschende sehr daran interessiert, die Ideen und Vorstellungen der Menschen von den physischen und psychischen Eigenschaften eines Roboters zu bewerten und zu vergleichen. Dieses Forschungsfeld befasst sich nicht nur mit Menschen unterschiedlichen Alters, soziokulturellen Hintergrunds und intellektuellen Fähigkeiten, sondern auch mit verschiedenen Arten von Androiden und anderen Arten von Robotern (z.B. tierähnlichen Robotern). Schließlich ist die Vielfalt zwischen Robotern potenziell größer als die Vielfalt zwischen Menschen. Im Allgemeinen sind Menschen weit davon entfernt zu glauben, dass Roboter in irgendeiner der bisher angesprochenen psychologischen Dimensionen menschlichen Fähigkeiten gleichkommen. Der Roboter wird gemeinhin noch nicht als autonomer, „geistesgegenwärtig“ handelnder Akteur wahrgenommen. Aus Forschungsstudien geht ganz klar hervor, dass seine Fähigkeiten durch vordefinierte Algorithmen bestimmt werden, die seine Bewegungs-, Sprach- und Verhaltensmuster bestimmen und nur eine geringe Sensibilität für den Kontext bei begrenzter Anpassungsfähigkeit zeigen. In einer Studie, die mit Kindern im Alter von drei bis neun Jahren durchgeführt wurde (Di Dio et al., 2020a), wurde der Roboter NAO in allen untersuchten Dimensionen, sei es physisch oder psychologisch, alsweni-

ger kompetent als ein Mensch empfunden. Für Kinder ist der Roboter eine Maschine, die so vorprogrammiert ist, dass sie bestimmte Rollen in einem bestimmten Kontext erfüllt. Nur jüngere Kinder neigen dazu, Robotern Emotionen und Wünsche zuzuschreiben, in Übereinstimmung mit der Idee des Animismus (Piaget, 1959).

Wir können ferner feststellen, dass Kinder im Alter zwischen drei und fünf Jahren den Roboter als stärker intentional oder fähig betrachten, Emotionen zu empfinden als ältere Kinder (Di Dio et al., 2019). Natürlich entwickeln sich die kognitiven Fähigkeiten mit der Zeit, und eine reifere Fähigkeit, den geistigen Zustand des anderen auf objektivere Weise darzustellen, die auf Rückschlüssen auf den tatsächlichen Inhalt ihrer Überzeugungen beruht, macht ältere Kinder widerstandsfähiger gegenüber dem Konzept des Roboters als animierter Agent, der mit seinen eigenen Motivationen und Überzeugungen ausgestattet ist. Dieses Phänomen hängt mit der Entwicklung kognitiver Kompetenzen zusammen, nicht zuletzt mit einer *Theory of Mind*-Fähigkeit, die wesentlich dazu beiträgt, die rein verkörperte und wahrnehmbare Ebene der sozialen Kognition zu transzendieren, indem sie ihr schlussfolgernde und repräsentative Fähigkeiten hinzufügt, die ein reflektierendes Bewusstsein über den eigenen und den mentalen Zustand des anderen ermöglichen.

Es ist bemerkenswert, dass Kinder Robotern in Abhängigkeit von ihren körperlichen Eigenschaften leicht unterschiedliche mentale Kompetenzen zuschreiben (z.B. Marchetti et al., 2018). Durch den Vergleich zweier anthropomorpher Roboter – *NAO* und *Robovie* – wurde festgestellt, dass *NAO* insbesondere für jüngere Kinder zugänglicher erscheint als *Robovie*. Dies untermauert die gemeinsame Tendenz, z.B. den *NAO*-Roboter für Interaktionen mit jüngeren Kindern zu verwenden, da seine Einbeziehung als sozialer und pädagogischer Agent effektiver sein kann als ein weniger ansprechender Roboter. Dennoch erwiesen sich ältere Kinder in Bezug auf die körperliche Leistungsfähigkeit (Handlungsfähigkeit) des Roboters als sensibler als jüngere Kinder. Dies deutet stark darauf hin, dass wir, wenn wir die Kontrolle über das Design eines Roboters haben, im Umgang mit verschiedenen Altersgruppen auf die physischen Eigenschaften des Roboters achten müssen (Manzi et al., 2020a).

Angesichts all dieser Erwägungen stellt sich die Frage, ob (und inwieweit) es wünschenswert ist, dass ein Roboter Merkmale aufweist, die in irgendeiner Weise mit denen des Menschen vergleichbar sind, wie die in diesem Kapitel beschriebenen. Unsere Antwort ist insofern bejahend, als es das Ziel von Robotern in der Bildung ist, Roboter zu schaffen und einzusetzen, die als kompetente, flexible und reaktionsfähige soziale Agenten erscheinen. Kommen wir diesem Ziel näher? Die Antwort lautet: nicht ganz. Forscher aus verschiedenen Bereichen arbeiten gemeinsam daran, Roboter mit einem künstlichen Verstand oder etwas Vergleichbarem auszustatten. Eines der besten Beispiele für einen solchen Versuch ist die Entwick-

lungsrobotik (Cangelosi und Schlesinger, 2018). Diese bahnbrechenden Studien bauen auf der Annahme auf, dass es vielversprechender ist, Robotern die Fähigkeit zu geben, sich dynamisch Wissen aus ihren Interaktionen mit der Umwelt anzueignen, als ihnen einfach das gesamte Faktenwissen einzuprogrammieren, das für eine erfolgreiche Interaktion mit der Umwelt erforderlich ist. Um diese Annahme umzusetzen, haben sich Ingenieure an Theorien der Entwicklungspsychologie orientiert, um Roboter zu bauen, die, wie Kinder, nach und nach durch wiederholte, situierte und verkörperte Erfahrungen ihre sensomotorischen, manipulativ-interaktiven und Kategorisierungsfähigkeiten erwerben. Die Vision, von der sich diese Forschung, die ursprünglich durch die Spekulationen des KI-Propheten Alan Turing (1950) inspiriert wurde, letztlich leiten lässt, ist die, dass Roboter irgendwann in der Zukunft allmählich vermeintlich kognitive Fähigkeiten entwickeln könnten, die unseren eigenen ähnlich sind (siehe Cappuccio, 2016).



Diskussionsfragen

- Warum ist es wichtig, das menschliche Gedächtnis bei der Entwicklung von Anwendungen für die Mensch-Roboter-Interaktion zu berücksichtigen?
- Wie hängt das „Uncanny Valley“ mit dem in diesem Kapitel beschriebenen Anthropomorphismus zusammen? Wie ist es auf Roboterformen und deren Verhalten anwendbar?
- Wie ist die Theory of Mind mit akademischer Leistungsfähigkeit verbunden?
- Was sind die nonverbalen sozialen Hinweise, die in einem Eins-zu-Eins-Lernszenario mit einem Roboter berücksichtigt werden sollten? Warum?



Weiterführende Literatur

- Henry M. Wellman: Theory of Mind: The state of the art. *European Journal of Developmental Psychology*, 15(6):728–755, 2018. <https://doi.org/10.1080/17405629.2018.1435413>.
- John White und John Gardner: The Classroom X-Factor: The power of body language and non-verbal communication in teaching. Routledge, London, 2013.
- Jakub Złotowski, Hidenobu Sumioka, Shuichi Nishio, Dylan Glas, Christoph Bartneck und Hiroshi Ishiguro: Persistence of the uncanny valley: the influence of repeated interactions and a robot's attitude on its perception. *Frontiers in Psychology*, 6:883, 2015. ISSN 1664-1078, doi: 10.3389/fpsyg.2015.00883. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2015.00883>.
- M. Obaid, E. B. Sandoval, J. Złotowski, E. Moltchanova, C. A. Basedow, und C. Bartneck: Stop! That is close enough. How body postures influence human-robot proximity. In: 2016 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), S. 354–361, Aug 2016. doi: 10.1109/ROMAN.2016.7745155.

4

Was macht einen Roboter aus?

„[Robots] learn to speak, write, and do arithmetic. They have a phenomenal memory. If one read them the Encyclopedia Britannica they could repeat everything back in order, but they never think up anything original. They'd make fine university professors ...“

– aus R.U.R., von Karel Čapek



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- ein technischer Überblick über die Hard- und Software eines Roboters.
- Input-Technologien: Wie können Roboter uns „spüren“?
- Output-Technologien: Wie können Roboter mit uns interagieren?

Was mit dem Begriff „Roboter“ gemeint ist, haben wir bereits in den vorhergehenden Kapiteln diskutiert (siehe Kapitel 1). Aus technischer Sicht ähnelt ein Roboter einer verkörperten (d.h. nicht virtuellen, sondern in der realen Welt existierenden) Version eines Computers oder einer Schnittstelle, die in der Lage ist, Aufgaben in der realen Welt auszuführen. Der in Kapitel 5 vorgestellte „Roboter als Werkzeug“ entspricht dieser grundlegenden Definition. Soziale Roboter hingegen sind Roboter, die dazu dienen sind, mit Menschen zu interagieren und zu kommunizieren. Soziale Roboter sind in vielen Bereichen wie etwa der Gesundheitsfürsorge, der Unterhaltung oder dem Gaming, sowie in häuslichen Umgebungen und der Bildung weit verbreitet (siehe Kapitel 8).

Um in der Lage zu sein, mit Menschen in der Umgebung zu interagieren, benötigt ein Roboter spezifische Ein- und Ausgabemechanismen, sogenannte Sensoren bzw. Aktoren. Diese ermöglichen es ihm, Eingaben vom Benutzer oder von der Umgebung zu empfangen und entsprechende Ausgaben oder Rückmeldungen zu erzeugen. In diesem Kapitel betrachten wir die praktischen Aspekte, die bei den Robotertypen, die wir bisher in diesem Buch betrachtet haben, ins Spiel kommen. Dies umfasst Einzelheiten über die Ein- und Ausgabetechnologien und die Verarbeitungssoftware und wird dem Leser ein besseres Verständnis der Komplexität der Einführung von Robotern in den Unterricht vermitteln.

Ganz allgemein können wir zwischen vier Hauptaspekten bei Robotern unterscheiden (Bild 4.1)¹: Der erste Aspekt betrifft den Roboter selbst, nämlich seine Morphologie, und seine Eigenschaften. Zweitens sind die Eingaben (sogenannte Inputs)

¹ Wir nehmen keine besondere theoretische Position gegenüber der Natur der Verkörperung und/oder der Kognition ein – die Reduktion auf nur einen Strom in der Darstellung des Flusses vom Input zum Output ist lediglich einer praktischen Bequemlichkeit geschuldet und dient nur zum Zwecke der einfacheren Erklärung.

gemeint, zu denen der Roboter Zugang hat, d.h., welche Informationen er aus seinem direkten Umfeld erfassen kann. Drittens sind die Ausgaben (sogenannte Outputs) angesprochen, die das Verhalten des Roboters mit seiner Umwelt beeinflussen bzw. bestimmen. Zuletzt soll die Datenverarbeitung genannt werden – das betrifft die Art und Weise, wie Roboter Informationen, sowohl in Bezug auf die Software als auch auf die Unterstützung der Hardware, verarbeiten können. Diese vier Punkte stellen die Struktur des restlichen Kapitels dar.

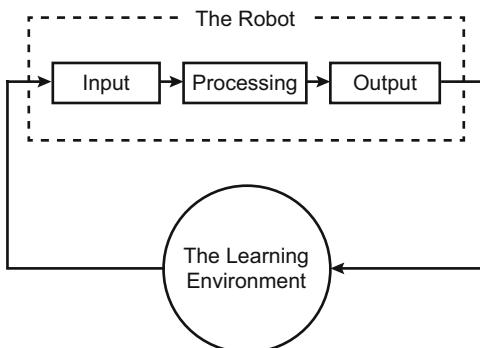


Bild 4.1 Der Roboter im Kontext eines pädagogischen Szenarios.

Vier Aspekte werden identifiziert: 1. der Roboter selbst, 2. die Sinnesmodalitäten, die der Roboter besitzt, 3. die Ausgabemodalitäten und 4. die Verarbeitungsfähigkeiten, die der Roboter erreichen kann (z.B. Verstehen, Entscheidungsfindung usw.)

■ 4.1 Der Roboter

4.1.1 Robotertypen und ihre Steuerung

Wie an anderer Stelle in diesem Buch gezeigt wird, gibt es viele verschiedene Arten von Robotern, die im Bildungsbereich eingesetzt werden (siehe z.B. Kapitel 1). Im Hinblick auf das Erscheinungsbild können wir drei Haupttypen von Robotern unterscheiden, die im Bildungskontext eingesetzt werden: den (typischerweise kleinen) mit Laufrädern versehenden Roboter, den zoomorphen Roboter (d.h. einen Roboter, der tierähnlich aussieht) und den humanoiden Roboter (d.h. einen Roboter, der menschenähnlich aussieht). Es gibt natürlich Überschneidungen zwischen diesen Kategorien, z.B. der humanoide Roboter „Pepper“, der Räder hat. Bei den drei Typen handelt es sich um weit gefasste Unterscheidungen, die einige der Aspekte hervorheben, die bei einer informierten Auswahl bezogen auf eine bestimmte Anwendung mitberücksichtigt werden sollten.

Praktisch gesehen ist es zum Beispiel sinnvoller, einen Roboter auf Rädern zu wählen, wenn der Schwerpunkt der Aufgabe/Aktivität auf der Bewegung liegt – sei es, um zu vermitteln, wie man einen Roboter so programmiert, dass er einer Linie auf einer ebenen Fläche folgt, oder um einen sozialen Roboter zu entwickeln, der auf Menschen in einem Klassenzimmer zugehen kann (Chew et al., 2010). Wenn die Anwendung des Roboters wiederum den Einsatz von für Menschen erkennbaren Gesten erfordert, dann hätte ein humanoider Roboter einige klare Vorteile. Zusätzlich zu diesen praktischen Überlegungen gibt es eine Reihe von eher theoretisch fundierten Gründen, die die Wahl eines bestimmten Robotertyps gegenüber einem anderen beeinflussen würden. Erinnern wir uns an die Neigung von Menschen, leblosen Objekten Handlungsfähigkeit zuzuschreiben (Abschnitt 3.2.4): Die Beschreibung bestimmter Kompetenzen an den Roboter würde von den sichtbaren Merkmalen beeinflusst werden. Wenn der Roboter z. B. Augen besäße, dann könnte sinnvollerweise die Erwartung entstehen, dass er „sehen“ kann. Dabei spielt es keine Rolle, ob hinter den „Augen“ tatsächlich Kameras verborgen sind und der Roboter auf diese Weise fähig ist, seine Umgebung zu „sehen“.

Die bisherige Diskussion hat sich in erster Linie auf das visuelle Erscheinungsbild des Roboters konzentriert. Im Hinblick auf das Verhalten ist ein Aspekt von besonderem Interesse, nämlich inwieweit der Roboter autonomes Verhalten zeigen kann. Beer et al. (2014) charakterisierten zehn Stufen der Autonomie eines Roboters, von der vollständigen Fernsteuerung durch den Menschen (die sogenannte Teleoperation), bis zur Stufe der vollständigen Autonomie, bei der kein menschliches Eingreifen für die Erfüllung einer gegebenen Aufgabe durch den Roboter erforderlich ist. Es ist klar, dass das Ausmaß an Autonomie eines Roboters Konsequenzen hat. Einerseits führt ein geringes Maß an Autonomie zu einem geringeren Entwicklungsbedarf beim Roboter, andererseits aber auch zu einer höheren Beteiligung des Menschen an einer Aufgabe (z. B. durch die Forderung nach Teleoperation). Doch während vollständige Autonomie einen aktiven Beitrag seitens der menschlichen Interaktionspartner reduziert, steigen die Anforderungen an das Robotersystem selbst erheblich. Das Ausmaß an Autonomie eines Systems sollte sich nach den Merkmalen der Aufgabe, für die der Roboter einzusetzen ist, sowie nach den damit verbundenen praktischen Einschränkungen richten, wie in Kapitel 7 erörtert werden wird.

Für Bildungsroboter bestehen erhebliche Anforderungen in Bezug auf die Robotersensoren (Inputs), Effektoren (Outputs) und die allgemeine Verarbeitung. Bei der Anwendung von Robotern als Werkzeuge beispielsweise muss der Lernende die Informationen der Sensoren nutzen und die Motoren steuern (siehe Kapitel 5). Bei der Verwendung von Robotern als soziale Interaktionspartner (siehe Kapitel 6) muss der Roboter dagegen Aspekte des Verhaltens des interagierenden Menschen erkennen und angemessen reagieren (unabhängig davon, ob die Entscheidungsfindung in diesem Zusammenhang von einem Menschen oder autonom getroffen

wird). In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels werden einige der Technologien umrissen, die bei jedem dieser Typen zum Einsatz kommen.

4.1.2 Grundlegende Roboter-Hardware

Ein weiterer Aspekt von Robotern ist die Hardware-Infrastruktur, die erforderlich ist, damit ein Roboter tatsächlich eine Aufgabe erledigt oder ein bestimmtes Verhalten zeigt. Wir werden kurz auf drei Kernpunkte eingehen. Erstens basieren alle Roboter, auf die wir uns hier beziehen, auf Elektronik und benötigen daher Strom. Zweitens benötigen Roboter, wie oben erwähnt, als verkörperte Computer eine Art der Steuerung in Form von Mikrocontrollern/Mikroprozessoren, um die Ein- und Ausgänge zu verwalten. Drittens ist es in praktischer Hinsicht unwahrscheinlich, dass die Roboter, die in einem der von uns diskutierten Kontexte eingesetzt werden, völlig unabhängig funktionieren. Möglicherweise müssen sie per USB-Kabel oder drahtlos mit einem anderen Computer verbunden sein, um programmiert werden zu können, oder sie müssen im Betrieb über ein Netzwerk mit anderen Computern interagieren. In diesem Fall ist der Begriff der Kommunikation wichtig (auf der Ebene der Elektronik und nicht auf der Ebene des Menschen).

Bildungsroboter könnten über angeschlossene Kabel mit externer Stromversorgung betrieben werden, aber in den meisten Fällen ist dies umständlich, unpraktisch und möglicherweise unsicher (Stolperfallen durch Schleppkabel usw.). Daher sind Bildungsroboter in der Regel für den Batteriebetrieb gebaut. Die Akkutechnologie hat sich im Laufe der Jahre rapide verbessert, wobei Lithium-Ionen-Batterien aufgrund ihrer hohen Energiedichte (d.h. sie können mehr Leistung auf kleinerem Raum vorhalten als frühere Technologien) der aktuelle Standard bei mobilen Geräten im Allgemeinen sind. Der Batteriebetrieb ist relativ sicher – obwohl empfohlene Ladeverfahren eingehalten werden sollten, um negative Folgen zu vermeiden. Dennoch gibt es Grenzen der Batterielebensdauer für jeden Roboter. Auch wenn unsere Erfahrung mit modernen Mobiltelefonen uns dazu verleitet, extrem lange Zeiten zu erwarten, bis ein Roboter einsatzbereit sein könnte, ist die Batterielebensdauer bei Robotern in Wirklichkeit deutlich kürzer. Dazu trägt vor allem bei, dass Elektromotoren (die zum Bewegen von Rädern, Gelenken usw. verwendet werden) wesentlich mehr Strom verbrauchen als reine Steuerelektronik. Dieses Problem (Batterieentladung durch Motorbetrieb) wird umso ausgeprägter, je mehr Motoren vorhanden sind, aber auch je leistungsfähiger die Motoren sind (d.h. größere Roboter benötigen stärkere Motoren, um ihr eigenes größeres Gewicht zu bewegen).

Ein zweiter Aspekt betrifft die Steuerung des physischen Roboters selbst. Im Allgemeinen werden Mikrocontroller (auch als Mikrochips bekannt) verwendet, um auf Informationen von Sensoren und Steuermotoren zuzugreifen. Sie führen in der

Regel keine komplexe Verarbeitung durch: Dies würde entweder durch leistungsfähigere Mikroprozessoren oder durch das Senden der Informationen an einen anderen Computer, der sich nicht auf dem Roboter befindet, umgesetzt werden. Tatsächlich werden bei rechenintensiven Prozessen wie der Bildverarbeitung (siehe Abschnitt 4.4.2) die Informationen (z.B. Kamerabilder) oft über eine Netzwerkverbindung zur Verarbeitung an einen leistungsfähigeren entfernten Computer gesendet, wobei nur das Ergebnis zurückgeschickt wird. Doch auch in diesem Fall muss der Roboter selbst über eine gewisse Rechenleistung verfügen, da sich die Motoren nicht von selbst aktivieren und die Sensoren keine Informationen zurückgeben, wenn sie nicht explizit abgefragt werden.

Abschließend beleuchten wir das Zusammenspiel von Komponenten auf der Ebene der Elektronik: Computer, und damit auch Roboter, sind heute nur noch selten eigenständige Geräte. Sie sind typischerweise in Netzwerken eingebunden oder zumindest an eine Reihe von Peripheriegeräten angeschlossen, die ihre Funktionalität erheblich erweitern. Zum Beispiel machen Tastatur, Maus und Bildschirm einen Desktop-Computer benutzbar. Eine Verbindung zu einem Netzwerk (lokaler Bereich und/oder das Internet) erweitert die Funktionalität erheblich. In gleicher Weise muss ein Roboter kommunizieren können. Innerhalb des Roboters selbst besteht die Notwendigkeit, die oben beschriebenen Sensoren, Motoren und Mikrocontroller miteinander zu verbinden. Außerhalb des Roboters sind weitere Verbindungen erforderlich. Beispielsweise ist es beim Erlernen der Programmierung eines Roboters in der Regel erforderlich, den Roboter physisch mit einem USB-Kabel an einen anderen Computer anzuschließen. Während des eigentlichen Betriebs eines Roboters, bei dem physisch angeschlossene Kabel nicht geeignet wären, z.B. bei der Verwendung sozialer Roboter², kann eine Verbindung zu einem drahtlosen Netzwerk (z.B. Wi-Fi) erforderlich sein.

² Eine physische Verbindung könnte aus praktischen Gründen ungeeignet sein, da sich der Roboter möglicherweise bewegt, aber auch aus anderen Gründen. Wenn zum Beispiel ein sozialer Roboter angeschlossen ist, und sei es auch nur zum Aufladen, kann dies bei einigen Beobachtern den falschen Eindruck erwecken, dass der Roboter ferngesteuert ist.

■ 4.2 Eingabe-Technologien

Roboter können über eine Vielzahl von Sensoren verfügen, um Informationen über sich selbst, ihre Umgebung und die Menschen um sie herum zu sammeln.

4.2.1 Die Spracherkennung

Die Sprache ist eine der natürlichssten und einfachsten Kommunikationsformen für den Menschen. Mit einer Maschine zu kommunizieren, indem man in seiner Muttersprache mit ihr spricht, ist intuitiv und erfordert wenig bis gar kein Lernen (Westall et al., 1998). Daher bieten die meisten sozialen Roboter den Benutzern die Möglichkeit und Fähigkeit, sich mit ihnen durch Sprache oder Dialog auseinanderzusetzen und mit ihnen auf diese Weise zu interagieren. Wenn ein Roboter eine Fremdsprache unterrichten soll, unabhängig von seiner Rolle, dann scheint es naheliegend, mit dem Lernenden über Sprache zu kommunizieren.

In den meisten Fällen sind Roboter mit einem Mikrofon oder einer Reihe von Mikrofonen ausgestattet, die Sprache als analogen *Input* erkennen. Die Sprache wird zunächst akustisch verarbeitet, wobei versucht wird, die Eingabe mit intern gespeicherten Klangmustern abzugleichen, die dann an höhere Ebenen wie Morphologie, Grammatik und Semantik weitergeleitet werden. Danach bestimmt ein Dialogmanager mit Methoden der natürlichen Sprachverarbeitung die angemessene verbale Reaktion des Roboters.

Die sprachliche Interaktion mit Robotern ist mit Herausforderungen verbunden: Die Spracherkennung kann durch allgemeine Aspekte der Schallübertragung (Umgangungsgeräusche, Verzerrungen, Motorgeräusche des Roboters selbst) beeinträchtigt werden. Sie kann durch phonologische Aspekte der Sprachvariation erschwert werden (regionaler Dialekt vs. Sprache nach der Schrift), oder sie kann durch höhere Ebenen der Sprachverarbeitung beeinflusst werden, wie z.B. Mehrdeutigkeit und Unbestimmtheit (Mubin et al., 2014). Bei der Interaktion zwischen Kindern und Robotern kann es zu Problemen kommen, wenn Tonhöhe und der jeweilige Stand der Sprachentwicklung des Kindes die Spracherkennung erschweren (Kennedy et al., 2017c).³

Um die Erkennungsgenauigkeit zu verbessern, wurden mehrere Strategien zur Überwindung dieser Probleme entwickelt. Ein Ansatz besteht darin, die Sprache selbst durch eine Begrenzung des Vokabulars und der Grammatik einzuschränken (Mubin et al., 2012). Eine andere Strategie besteht darin, den Interaktionskontext

³ Wenn z. B. NAO- und Pepper-Roboter ihre englischen Sprachpakete verwenden, müssen sie in amerikanischem statt in britischem Englisch angesprochen werden. Diese Anforderung könnte zu Problemen in den Kontexten führen, in denen ein postvokales „r“ ausgesprochen wird: hear, here, hair, etc.

einzuschränken. Ein Roboter wäre dann nur in der Lage, sich über bestimmte Themen zu unterhalten. Einige Roboter verwenden ein zwischengeschaltetes Interaktionsmedium, wie z.B. einen Touchscreen ähnlich dem Brustbildschirm von *Pepper* (siehe Bild 1.3). Ein Weg, diese Probleme zu umgehen, ist der Einsatz eines menschlichen „Übersetzers“ im Hintergrund, der erkennt, was gesagt wurde. Dieser Ansatz wird als *Wizard-of-Oz*-Ansatz bezeichnet und in Kapitel 11 ausführlicher beschrieben.

Zusätzlich zu diesen Spracherkennungsproblemen ist die Sprachsynthese, d. h. die Art und Weise, wie der Roboter spricht, oft schlechter als die Qualität, die wir z.B. bei der Verwendung unserer Smartphones gewohnt sind. Dabei gibt es eine Reihe von technischen Problemen, wie z.B. die Generierung einer geeigneten Prosodie angesichts des zu sprechenden Textes (Dutoit, 1997). Da eine solche Verarbeitung jedoch rechnerisch aufwendig ist, wird sie in der Regel auf einem separaten, leistungsfähigeren Computer durchgeführt. MaryTTS zum Beispiel, ein häufig verwendetes Open-Source-Text-to-Speech-System für die Sprachsynthese, das bereits auf unterschiedlichen Robotern angewandt wurde (Schröder und Trouvain, 2003), kann eine Reihe verschiedener Sprachen verwenden.

4.2.2 Computer Vision

Technologien für ein computergestütztes „Sehen“ – allgemein als *Computer Vision* bezeichnet – gibt es schon seit mehreren Jahrzehnten. Sie basieren hauptsächlich auf Algorithmen zur Bildverarbeitung. Im letzten Jahrzehnt, wurde *Computer Vision* mit dem Aufkommen von Digitalkameratechnologien und verbesserter Rechenleistung zu einer der wesentlichen *Input*-Quellen für Roboter. *Computer Vision* verleiht Robotern eine Wahrnehmungsfähigkeit, die der eines biologischen Auges nicht unähnlich ist. Standard-Digitalkameras können rotes, grünes und blaues Licht erkennen. Spezialisierte Kameras können infrarotes Licht erkennen, um ein Wärmebild zu liefern. Dies erleichtert es einem Roboter, zwischen einem Objekt und einem Menschen zu unterscheiden. Um eine Tiefenwahrnehmung zu erreichen, können Roboter mit zwei Kameras ausgestattet werden, ähnlich wie Menschen zwei Augen zur Tiefenwahrnehmung benötigen. In jüngster Zeit wurden spezialisierte Tiefenkameras entwickelt, die eine entsprechende Wahrnehmung mit nur einer Kamera erreichen können.

Abhängig von der Art der erfassten Bilder, ermöglichen Algorithmen es Robotern, Objekte zu erkennen, einen Gesichtsausdruck zu verstehen, den Blick eines Menschen zu verfolgen sowie thermische Karten der Umgebung zu erstellen. Letztere wiederum ermöglichen es dem Roboter, Hindernissen auszuweichen und eine Bewegungsbahn zu planen.

Eine von Davies (2017) vorgestellte Arbeit skizziert, was die Technologien und Algorithmen der *Computer Vision* leisten können. Bei der Betrachtung des Einsatzes von *Computer-Vision*-Technologien ist es wichtig, die Faktoren abzuschätzen, die die Genauigkeit beeinträchtigen könnten. Zum Beispiel kann die Beleuchtung in der Umgebung drastisch beeinflussen, wie gut ein Roboter funktioniert. Ein unübersichtlicher Hintergrund kann es für Roboter schwieriger machen, bestimmte Ziele zu erkennen. Dies wird noch gravierender, wenn ein Teil des Zielobjekts von anderen Gegenständen verdeckt wird. Am allerschwierigsten ist es, wenn das Ziel darin besteht, eine bestimmte Person in einer Gruppe von Personen zu verfolgen.

Computer-Vision-Systeme können verwendet werden, um Eigenschaften oder Aspekte eines Lernenden jenseits seiner Verortung im Raum zu erfassen, wie z.B. seinen affektiven Zustand. Zu diesem Zweck kann es nützlich sein, die von den Kameras erfassten Informationen mit anderen Sensorinformationen, wie z.B. der Hautleitfähigkeit, zu kombinieren (Obaid et al., 2018). Dies ermöglicht es dem Roboter, eine geeignete Strategie zu planen, um die Lernerfahrung des Schülers zu optimieren. Ein weiteres Beispiel ist, dass *Computer-Vision*-Tracking-Technologien es einem Anwender ermöglichen können, den Roboter durch Körperbewegungen zu steuern, wie z.B. die Tiefenkamera-Verfolgung, um einen Roboter in einer Umgebung durch Körpergesten zu navigieren (Obaid et al., 2014, 2016a).

4.2.3 Näherungssensoren

Roboter, die in der realen Welt in einer sich verändernden Umgebung arbeiten, werden wahrscheinlich auf zahlreiche Hindernisse stoßen. Während die in Abschnitt 4.2.2 erwähnten Tiefenkameras in der Lage sind, den Abstand zwischen dem Roboter und den Hindernissen bis zu einem gewissen Grad zu erfassen, ist es auch möglich, spezielle Näherungssensoren zu verwenden. Diese Sensoren sind in der Regel viel günstiger und benötigen weitaus weniger Rechenleistung.

Zwei gängige Typen sind Sonarsensoren und Infrarotsensoren. Beide arbeiten nach dem Prinzip, einen Ton bzw. Lichtimpuls auszusenden und die Zeit zu messen, die es dauert, bis das Signal von dem Hindernis reflektiert wird. Je länger das Signal unterwegs ist, desto weiter entfernt vom Roboter befindet sich das Objekt. So kann der Roboter Mauern ausweichen oder z.B. einen vor ihm stehenden Menschen erkennen (Han et al., 2012; Csapo et al., 2012). Wird ein Mensch erkannt, könnte sich der Roboter dann für eine Interaktion entscheiden. Beliebte Roboter, wie *NAO* und *Pepper*, verfügen beide über Sonarsensoren und wurden in Bildungseinrichtungen eingesetzt, um beispielsweise aus einem Schlafzustand aufzuwachen, falls sich ein Mensch dem Roboter nähert, oder um Sicherheitsfunktionen zu aktivieren (Tanaka et al., 2015).

4.2.4 Berührungssensoren

Die Ausrüstung eines Roboters mit Berührungssensoren ermöglicht es dem Roboter, Kollisionen mit Hindernissen zu erkennen. Berührungssensoren können aber auch dazu verwendet werden, die absichtsvolle Berührung des Roboters durch einen Menschen zu erkennen. Diese Sensoren zeichnen Ereignisse auf, die anfangs möglicherweise vermieden werden müssen. Ein Roboter sollte zum Beispiel vermeiden, mit Hindernissen oder Menschen zusammenzstoßen. Zu erkennen, dass es passiert ist, ist eine nützliche Information, aber im Idealfall hätte der Roboter zuvor Näherungssensoren verwendet, um seine Bahn zu ändern. Berührungsensoren, die an verschiedenen Teilen des Roboters angebracht sind, können verwendet werden, um verschiedene Ereignisse zu erkennen. (Ein interessierter Leser kann Seminara et al. (2019) für einen Überblick über die haptische Sinneswahrnehmung bei Robotern konsultieren).

4.2.5 Physiologische Sensoren

Physiologische Sensoren erfassen körperliche Prozesse, z.B. die Herzrate. Der große Vorteil ist, dass diese Prozesse oft unbewusst ablaufen. Studienteilnehmer können sie weder maskieren noch sozial akzeptable Antworten geben. Ein einfaches Beispiel für einen physiologischen Sensor ist ein Hautleitfähigkeitssensor. Er misst, wie gut die Haut Elektrizität leitet. Dies ist stark abhängig von der Menge des Schweißes, den die Haut produziert, was wiederum mit Stress zusammenhängt. Ähnliche Rückschlüsse können mit Aufzeichnungen von Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Atemfrequenz und Körpertemperatur gezogen werden. Sogar die Hirnaktivität kann mithilfe von Elektromyographie gemessen werden.

Eine Herausforderung im Zusammenhang mit physiologischen Sensoren besteht darin, dass die körperlichen Prozesse sehr komplex sein können. Die Hautleitfähigkeit einer Person könnte sich nicht deshalb erhöhen, weil die Person gestresst ist, sondern weil sie Sport treibt. Die Unterscheidung zwischen relevantem Signal und irrelevantem Rauschen ist eine der Hauptschwierigkeiten. Zudem sind diese Prozesse oft nicht binär, sondern kontinuierlich. So kann beispielsweise ein Handschlag je nach ausgeübtem Druck unterschiedliche Reaktionen hervorrufen. Daselbe gilt für Fingerdruck, wie in (Chincheng et al., 2019) berichtet wird.

Eine weitere klare Herausforderung besteht darin, dass physiologische Sensoren oft an der Person angebracht werden müssen. Diese Sensoren müssen dann ihre Messwerte an den Roboter übermitteln. Dies stellt eine beträchtliche technische Herausforderung dar, sodass diese Sensoren hauptsächlich für kontrollierte Laborexperimente geeignet sind.

Die gesammelten Informationen können jedoch sehr nützlich sein, um das Verhalten des Roboters gegenüber den Lernenden anzupassen. Wenn zum Beispiel die Lernaufgabe zu schwierig ist, könnte der Lernende gestresst werden, was durch einen Hautleitfähigkeitssensor wahrgenommen werden könnte. Der Roboter könnte dann eine leichtere Aufgabe anbieten oder zusätzliche Unterstützung leisten. Obaid et al. (2018) verwendeten einen Q-Sensor⁴ zur Messung der Hautleitfähigkeit und ermittelten systematisch das Erregungsniveau der Lernenden. Das Erregungsniveau wurde vom Roboter verwendet, um seine emphatischen Strategien in der Interaktion mit dem Studenten anzupassen.

■ 4.3 Ausgabe-Technologien

Der Roboter muss in der Lage sein, in der Welt zu agieren. Das kann einfaches „Umherfahren“ bedeuten, es kann aber auch viele andere Aktivitäten umfassen.

4.3.1 Motor-Bewegungen und Mobilität

Die Bedeutung von Bewegung und Mobilität für Roboter in Bildungseinrichtungen ist gut dokumentiert (Causo et al., 2016). Roboter verwenden verschiedene Arten von Motoren, um sich auf ihren Rädern zu bewegen und ihre Körperteile in Bewegung zu setzen. Fast alle Motoren werden durch Elektrizität angetrieben und müssen über einen Mikrocontroller geregelt werden. Dies ermöglicht es dem Roboter, sich fortzubewegen, Gegenstände zu greifen oder Körpergesten und Gesichtsausdrücke zu zeigen. In der von Obaid et al. (2017) vorgestellten Arbeit haben die Autoren zum Beispiel gestische Bewegungen in einem Instruktionsszenario verwendet, um implizit den Grad der Interaktion des Benutzers mit einem Roboter zu messen. Darüber hinaus können Roboter ihre Bewegungsfähigkeit als eine Form der Körpersprache nutzen, um mit Menschen zu kommunizieren. Ein Roboter könnte zum Beispiel seinen Kopf in Richtung eines Lernenden bewegen, um zu signalisieren, dass er dieser Person Aufmerksamkeit schenkt. Der Roboter könnte auch seinen Arm und seine Finger benutzen, um die Aufmerksamkeit des Lernenden auf Lerninhalte zu lenken.

⁴ <http://qsensor-support.affectiva.com>

4.3.2 Haptisches Feedback

Ein Unterscheidungsmerkmal zwischen einem Roboter und einer bildschirmbasierten Figur ist seine Körperlichkeit. Ein Roboter kann Nutzenden berühren und im Gegenzug berührt werden. Diese physische Interaktion ist einzigartig und ermöglicht es einem Roboter, den Lernenden motorische Fähigkeiten beizubringen und sogar die Rehabilitation eines Menschen, wie in Kapitel 8 beschrieben, zu begleiten.

Für eine erfolgreiche physische Interaktion muss der Roboter in der Lage sein, Berührungen wie oben beschrieben zu erkennen, aber er muss auch in der Lage sein, seine Kraft und Beschleunigung regulieren zu können. Dies kann verwendet werden, um einen Nutzenden auf einer bestimmten Strecke zu führen oder um Vibration als Kommunikationsmodalität zu nutzen.

Der Roboter könnte z. B. die Hand eines Lernenden nehmen und dessen Bewegung lenken. Wenn der Lernende von der beabsichtigten Bahn abweicht, muss der Roboter seine Kraft erhöhen, um ihn wieder auf die Bahn zu bringen. Je weiter der Lernende von der beabsichtigten Bahn abweicht, desto stärker sollte der Roboter Kraft ausüben, um dieser Bewegung entgegenzuwirken. Diese Form der physischen Rückkopplung wird oft als Kraftrückkopplung, engl. *Force Feedback*, bezeichnet.

4.3.3 Audio

Roboter sind häufig mit Lautsprechern oder Summern ausgestattet, um akustische Signale zu erzeugen. Dies kann bei der Kommunikation mit Lernenden nützlich sein, insbesondere wenn der Roboter Sprache verwendet. Der Roboter kann voraufgezeichnete Klänge wiedergeben, einschließlich voraufgezeichneter Sprache. Ein Roboter kann seine Rechenleistung auch dazu nutzen, eine synthetische Stimme zu erzeugen. Dadurch kann der Roboter jeden gewünschten Text „sprechen“. Neben der Generierung des Inhalts einer Äußerung kann der Roboter auch suprasegmentale phonologische Prinzipien wie Betonung oder Intonation anwenden, um seine Sprache so zu modulieren, dass sie implizite Signale, wie z. B. Informationen über den internen Zustand des Sprechenden, abgibt. Der Roboter könnte lauter sprechen, wenn er die Aufmerksamkeit eines Lernenden auf sich ziehen will. Er könnte Tonhöhe und Sprechtempo ändern, um einen emotionalen Ausdruck zu simulieren (James et al., 2018). Das Ändern dieser Parameter der Roboterstimme ist relativ einfach und gibt dem Roboter die Möglichkeit, seine Stimme an die Anforderungen der Lernsituation und sogar an einzelne Lernende anzupassen (Edwards et al., 2018).

4.3.4 Augen

Wie in Abschnitt 3.2.5 beschrieben, kann der Blick eine entscheidende Rolle im Prozess der Mensch-Mensch-Interaktion spielen. Ein Roboter, der Augen hat, wird bei Nutzenden die Erwartung wecken, dass er über volle Sehfähigkeit verfügt. Der Blick des Roboters kommuniziert dabei, worauf der Roboter seine Aufmerksamkeit richtet. Die Augen können auch dazu verwendet werden, Emotionen in Kombination mit Körperbewegungen auszudrücken, z.B. könnte ein Roboter, der nach unten schaut, als traurig empfunden werden.

Die Arbeit von Admoni und Scassellati (2017) fasst mehrere Studien im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion zusammen. Sie beleuchten darin verschiedene Aspekte von Blick, wie z.B. gegenseitiger Blick, gemeinsame Aufmerksamkeit, Blickvermeidung und deiktischer Blick.

Andrist et al. (2014) untersuchten, wie Menschen auf einen Roboter reagieren, der in der Lage ist, seinen Blick abzuwenden. Sie zeigten, dass dies beeinflusst, ob der Roboter als nachdenklich, absichtsvoll und/oder gesprächsbereit wahrgenommen wird.

Mehrere Roboter haben Augen, die durch die Integration von LED-Lichtern, die leuchten und die Farbe wechseln können, Licht ausstrahlen. Die Augen sind Sensoren und die Integration von Licht in diese kehrt ihren eigentlichen Zweck um. Im Gegensatz zu den meisten Lebewesen sind die *NAO*- und *Pepper*-Roboter Beispiele für eine solche umgekehrte Metapher, bei der die Augen als Leuchten verwendet werden. Nebenbei gesagt sind die Augen bei diesen Robotern nicht der Standort ihrer Kameras, diese befinden sich an anderen Stellen im Gesicht. Die Ingenieure dieser beiden Roboter verwendeten den gleichen Ansatz für die Roboteroberen, welche Lautsprecher und keine Mikrofone sind. Zum Hören verwenden diese Roboter Mikrofone um den Kopf herum.

Dennoch implementierten die Ingenieure dieser Roboter diese Merkmale in dem Versuch, den Robotern zu ermöglichen, bestimmte emotionale Zustände ausdrücken zu können (Häring et al., 2011; Ahmad et al., 2016). Auch die Form des Auges wurde als Medium genutzt, um emotionale Ausdrucksformen zu vermitteln (Greczek et al., 2011). Während die genaue Beziehung zwischen Farbe und Emotionen bis zu einem gewissen Grad mehrdeutig bleibt, wurden die Farben der Augen verwendet, um Kinder über den Begriff der Farbe zu unterrichten (Alkhaliyah et al., 2015).

Weiterhin kann der Blick vom Roboter analysiert werden. Alnajjar et al. (2019b) schlagen ein System mit dem Titel „Aufmerksamkeit im Unterricht“ vor, welches das Aufmerksamkeitsniveau der Lernenden in einem Klassenzimmer bewertet. Sie statteten einen *Pepper*-Roboter mit der Fähigkeit aus, das Aufmerksamkeitsniveau der Lernenden selbstständig auf einer Skala von 0 (keine Aufmerksamkeit) bis 10

(volle Aufmerksamkeit) zu beurteilen. Der Roboter scannt permanent das Publikum und protokolliert den Aufmerksamkeitsgrad der einzelnen Lernenden. Bild 4.2 zeigt ein Beispiel für die Anwendung des Systems zur Messung der Aufmerksamkeit von acht Lernenden in einer Klassenraumumgebung.



Bild 4.2 Das Dashboard der Aufmerksamkeits-App veranschaulicht das Aufmerksamkeitsniveau jedes einzelnen Lernenden im Klassenzimmer

Während eine solche Anwendung im Prinzip nicht die Anwesenheit eines Roboters erfordert (dies wäre beispielsweise mit mehreren Kameras möglich), gibt es eine Reihe von Vorteilen, die sich aus der Verwendung eines physischen Roboters in der Umgebung ergeben können. Zum Beispiel führt der soziale „Erleichterungseffekt“ (*Social Facilitation*), aufbauend auf den Konzepten des Anthropomorphismus und der Zuschreibung von Handlungsfähigkeit (Abschnitt 3.2.4), zu einer Verhaltensänderung bei der beobachteten Gruppe, was auch für Roboter untersucht wurde (Riether et al., 2012). Da eine Gruppe von sozialen Robotern über die Fähigkeit verfügt, Menschen zu überzeugen (potenziell eher Kinder, weniger Erwachsene (Brandstetter et al., 2014; Vollmer et al., 2018)), könnten diese Effekte zudem kombiniert zur Verbesserung der klassenbasierten Aufmerksamkeit genutzt werden.

■ 4.4 Verarbeitungssoftware

Ein Roboter ist eine Computerschnittstelle, die Dateneingaben je nach vorgesehener Aufgabe verarbeitet. Das Kernstück bei der Handhabung der Eingabedaten

wird von Software-Algorithmen ausgeführt, die für bestimmte Roboterplattformen angepasst sind. In diesem Abschnitt stellen wir einige der Werkzeuge vor, die zur Verarbeitung der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Dateneingabe und -ausgabe verwendet werden.

4.4.1 Entwicklungs-Tools

Die meisten in der Bildung eingesetzten Roboter erfordern eine gewisse Form der Programmierung. Zwar gibt es integrierte Entwicklungsumgebungen (IDEs) für allgemeine Zwecke, doch bieten Roboterhersteller oft entweder Erweiterungen zu bestehenden IDEs oder ihre eigenen IDEs an. Beispielsweise verfügt *LEGO Mindstorms* über eine eigene visuelle Programmierumgebung, die auf *LabView* basiert, aber es gibt auch Plugins für die beliebten *Eclipse*⁵ und *Visual Code*-IDEs⁶.

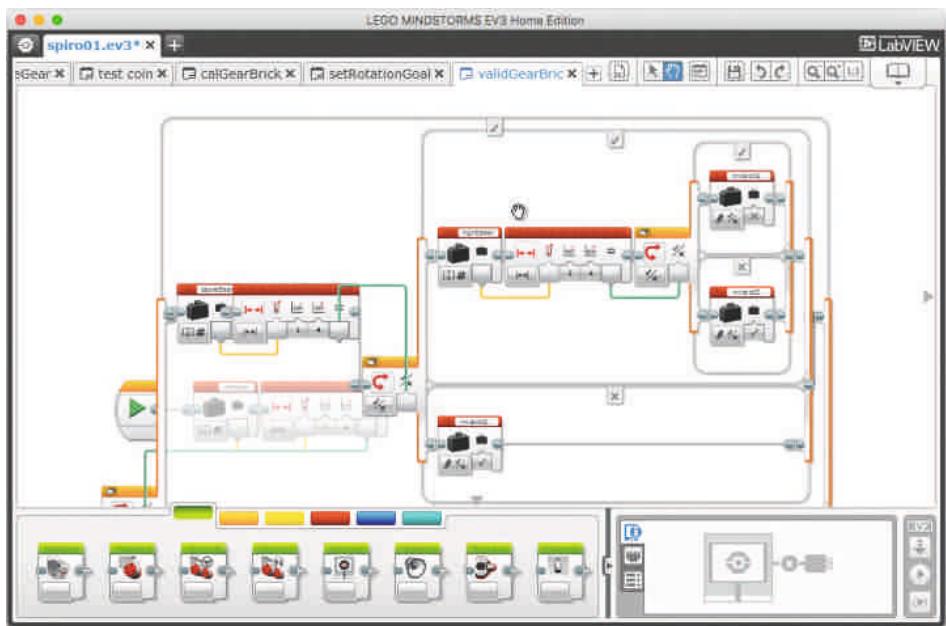


Bild 4.3 Die visuelle Programmierumgebung für *LEGO Mindstorms*

Ein weiteres Beispiel ist *Choregraphe*, eine visuelle Programmierumgebung, die zur Programmierung der *SoftBank Robotics*-Roboter *NAO* und *Pepper* verwendet werden kann (siehe Bild 5.4). *Choregraphe* bietet Zugang zur integrierten Programmier-

⁵ <http://www.bartneck.de/2017/06/04/tutorial-on-how-to-install-and-run-java-on-lego-mindstorms>

⁶ <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=lego-education.ev3-micropython>

sprache Python um komplexere Funktionen programmieren zu können. Grundsätzlich können Roboter allein mit Python programmiert werden, ohne die Choregraphe-Plattform verwenden zu müssen⁷. Solche dedizierten IDEs können zur Erstellung von Interaktionsszenarien und auch zur Animation des Roboters verwendet werden. Diese Werkzeuge sind in der Regel einfach zu bedienen und eignen sich gut für die schnelle Programmierung von Roboterverhalten.

Fortgeschrittene Nutzende werden viele Softwaresysteme und Frameworks finden, die als Open Source und/oder als Cloud Application Program Interfaces (APIs) in Verbindung mit Software Development Kits (SDKs) zur Verfügung gestellt werden, um die Programmierung von Robotern zu erleichtern. Eine beliebte API für Algorithmen für die Bildverarbeitung ist z.B. *OpenCV*⁸, eine Open-Source-Bibliothek, die es Entwickelnden ermöglicht, von Kameras aufgenommene Bilder zu verarbeiten, um Informationen über die Position eines menschlichen Gesichts zu extrahieren und ein menschliches Gesicht, seinen emotionalen Ausdruck und die Körperfesten des Lernenden zu erkennen.

4.4.2 Roboter-Software Middleware

In diesem Kapitel wurde eine Reihe von Funktionen, Prozessen und Algorithmen vorgestellt. Eine Schlüsselfrage ist, wie man diese zusammenfügt und sie als Teil eines einzigen Robotersystems funktionieren lässt. Die Hauptmethode dafür ist die Verwendung einer *Middleware*, die im Grunde genommen eine Kommunikationsinfrastruktur (im Sinne der Informatik) ist.

Am Beispiel der *LEGO Mindstorms* oder ähnlicher modularer Lern- und Lehrsysteme umfasst das Anbringen von Sensor- oder Motormodulen an einen bestehenden Roboter einfaches Einsticken und Befestigen. Damit der Controller die Module jedoch erkennen und verwenden kann, gibt es eine zugrunde liegende Software (normalerweise nicht direkt für Nutzende zugänglich), die Kommunikation dieser Module ermöglicht. Die ganze technische Komplexität dieser Aufgabe ist dem Nutzenden verborgen – sie funktioniert einfach. Middleware wie diese ist jedoch spezifisch für bestimmte Roboterplattformen. Wenn ein neuer Robotertyp verwendet werden sollte, müsste der Controller von Anfang an neu geschrieben werden.

Im Umgang mit Robotern, die die Integration einer großen Anzahl sowohl von Hardwarekomponenten (wie z.B. Sensoren) als auch von Softwarekomponenten (wie z.B. Bildverarbeitung oder Planung etc.) erfordern, wie es insbesondere bei sozialen Robotern der Fall ist, besteht ein besonderer Bedarf an Middleware. Wenn

⁷ Seit 2019 liefert *SoftBank Robotics* alle neuen *Pepper*-Roboter mit *Android* als neuer Entwicklungsumgebung aus. Der *NAO*-Roboter kommt mit einer neueren Version von *Choregraphe*.

⁸ <https://opencv.org>

die Middleware darüber hinaus bei verschiedenen Robotern und Computersystemen weit verbreitet ist, dann ist es möglich, Komponenten (wie z.B. die Emotionserkennung aus Gesichtern) wiederzuverwenden, anstatt sie neu schreiben zu müssen. In diesem Zusammenhang ist das Open-Source-Roboterbetriebssystem (ROS)⁹ in den letzten Jahren zu einem immer wichtigeren Teil der Robotik-Community geworden. Als Middleware-System für die Robotik ist es sowohl in der akademischen Forschung als auch in der Industrierobotik immer häufiger anzutreffen. Mit zunehmender Verbreitung steigt die Zahl der Komponenten, die relativ einfach für neue Robotersteuerungssysteme wiederverwendet werden können. So stehen z.B. Algorithmen für Navigation, Personenerkennung, Objekterkennung, Gliedmaßenkontrolle usw. zur Wiederverwendung zur Verfügung.

4.4.3 Sprachverarbeitung

Roboter benötigen spezielle Software, um in der Lage zu sein, Sprache zu erkennen, den Gesprächsfluss zu steuern und Sprache zu synthetisieren. Diese kann auf dem Computer des Roboters laufen oder kann über APIs mit Onlinediensten verbunden werden. Ein Beispiel für ein lokales Sprachsoftware-System ist *Sphinx* von der Carnegie-Mellon-Universität. Es wurde zum Beispiel in *Jasper*¹⁰ integriert, einem System, das einen *Raspberry Pi* in einen Gesprächsagenten verwandelt.

Die meisten der großen Softwareunternehmen wie Amazon, Google und Microsoft bieten APIs zur Verarbeitung von Sprache an. Der große Vorteil dieser APIs besteht darin, dass sie sehr wenig lokale Verarbeitungsleistung benötigen. Sie benötigen keinen vollwertigen PC, was wiederum erheblichen Platz und leistungsstarke Batterien erfordern würde. Ein möglicher Nachteil ist jedoch, dass die Kommunikation zu all diesen Onlinediensten eine beständige und schnelle Internetverbindung erfordert.

Abschließend bleibt zu erwähnen, dass Sprachverarbeitungssysteme viele Sprachen unterstützen. Für einen Roboter ist es nahezu trivial, sich in einer Vielzahl von Sprachen zu unterhalten. Beispielsweise unterstützen *SoftBank Robotics*-basierte Roboter ein Dutzend Sprachen vollständig, darunter Englisch, Arabisch und Chinesisch. Sollte ein Roboter die API von Google verwenden, dann könnte er in mehr als 30 Sprachen sprechen und mehr als 100 erkennen.

⁹ <https://www.ros.org/>

¹⁰ <http://jasperproject.github.io>

4.4.4 Einschränkungen

Die Software-Entwicklung für Roboter ist mit einer Reihe von Risiken verbunden, insbesondere, wenn Roboter über längere Zeiträume eingesetzt und dafür programmiert werden. Das Software-Ökosystem ist sehr dynamisch. Einige Werkzeuge werden aufgegeben, andere entwickeln sich weiter und neue Produkte kommen auf den Markt. Ein Roboter, bei dem mehrere Entwicklungswerkzeuge und APIs verwendet werden, könnte Inkompatibilitäten aufweisen. Wenn zum Beispiel ein Produkt nicht mehr hergestellt oder verkauft wird, dann ist es wahrscheinlich, dass die mit diesem Produkt gelieferten Software-Werkzeuge ebenfalls irgendwann auslaufen und nicht weiter unterstützt werden. Natürlich kann dies auch bei Open-Source-Software auftreten, wenn das Entwicklungsteam den Code nicht mehr unterstützt oder pflegt. In diesem Fall ist es jedoch wahrscheinlicher, dass jemand anderes in der Lage wäre, die Pflege der Software zu übernehmen, da in der Regel alles zugänglich ist, was in der Natur der Open-Source-Philosophie begründet ist. Ein ähnliches Problem entsteht, wenn ein bestimmtes Roboterprodukt und die zugehörige Software aktualisiert werden, aber nicht mehr mit der Vorgängerversion kompatibel sind.¹¹ Dies kann besonders dann problematisch sein, wenn wichtige Ressourcen einer älteren Version zugewiesen wurden, von der das Unternehmen und möglicherweise auch die Gemeinschaft abgewichen sind.

4.4.5 Lokalisierung und Kartierung

Ein zentrales Problem, das insbesondere bei mobilen Robotern besteht, ist die Frage, wo sich ein Roboter befindet und wohin er sich wendet. Dies wird allgemein als *Lokalisierung* (Wo bin ich?) und *Kartierung* (Wo sind andere Dinge/Orte?) bezeichnet. Zwei Aspekte des Problems sind zu beachten. Der erste ist eher simpel und umfasst die Frage, woher kleiner mobiler Roboter, der versucht eine bestimmte Strecke zurückzulegen, weiß wann diese abgeschlossen ist. Der zweite Aspekt ist komplexer: Ein größerer Roboter, der sich z.B. zwischen Räumen bewegt, sollte wissen, wo sich die Räume befinden und lokalisieren, wo er sich innerhalb dieser Karte befindet.

Das erste Problem ist besonders relevant für die kleinen mobilen Roboterbausätze (z.B. *LEGO Mindstorms* usw.), die im Bildungsbereich eingesetzt werden. In diesen Fällen handelt es sich bei den Aufgaben, die den Lernenden gestellt werden, in der Regel um Bewegungsaufgaben, z.B. den Roboter einen Meter in gerader Linie vorwärts bewegen zu lassen. Die Frage ist dann, welche Informationen (für den Roboter und für den Lernenden) notwendig sind, um die Aufgabe abzuschließen. Was

¹¹ Derzeit gibt es beispielsweise zwei *NAO*-Versionen: *NAO V6* und die ältere *NAO V5*. Beide können mit *Choregraphe* betrieben werden, allerdings nur in zwei Versionen, die miteinander inkompatibel sind.

die Sensoren betrifft, so können Drehmessgeber (verschiedener Typen) verwendet werden, um festzustellen, wie häufig sich die jeweiligen Räder gedreht haben. Dies wird als Odometrie bezeichnet und ermöglicht eine Abschätzung, wie weit sich der Roboter bewegt hat. Darauf aufbauend kann die Technik der Koppelnavigation (engl. *Dead Reckoning*) verwendet werden, um anhand der zurückgelegten Strecken abzuschätzen, wo sich der Roboter in Bezug auf seinen Startpunkt befindet.

Jenseits von Odometrie und Koppelnavigation ist die komplexere Frage, ob der Roboter zwischen Orten oder vielleicht Räumen navigieren muss. Wenn dem Roboter eine Karte des Raums zur Verfügung steht, stellt sich das Problem, wie der Roboter darin verortet werden kann. Es können verschiedene Ansätze verwendet werden, und wie oben (Abschnitt 4.4.1) erwähnt, gibt es eine Reihe von verfügbaren Werkzeugen, die dies erleichtern. Wenn keine Karte verfügbar ist, dann besteht das Problem darin, gleichzeitig eine Karte zu erstellen und innerhalb dieser auf konsistente Weise zu lokalisieren: Der Prozess der Lösung dieses Problems wird als simultane Lokalisierung und Kartierung (*Simultaneous Localisation and Mapping*, SLAM) bezeichnet (Durrant-Whyte und Bailey, 2006), was jedoch in allen Situationen ein schwer zu lösendes Problem ist. Es gibt jedoch auch in diesem Fall verschiedene Open-Source-Werkzeuge, die diese Aufgabe erleichtern.

4.4.6 Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist die Simulation der menschlichen Intelligenz, die vom Roboter verarbeitet und dargestellt wird. Dies ist ein sehr großes Gebiet und umfasst verschiedene Methoden und Anwendungen. Der Begriff KI bringt zahlreiche Konnotationen und Erwartungen mit sich, die sowohl von den aktuellen technischen Entwicklungen als auch von seiner Darstellung in den Medien getrieben werden. Die Medien berichten mit unterschiedlicher Genauigkeit über die tatsächlichen technischen Fortschritte und die Verwendung in der *Science-Fiction*. Im Allgemeinen gibt es relativ große Diskrepanzen zwischen dem tatsächlich und dem fiktional Möglichen. Wir diskutieren dieses Spannungsfeld in Kapitel 9.

Nehmen Sie das Beispiel des „Lesens“. Von Menschen geschriebene Zeichen und damit Wörter automatisch erkennen zu können, ist eine schwierige Aufgabe, auch für andere Menschen: Denken Sie zum Beispiel an die schlechte Handschrift Ihres Arztes oder Dozenten (siehe Bild 4.4).

In diesem Fall ist es eine große technische Herausforderung, einen Roboter so zu programmieren, dass er automatisch erkennt, welche Zeichen geschrieben wurden (Zeichen, die er noch nie zuvor gesehen hat). Das ist eine typische Aufgabe für KI. Doch selbst die Fähigkeit, diese spezielle Aufgabe gut zu erfüllen, bedeutet nicht, dass der Roboter anschließend in der Lage wäre, das Geschriebene zu verstehen: Das würde eine weitere Reihe von Algorithmen erfordern, die für eine andere spe-

zifische Aufgabe trainiert werden müssten (z.B. Charakterisierung von Sätzen und ihrer grammatischen Struktur, Extraktion von Themen aus dem Text usw.). An dieser Stelle tritt eine der typischen missverständlichen Erwartungen an KI auf: Realen KI-Systemen fehlt es an verallgemeinerter bzw. verallgemeinerbarer Intelligenz, so wie wir sie vom Menschen kennen.

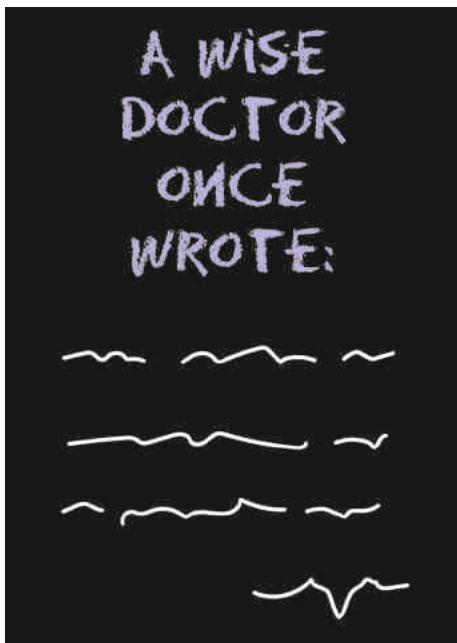


Bild 4.4 Handschrift von ihrer besten Seite

Viele der Techniken, die weiter oben in diesem Kapitel beschrieben wurden, sind im Wesentlichen Beispiele für spezifische Anwendungen von KI. So profitieren KI-Systeme z.B. von Spracherkennung, Bilderkennung, Verarbeitung natürlicher Sprache und Vorhersage von Entfernung, um Fähigkeiten von Robotern zu erhöhen und nahtlose Interaktionen zu ermöglichen. KI-Algorithmen, bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning), überwachtes Lernen und neuronale Netze stützen sich auf Modellierungsdaten, um die Vorhersage bzw. Verarbeitung von Eingabedaten mittels dieser interaktiven Technologien zu ermöglichen.

Während es in jedem dieser Bereiche interessante neue Entwicklungen gibt, ist der Bereich des Lernens, eher einer, in dem die derzeitige Technologie hinter den Erwartungen zurückzubleiben scheint. Der typische KI-Ansatz (oder Ansatz des maschinellen Lernens) besteht darin, relevante Daten für die zu lernende Aufgabe zu sammeln und dann das KI-System anhand dieser Daten zu trainieren. Nach dem Training wird das System benutzt, dann aber typischerweise nicht weiter verän-

dert: der „Lern“-Teil ist unabhängig vom Anwendungsteil. Dies wird als *Offline*-Lernen bezeichnet. Die Art des Lernens, die wir Menschen typischerweise kennen, ist eher ein *Online*-Lernen, bei dem das Lernen während der Ausführung der Aufgabe stattfindet. Diese Art des Lernens wird gelegentlich in der KI eingesetzt, ist aber aus einer Reihe von Gründen weit weniger verbreitet. Dazu gehören Interferenzen, bei denen Aspekte der Aufgabe, die später gelernt werden, die Leistung bei früher gelernten Aufgaben verringern.

Aus diesen Gründen, d. h. wegen der Notwendigkeit hoher Rechenleistung zur Verarbeitung dieser komplexen Algorithmen und anderen ähnlichen Gründen, ist eine in der Robotik häufig verwendete Methode, die „Intelligenz“ (wie oben beschrieben) aus dem Roboter selbst zu extrahieren und sie auf externen Geräten oder in der Cloud laufen zu lassen (siehe Abschnitt 4.1.2 für einen Überblick über die Roboterkommunikation). Zum Beispiel führt *IBM Watson*¹² eine Reihe komplexer Aufgaben aus, die dann in der Robotik angewendet werden können, wie z.B. die Bearbeitung verbaler Anfragen und das Abrufen der entsprechenden Informationen.

Es ist wichtig, die Fähigkeiten und Grenzen der KI im Kontext der Bildungsrobotik zu verstehen, da sie dazu verwendet werden können, Erwartungen darüber zu begründen, was die Roboter im Lernkontext tatsächlich erreichen können, sowohl für die Lehrenden als auch für die Lernenden. Wenn z.B. ein Roboter ethische Urteile fällt (siehe Abschnitt 10.2), wird davon ausgegangen, dass der Roboter in der Lage ist, die aktuelle Situation in ausreichendem Maße zu charakterisieren, diese genau zu interpretieren und auch die Konsequenzen möglicher Handlungen abzuleiten. Wie wir oben gesehen haben, würde dies die Anwendung einer Reihe von komplexen KI-Systemen erfordern, die derzeit noch nicht vollständig existieren. In einem anderen Beispiel haben wir gesehen, dass KI-Technologien in zunehmendem Maße auf Bildungsroboter (Abschnitt 5.7) angewandt werden. Es bleibt jedoch die Frage, wie die verschiedenen Funktionalitäten zusammengefügt werden können. Wenn der Roboter zum Beispiel ein wütendes Gesicht wahrnehmen kann, dann kann eine Verhaltensreaktion leicht programmiert werden (z.B. „Zurückweichen“). Wenn jedoch komplexere Reaktionen erforderlich bzw. gewünscht sind, dann ist eine wesentlich umfangreichere Programmierung erforderlich, die neben Logik auch die Fähigkeit zu argumentieren einschließt. Hier stößt man schnell – wie oben erwähnt – auf das Problem der mangelnden *Allgemeinintelligenz*.

¹² <https://www.ibm.com/watson>



Diskussionsfragen

- Welche Sensoren hat ein Roboter, die der Mensch nicht hat (und umgekehrt), und wie verändert dies die Art und Weise, wie er interagiert?
- Was ist die bessere Form der Bewegung: Gehen oder Rollen? In welchen Situationen gilt dies?
- Kann ein Roboter *wirklich* denken und fühlen?



Weiterführende Literatur

- Bruno Siciliano und Oussama Khatib. Springer handbook of robotics. Springer, Berlin Heidelberg, 2016.
- Maja J. Matarić. The robotics primer. MIT Press, Cambridge, MA, 2007. ISBN 9780262633543. URL <http://www.worldcat.org/oclc/604083625>.
- Christopher M. Bishop. Pattern recognition and machine learning. Springer, Berlin Heidelberg, 2006.

5

Roboter als Werkzeug

„True happiness comes from the joy of deeds well done, the zest of creating things new“

- Antoine De Saint-Exupéry



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- Arbeiten mit Robotern als Werkzeug.
- Computerkenntnisse: Was Sie wissen müssen.
- Wie Roboter in Bildungskontexte passen: effektive Integration.
- Herausforderungen, mit denen wir konfrontiert sind.

Seit den 1970er-Jahren werden Roboter als Teil eines konstruktivistischen Bildungsansatzes eingesetzt. Lernende bauen und programmieren Roboter, um durch aktive Erfahrung ein Verständnis von der Welt und technische Konzepte zu entwickeln. Roboter sind also Werkzeuge und Lernende arbeiten an ihnen, um Lernergebnisse zu erzielen. Die allerersten Bildungsroboter bauten auf dem Erfolg der *Logo*-Programmiersprache auf. In *Logo* wurde ein Cursor, *Turtle* genannt, so programmiert, dass er sich auf dem Bildschirm bewegt und dabei Linien zeichnet (siehe auch Bild 2.1). *Turtle*-Roboter wurden ebenfalls mit *Logo* programmiert und zeichneten mit einem Stift Linien auf ein Blatt Papier. Ab den 1980er-Jahren wurde eine Reihe von *Turtle*-Robotern produziert und verkauft, die in die Lehrpläne der Schulen aufgenommen wurden, um Kindern das Programmieren und damit verbundene Fertigkeiten beizubringen (Bild 5.1).

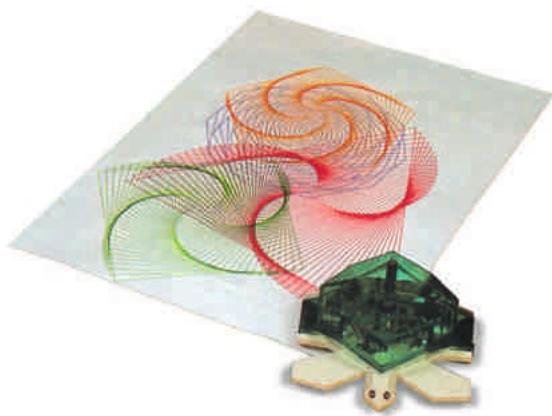


Bild 5.1

Der *Turtle*-Roboter *Valiant*, in den 1980er-Jahren ein beliebter, auf *Logo* basierender Bildungsroboter (© Valiant Technology Ltd.).

Roboter als Lehrmittel gibt es seit fast 50 Jahren. In diesem Kapitel wird untersucht, wie der Roboter von pädagogischen Fachkräften angenommen wird, wie er in die Lehrpläne integriert werden kann und was die erfolgreichen und weniger erfolgreichen Ergebnisse der Roboterrevolution in Schulen sind.

■ 5.1 Warum werden Roboter im Unterricht eingesetzt?

Roboter werden als Erweiterung der Programmierung am Computer mit dem Ziel eingesetzt, die Ausgabe von Programmen greifbar und manipulierbar zu machen. Bald wurde jedoch das Potenzial von Robotern als Unterrichtsinhalt oder für die Erläuterung eines breiten Themenspektrums deutlich. Heute werden Roboter als eine Möglichkeit gesehen, Lernende für die MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) zu begeistern und diese zu unterrichten. In den letzten Jahren wurde auch das Thema Design mit einbezogen, da Aspekte des Designs, der Form oder des Verhaltens des Roboters mehr als nur Technik erfordern. Daher werden Roboter heute als ideales Werkzeug zur Unterstützung der MINT-Ausbildung (MINT plus Kunst/Design) angesehen (Bild 5.2).



Bild 5.2 In der Initiative WeGoSTEM bauen Tausende von Vorschulkindern einen Roboter für den Einsatz im Kunstuunterricht. Der Roboter besteht aus einer kleinen Computerplatine, zwei Motoren und miteinander verbundenen Stangen, die einen Stift halten. Die Kinder programmieren den Roboter mithilfe einer visuellen Programmiersprache (© WeGoSTEM, www.wegostem.be)

Bildungsroboter werden im gesamten Spektrum der formalen Bildung eingesetzt. Angefangen in der Vorschule, ab dem Alter von drei oder vier Jahren, mit einfachen Robotern, die so programmiert werden können, dass sie eine Bewegungssequenz ausführen (Roussou und Rangoussi, 2019), bis hin zur Universitätsausbildung, wo komplexere Roboterbausätze verwendet werden, um fortgeschrittene Konzepte im Ingenieurwesen zu lehren und zu üben. Roboter haben auch außerhalb der formalen Bildung einen festen Platz, mit außerschulischen Aktivitäten und Vereinen, die ihre Aktivitäten auf den Bau und die Programmierung von Robotern konzentrieren (Ribeiro und Lopes, 2020).

Roboter werden eingesetzt, um ein breites Spektrum von Themen zu unterrichten, zu veranschaulichen oder zu betonen. In den meisten Bereichen werden Roboter jedoch auch dazu verwendet, die Robotik (Technik) selbst zu unterrichten. Jung und Won (2018) merken an, dass in der Mehrzahl der Fälle, Roboter als Lehrmittel eingesetzt werden, um über Roboter zu lehren. Obwohl Lerngewinne in den verwandten MINT-Fächern willkommen sind, stehen diese nicht im Fokus von Bildungsrobotern. Zu solchen MINT-Fächern gehören rechnergestütztes oder algorithmisches Denken sowie mathematische Konzepte oder Physik.

Es ist erwähnenswert, dass Roboter zunehmend eingesetzt werden, um den Unterricht in Fächern, die nicht als MINT-Fächer gelten, zu unterstützen. Beispielsweise wurden Roboter in der Früherziehung zur Vermittlung von Lese- und Schreibfähigkeiten (McDonald und Howell, 2012) oder zur Vermittlung von Computer- und Medienkompetenz in der Sekundar- und Hochschulbildung (Zeaiter und Heinsch, 2019) eingesetzt.

Aus theoretischer Perspektive werden Roboter aus verschiedenen Gründen in der Bildung eingesetzt. Der erste findet seinen Ursprung in der Bildungstheorie, insbesondere im Konstruktionismus von Papert und von Piaget (siehe Kapitel 2). Roboter werden eingesetzt, um Lernende dazu zu ermuntern, zu entwerfen, zu bauen und zu programmieren und dabei ihre Ansichten, ihr Wissen und ihre Fähigkeiten in Bezug auf alles, was sich aus dieser Tätigkeit ergibt, zu verändern. Dies ist ein *Learning-by-Doing*-Ansatz, der sich vom traditionellen Unterricht unterscheidet. Nicht nur durch den Einsatz von Übungen, sondern dadurch, dass man ein Problem aktiv und vorzugsweise in einer Gruppe angeht und durch mehrere Iterationen zu einer Lösung kommt, indem man also lernt, während man voranschreitet.

Der zweite Grund für die Einbeziehung von Robotern in den Unterricht besteht darin, dass man davon ausgeht, dass Roboter ein breites Spektrum von Altersgruppen und Hintergründen ansprechen. Roboter werden als ideale Verbindung zwischen Vergnügen und Lernen angepriesen (Vogan et al., 2020; Ahmad et al., 2019). Dies wird in der Tat durch viele Studien bestätigt, die die motivierenden Aspekte von Robotern als Bildungswerkzeuge betonen (Anwar et al., 2019).

Roboter werden auch als Mittel zur Erhöhung der Teilnahme, zur Vergrößerung der Vielfalt und zur Gewinnung eines breiteren Publikums für MINT-Fächer in

Sekundarschulen und Universitäten eingesetzt. Wir wissen zum Beispiel, dass in den MINT-Fächern ein sehr ausgeprägtes Ungleichgewicht zwischen den Geschlechtern besteht.¹ Es gibt nur wenige Belege dafür, wie erfolgreich diese Initiativen wirklich sind, aber es ist interessant festzustellen, dass jüngere Kinder offenbar kein geschlechtsspezifisches Ungleichgewicht bei der Eignung aufweisen. Sullivan und Bers (2013) fanden, dass Jungen und Mädchen gleichermaßen erfolgreiche Lernerfahrungen beim Programmieren von Robotern im Kindergarten machten.

Jung und Won (2018) argumentieren, dass angesichts des männlich geprägten Bildes von MINT-Berufen und der falschen Vorstellungen über das Leistungsgefälle zwischen Mädchen und Jungen, das Geschlecht und seine Auswirkungen auf die Wahl von MINT-Fächern und Berufen in einem viel breiteren Kontext diskutiert werden müssten. Vermutlich ist eher ein soziales Konstrukt als biologisch bedingte Faktoren als Ursache auszumachen. Zwar bestehen hohe Erwartungen an das sich ausweitende Potenzial der Roboterbildung, doch fehlt es derzeit an der Diskussion und insbesondere an einer Evidenzbasis für Aspekte von Kultur, Ethnizität, Sprache, sozioökonomischem Hintergrund sowie früher Erfahrung der Lernenden.

■ 5.2 Informatisches Denken (Computational Thinking)

Der Einsatz von Robotern als Werkzeug in der Bildung hat seinen Ursprung in der Vermittlung von Computerprogrammierung und der damit verbundenen Entwicklungen, die beeinflussen, wie Roboter programmiert werden. Bildung im Rahmen der Computerprogrammierung konzentriert sich hauptsächlich auf die Vermittlung von informatischem Denken. Die Lösung von Problemen durch systematische Aufteilung in eine Reihe von Schritten und Prozessen, die von einem Computer ausgeführt werden können. Zu den Schlüsselkonzepten gehören Zerlegung, Abstraktion und Mustererkennung, Daten und algorithmische Prozesse (unter Verwendung von Sequenzierung, Iteration, symbolischer Darstellung und logischer Operationen). Informatisches Denken ist seit den 1970er-Jahren auf dem Radar aufgetaucht, erfuhr aber erhöhte Aufmerksamkeit, als Jeannette Wing in einem kurzen, aber einflussreichen Positionspapier 2006 darauf hinwies, dass informatisches Denken eine universell anwendbare Fähigkeit sei, die nicht nur für die Programmierung relevant wäre und, dass es in den Lehrplänen der Schulen eine zentrale Rolle spielen sollte.

¹ Daten in Europa zeigen, dass Informatikabschlüsse auf Universitätsebene mit einem ausgewogenen Geschlechterverhältnis zu kämpfen haben. In Belgien sind nur 7,0% der Studierenden weiblich, in Deutschland sind 20,6% der Studierenden weiblich, wobei Bulgarien mit 29,8% die höchste Zahl aufweist (Europa, 2020).

Einige Programmiersprachen, wie z.B. *Logo*, wurden für die IT-Ausbildung entwickelt. Andere Sprachen, wie *Java* oder *Python*, sind zwar allgemeine Programmiersprachen, wurden aber in der Sekundar- und Hochschulbildung übernommen, um informatisches Denken und, darauf aufbauend, Programmieren zu lehren. Nennenswert ist vielleicht, dass das Lehren von informatischem Denken nicht unbedingt Programmieren erfordert: Die *CS Unplugged*-Initiative verwendet spannende Spiele und Puzzles, bei denen Karten, Schnüre, Buntstifte verwendet und viel Bewegung eingesetzt werden, um Konzepte der Informatik zu lehren.

Eine interessante Entwicklung ist die Einführung von Methoden der visuellen Programmierung in der Bildung („*drag and drop*“), die die Computerprogrammierung für jüngere Lernende populär gemacht hat. Während die visuelle Programmierung als Konzept länger bekannt ist, erlebte ihr Einsatz in der Bildung aufgrund von zwei Entwicklungen den Durchbruch: die Verwendung der visuellen Programmierung für die *LEGO Mindstorms*-Roboterbausätze sowie die Popularität der visuellen Programmierumgebung *Scratch*.

Scratch ist seit seiner ersten Veröffentlichung im Jahr 2003 als eine freie visuelle Programmierumgebung bekannt geworden und hat seitdem laufend an Popularität gewonnen. Kinder kombinieren Code-Blöcke zu Programmabläufen (Bild 5.3). Der visuelle Stil von *Scratch* beeinflusste die visuelle Programmiersprache *Blockly*², die entwickelt wurde, um Verbindungen zu verschiedenen Softwareteilen zu ermöglichen, einschließlich Software, die auf Robotern läuft. *Blockly* wird unter anderem bei <https://code.org/> und ihrer Initiative *Hour of Code*³ verwendet, wo den Lernenden algorithmisches Denken und Informatikprinzipien unter Verwendung von visueller Programmierung beigebracht werden. Die Erweiterung *Minecraft*, genannt *Minecraft for Education*, verwendet *Blockly*, um Lernende an Konzepte der Informatik und elementaren künstlichen Intelligenz heranzuführen.

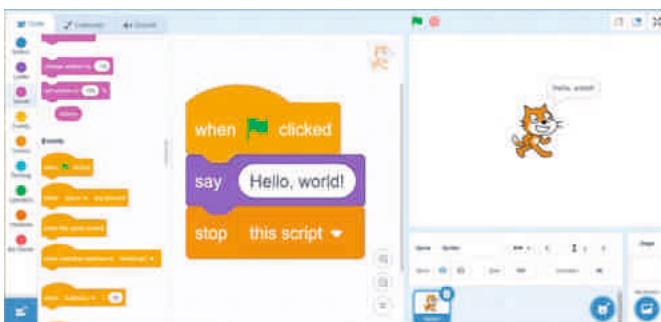


Bild 5.3 Die visuelle Programmierumgebung *Scratch* ermöglicht es Kindern, interaktive Animationen zu programmieren, indem sie Code-Blöcke an- und ineinander fügen (© MIT)

² <https://developers.google.com/blockly>

³ Es werden Open-Source- und eine breite Palette von auf Informatik und Programmierung basierenden Tutorials angeboten, wie z.B. einstündige Tutorien, die als „Hour of Code“ bekannt sind.

■ 5.3 Hardware

Die Erstellung und Modifizierung von Roboterhardware fügt der Lernerfahrung von Lernenden eine neue Dimension hinzu. Aspekte des Maschinenbaus, wie z.B. Motoren, Aktuatoren, Getriebeübersetzungen und Hebel können ebenso in den Lehrplan aufgenommen werden wie Umgebungsintelligenz in Form von Sensoren und Internet der Dinge. Es sind verschiedene Hardwaresysteme verfügbar, die Bausteine bieten, die zu benutzerdefinierten Robotern kombiniert werden können. *LEGO Mindstorms* ist wohl das populärste Beispiel für ein solches Hardwaresystem (Kubilinskiene et al., 2017), aber es ist bei weitem nicht das einzige.

5.3.1 Einsatzbereite Roboter (Ready-to-Run)

Wenn der Schwerpunkt des Lehrplans auf der Informatik liegt, dann sind Roboter, die keine Montage benötigen, eine gute Wahl. Auf diese Weise brauchen Lernende keine Zeit auf die Hardware aufzuwenden und alle arbeiten von Anfang an mit der gleichen standardisierten Hardware.

Der gut etablierte *NAO*-Roboter von *SoftBank Robotics* ist ein gutes Beispiel für einen solchen betriebsbereiten Roboter. Er erfordert keine Montage und bietet eine visuelle Programmierumgebung namens *Choregraphe* (Bild 5.4). Zusätzlich zur visuellen Programmierumgebung wird zur Steuerung des Roboters die Programmiersprache *Python* verwendet. *Choregraphe* enthält eine virtuelle Version verschiedener Versionen der *SoftBank Robotics*-Roboter, erlaubt jedoch nur eine eingeschränkte Simulation der Interaktionen des Roboters mit anderen Objekten/Menschen in der Welt. Es ist daher möglich, das Verhalten, insbesondere Animationen, des Roboters zu testen, aber es ist nicht möglich zu testen, wie der Roboter auf seine Umgebung oder Sprachanregung reagieren würde. *NAO* verfügt über einen leistungsfähigen Prozessor, der in der Lage ist, fortgeschrittene menschliche Interaktionsfähigkeiten wie Gesichtsidentifikation, Gesichtswiedererkennung und Spracherkennung durchzuführen. Der Roboter kann diese Aufgaben erledigen, ohne auf internetbasierte Dienste zurückgreifen zu müssen. Er verfügt auch über eine große Anzahl nützlicher Sensoren wie Kameras, Mikrofone und Abstandssensoren.

Obwohl *NAO* und sein größerer Bruder *Pepper* ausgezeichnete Plattformen sind, haben sie, wie in Kapitel 7 dargelegt, trotz ihrer Fragilität einen beträchtlichen Preis. Nur wenige Schulen in Industriestaaten könnten es sich unter normalen finanziellen Umständen leisten, ganze Klassenzimmer damit auszustatten (siehe Kapitel 8). Für das Erlernen des Programmierens sind weniger komplexe und damit erschwinglichere Roboter in der Regel die bessere Option.

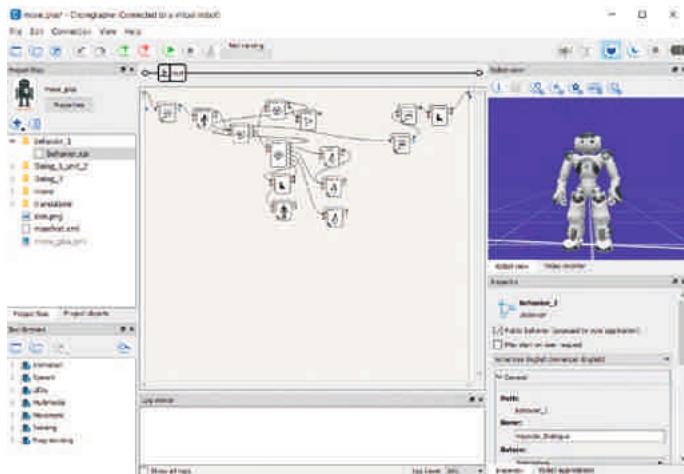


Bild 5.4 Integrierte Entwicklungsumgebung *Choregraphe* von SoftBank Robotics

Mehrere große Anbieter von Bildungsrobotern wie VEX und MakeBot bieten eine vollständige Palette von Produkten an, die von betriebsbereiten Varianten bis hin zu kundenspezifischer Hardware reichen. Eine beliebte Robotervariante sind kleine, Puck-förmige Roboter auf Rädern, die eine Reihe von Sensoren um ihre Außenhülle haben. VEX bietet seine *123 Plattform*⁴ an, während der berühmte *Khepera-Puck*-Roboter, jetzt in der vierten Generation⁵, weiterhin erhältlich ist. Was die Anwendung im Bildungsbereich betrifft, so ist jeder dieser Roboter im Wesentlichen „out-of-the-box“ einsatzbereit. Im Folgenden geben wir einen knappen Überblick der verfügbaren fertig montierten Roboter, die als „einsatzbereit“ eingestuft werden können.

Sony Aibo

Sony war mit seinem *Aibo*-Roboter wohl einer der ersten kommerziell erfolgreichen zoomorphen Roboter gelungen. Er verfügte während seiner ersten Produktionsperiode (1999 – 2013) zudem über eine Programmierumgebung namens *R-CODE*. Der *RoboCup*-Wettbewerb umfasste viele Jahre lang eine eigene *Aibo*-Liga. Im Jahr 2018 trat *Sony* mit der Veröffentlichung seines *ERS-1000* in eine zweite Produktionsperiode ein (siehe auch Bild 1.4). Im Jahr 2019 stellte die Firma neue Programmierwerkzeuge zur Verfügung. Sie bieten eine visuelle Programmierplattform ähnlich wie *Blockly* für Anfänger⁶ und ein Entwicklerprogramm für erfahrene Programmierer.

⁴ <https://www.vexrobotics.com/vex123>

⁵ <http://www.k-team.com/khepera-iv>

⁶ <https://visual-programmierung.aibo.com/us/>

MakeBot mTiny

MakeBot wirbt für seinen *mTiny*-Roboter, der wie eine kleine Katze⁷ gestaltet ist. Indem man dem Roboter eine zoomorphe Form gibt, soll er von der Zielgruppe besser erkannt werden, besonders vor dem Hintergrund, dass dieser Roboter auf jüngere Kinder ausgerichtet ist. Zusätzlich zu externen Werkzeugen stützt sich die Programmierung des *mTiny*-Roboters auf Basisgeräte und nicht auf die Verwendung von externen Computern, Tastaturen und Mäusen, was für die anvisierte Nutzungsgruppe besser geeignet ist.

Ozobot

Ozobot vermarktet seine *Ozobot-Bit*-Plattform⁸ (Bild 5.5), die mit *Blockly*, aber auch mit einem Farbsystem programmiert werden kann, das keinen externen Computer benötigt. Da diese Plattform ältere Lernende adressiert, liegt hier der Schwerpunkt eher auf einem Gruppenbildungskontext. Allen Robotern dieser Art ist gemeinsam, dass es sich um kleine Roboter auf Rädern handelt, die in erster Linie für den Einsatz auf Schreibtischen bzw. Tischen allgemein gedacht ist.



Bild 5.5

Ozobot Evo-Roboter
(© Evollve, Inc., www.ozobot.com)

5.3.2 Roboter-Baukästen

Im Sinne der konstruktivistischen Anwendung von Robotern zur Unterstützung der Lernenden bei der Entwicklung ihres informatischen Denkens, kann die Konstruktion (oder zumindest die Modifikation) des Roboters selbst vor der Programmierung ein wesentlicher Teil der Lernaktivität sein. In diesem Fall ist es wünschenswert, Robotik-Produkte einzusetzen, die einen entsprechenden Konstruktionsprozess erleichtern. Im Folgenden geben wir einen kurzen Überblick

⁷ <https://www.makeblock.com/mtiny>

⁸ <https://ozobot.com/educate>

über einige der derzeit verfügbaren Produkte. Zu beachten ist der Aspekt, dass diese „Bausätze“ in der Regel nicht miteinander kompatibel sind.

LEGO Mindstorms

In Kapitel 1 haben wir die Geschichte von *LEGO Mindstorms* vorgestellt. An dieser Stelle möchten wir darauf hinweisen, dass seit der Einführung der neuesten *Mindstorms*-Iteration im Jahr 2013, genannt *EV3*, von *The Lego Group* (TLG) kaum Fortschritte erzielt wurden. Anstatt einen leistungsstärkeren programmierbaren Baustein zu entwickeln, der eine natürlichere Mensch-Roboter-Interaktion ermöglicht (z.B. durch Spracherkennung oder *Computer Vision*), brachte *The Lego Group* eher einfachere, programmierbare Bausteine wie *Spike* und *WeDo* heraus. Mehrere Unternehmen bieten leistungsstärkere Erweiterungen für die *Mindstorms*-Plattform an. *Mindsensors* bietet zum Beispiel eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren an, aber eines der fortschrittlicheren Produkte ist das *Vision*-Subsystem, das *Computer Vision* für *Mindstorms* ermöglicht (siehe Abschnitt 4.2).

PiStorms und BrickPi

Sowohl *PiStorms* als auch *BrickPi* bieten eine Erweiterung für den beliebten *Raspberry Pi*-Computer, die ihn mit der *LEGO Mindstorms*-Plattform kompatibel macht. Zu diesem Zweck wird dem *Raspberry Pi* ein sogenanntes „Shield“ hinzugefügt, das die Anschlüsse zu den *LEGO Mindstorms*-Sensoren und Motoren enthält. Der *Raspberry Pi* behält seine Erweiterbarkeit durch seine anderen Anschlüsse. USB-Geräte wie z.B. Mikrofone können weiterhin verwendet werden und auch das Kameramodul des *Raspberry Pi* kann weiterhin angeschlossen werden. Die Kombination der Rechenleistung des erschwinglichen *Raspberry Pi*-Computers mit der Bequemlichkeit des *LEGO*-Bausystems machen ihn zu einem idealen Werkzeug für einen fortgeschrittenen Robotik-Lehrplan.



Bild 5.6

Der *PiStorms*-Aufsatz auf einem *Raspberry Pi* (Quelle: www.mindsensors.com)

Tinkerbots und Thymio

Sowohl *Tinkerbots* als auch *Thymio* bieten integrierte Roboterbausteine an, die mit dem *LEGO*-System kompatibel sind. Jedoch ist keiner von beiden in der Lage, die Vorteile der Sensoren oder Aktoren von *Mindstorms* zu nutzen. Während *Tinkerbots* über ein eigenes modulares System von Sensoren und Aktoren verfügt, die auf verschiedene Weise kombiniert werden können, um eine Vielzahl von Robotern zu erstellen, ist der Roboter *Thymio* (Bild 5.7) den oben beschriebenen Puck-Robotern ähnlicher.



Bild 5.7

Thymio-Roboter von „The Mobsya Association“
(© www.thymio.org)

SBrick

The LEGO Group bietet elektrische Komponenten an, die zum Bau eines Roboters verwendet werden können, die nicht Teil des *Mindstorms*-Systems sind. Die Produktlinie *Power Functions* zum Beispiel verfügt über mehrere Motoren. *SBrick* ist ein Mikrocontroller, der mit der oben beschriebenen *Scratch*-Umgebung programmiert werden kann. Er kommuniziert dann über Bluetooth mit einem Computer.

VEX IQ

VEX Robotics bietet ein Bausystem an, das viele Strukturelemente wie Träger, Achsen, Getriebe und Räder enthält. Sie können mit Sensoren, Aktuatoren und den programmierbaren Bausteinen kombiniert werden. Keines der Elemente ist allerdings mit dem *LEGO*-System kompatibel.

REV Robotik (FIRST Global Set)

Rev Robotics bietet auch ein Bausystem an, das den Systemen *LEGO* und *VEX* ähnelt, jedoch mit beiden nicht kompatibel ist. Es ist derzeit Teil des Wettbewerbs der *First League*, wie unten beschrieben (Abschnitt 5.5). Es ist daher die Grundlage für viele Roboterprojekte auf der ganzen Welt.

Makeblock mBot

Makeblock bietet ein Bausystem namens *mBot* an, das aus einem programmierbaren Baustein und einem metallbasierten Baukasten besteht, mit dem die Lernenden eine Vielzahl von Robotern bauen können.

5.3.3 TurtleBot

Der *TurtleBot* zielt auf die Hochschulbildung ab und hat bereits eine Reihe von Weiterentwicklungen durchlaufen. Der erste *TurtleBot* war eine modifizierte Version eines *Roomba*-Staubsaugers, der von *iRobot* zur Verfügung gestellt wurde. Der neueste *TurtleBot* wird von der koreanischen Firma *Robotis* verkauft. Das Besondere an der neuesten Version ist ihr offener Charakter: Alle Teile, vom Kunststoff bis zur Elektronik, und die gesamte Software sind *Open Source* und können mithilfe eines 3D-Druckers und fortschrittlicher Elektronikfertigung nachgebildet werden. Der Rechenkern, ein *Raspberry Pi*, ist einer der erschwinglichsten und beliebtesten Einplatinen-PCs. Auf dem *TurtleBot* läuft das *Robot Operating System* (ROS). Es wird verwendet, um Studierenden fortgeschritten Konzepte in der Programmierung und Steuerung mobiler Roboter beizubringen (Bild 5.8).

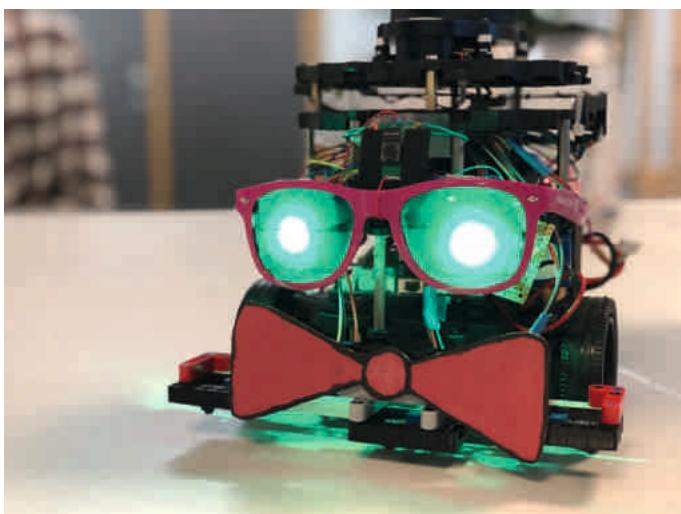


Bild 5.8 Ein *TurtleBot 3* mit modifizierter Hardware. Der Roboter interagiert mit Menschen und serviert bei Besprechungen Snacks. Der Roboter wird über einen Zeitraum von sechs Wochen von Masterstudierenden der Ingenieurwissenschaften programmiert

5.3.4 Benutzerdefinierte Hardware

Die Einführung erschwinglicher 3D-Drucker hat es Studierenden ermöglicht, ihre eigenen Roboterkomponenten zu erstellen. 3D-Druck kann dazu verwendet werden, bestehende Systeme, wie z.B. das *LEGO*-System, mit Teilen zu erweitern, die nicht im Handel erhältlich sind (Bild 5.9). Es kann aber auch verwendet werden, um völlig neue und/oder individuell angepasste Roboter zu erstellen. Diese Roboter und ihre Teile können online frei ausgetauscht werden, damit auch andere von

den Entwürfen profitieren können. Spezielle Online-Tausch-Websites wie *Thingiverse*⁹ und *GrabCAD*¹⁰ sind beliebte Foren für den Austausch von 3D-Daten, darunter Pläne für Roboter oder Teile von Robotern.

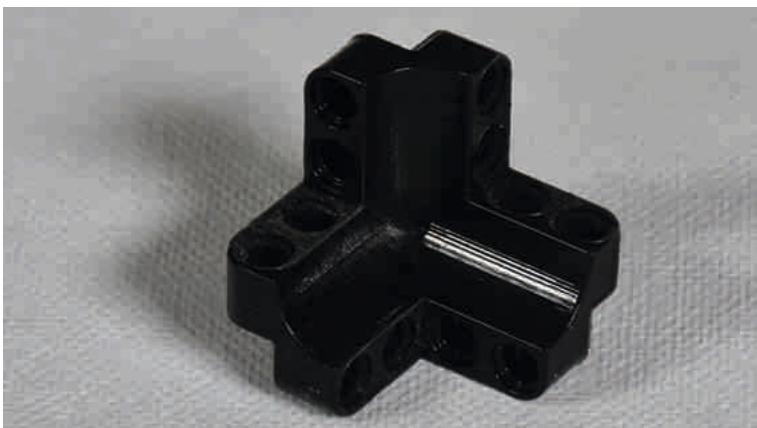


Bild 5.9 Ein 3D-gedruckter LEGO-Stein

Diese Kultur der „Open-Source-Hardware“ ermöglicht es Lernenden, nicht bei null anfangen zu müssen. Ein gutes Beispiel für ein solches Open-Source-Hardware-Projekt ist der *inMoov*-Roboter¹¹. Der lebensgroße humanoide Roboter kann mit einem herkömmlichen 3D-Drucker gedruckt werden (Bild 5.10). Nur die elektrischen Teile müssen separat bestellt werden. Eine Reihe dieser Roboter wurde bereits gebaut, z. B. mit verschiedenen Varianten in Bezug auf die Farbe und einiger kleinerer Teile, jeweils nach den Wünschen des Herstellers.

Roboter benötigen einen Mikrocontroller, wie in Kapitel 4 beschrieben, um sensorische Daten zu verarbeiten und alle Bewegungen zu steuern. Der *inMoov*-Roboter verwendet zum Beispiel den beliebten *Arduino*-Controller, der in verschiedenen Versionen erhältlich ist.¹² Auch der *Raspberry Pi* (in seinen verschiedenen Versionen) wird häufig in Roboterprojekten eingesetzt.

⁹ <https://www.thingiverse.com>

¹⁰ <https://grabcad.com>

¹¹ <http://inmoov.fr>

¹² <https://www.arduino.cc>



Bild 5.10 Der Open-Source-Hardware-Roboter *InMoov*

■ 5.4 Software

Neben der Hardware des Roboters – also den Aspekten, die Sie beispielsweise sehen, fühlen und manipulieren können – gibt es die Software, die für die Programmierung erforderlich ist und die die Lernenden angesichts der ihnen zugewiesenen typischen Programmieraufgaben nutzen (sowohl nach der Konstruktion des Roboterkörpers selbst, aber auch, wenn er einsatzbereit ist). In diesem Abschnitt konzentrieren wir uns auf die Aspekte der Software, die für die Lernenden zugänglich sind (zu den Aspekten der Software, die den Betrieb der Roboter ermöglichen, siehe Kapitel 4).

5.4.1 Programmierung

Fast alle Roboter erfordern ein gewisses Maß an Programmierung, und oft ist das Erlernen des Programmierens das wichtigste Bildungsziel. Roboter und Roboterplattformen bieten eine große Vielfalt an Entwicklungswerkzeugen, die von visuel-

ler Programmierung, wie *Scratch*, bis hin zu höheren Programmiersprachen wie *Java* reichen. Falls gewünscht, können die Lernenden auch in die tieferen Ebenen von Softwaresystemen eintauchen und den Roboter mit Programmiersprachen programmieren, die näher an der Hardware liegen, wie *C* oder sogar *Assembler*.

Gute Roboterplattformen bieten eine Vielzahl von Softwareoptionen. Die Roboterplattform *LEGO-Mindstorms* kann beispielsweise mit visuellen Programmiersprachen programmiert werden, die auf *LabView* von *National Instruments* basieren, wobei *Java* mit *LeJos*¹³ und sogar *C*¹⁴ verwendet werden kann. *NAO*-Roboter verwenden die virtuelle Programmierumgebung *Choregraphe* mit der zugrunde liegenden Programmiersprache *Python*. *NAO*-Roboter können auch mithilfe der *NAOqi*-API in verschiedenen Sprachen programmiert werden.

5.4.2 Simulationsumgebungen

Das Bauen, Testen und Optimieren der Soft- und Hardware eines Roboters ist zeitaufwendig. Verschiedene Werkzeuge wurden daher entwickelt, um den Prozess zu beschleunigen. Ein Ansatz besteht darin, eine vollständige Simulation des Roboters zu erstellen, der dann in einer virtuellen Umgebung arbeitet. Die Simulation umfasst oft wichtige Aspekte unserer Welt, wie z.B. Schwerkraft und Kollisionserkennung. Die Sensoren des Roboters sind in der Lage, die Wände der virtuellen Welt genauso zu erkennen, wie sie eine reale Wand erkennen würden.

Das Testen und Optimieren von Programmen kann erheblich verbessert werden, da sogar systematische Tests möglich sind. Um einem Roboter beizubringen, das Gleichgewicht zu halten, kann es zum Beispiel notwendig sein, eine Reihe von verschiedenen Parametern zu testen. In einer virtuellen Umgebung kann für jeden Parameter eine Reihe von Simulationen umgesetzt, automatisch abgespielt und die Ergebnisse aufgezeichnet werden. Eine ähnliche Umsetzung mit einem realen Roboter würde eine aufwendige Änderung der Parameter, das Herunterladen der Software in den Roboter, den Betrieb des Roboters in der Umgebung und die Aufzeichnung der Ergebnisse erfordern. Außerdem muss eine Simulation nicht unbedingt in Echtzeit ablaufen: Die Zeit kann beschleunigt werden, sodass die Simulation schneller abläuft und somit schneller Ergebnisse produziert werden können.

Es sind Simulationsumgebungen verfügbar, die verschiedene Robotermodelle simulieren können. *CoppeliaSim*¹⁵ und *Webots*¹⁶ richten sich an die Hochschulbildung und ermöglichen die Programmierung verschiedener simulierter Roboter-

¹³ <https://lejos.sourceforge.io>

¹⁴ <https://www.ev3dev.org/docs/tutorials/getting-started-with-c/>

¹⁵ <http://www.coppeliarobotics.com>

¹⁶ <https://cyberbotics.com>

modelle mittels Textcodierung. Letztere verfügt über eine Bibliothek von Robotern, zu der *NAO*, *Mindstorms* und viele andere gehören. Für die *LEGO Mindstorms*-Plattform steht das spezielle *Virtual Robotics Toolkit* (Bild 5.11) zur Verfügung¹⁷, das nicht nur den *Mindstorms*-Roboter simuliert, sondern auch die große Bibliothek von *LEGO*-Teilen importieren kann, die mit den *Mindstorms* verwendet werden können. Maßgefertigte *LEGO*-Modelle können mit etablierten digitalen *LEGO*-Bauwerkzeugen wie *LEGO Digital Designer*¹⁸ und *LDraw*¹⁹ gebaut werden. Diese Modelle können dann importiert und ihre Funktion mit dem *Virtual Robotics Toolkit* simuliert werden.

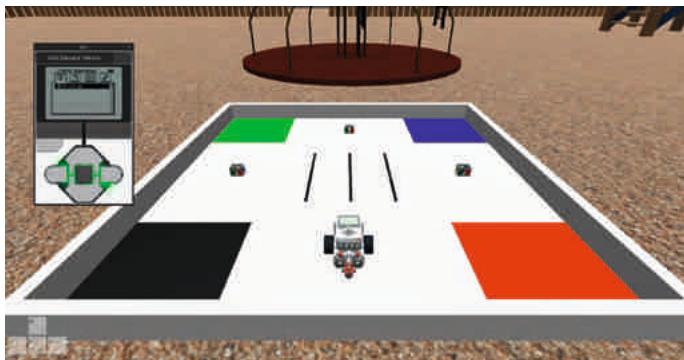


Bild 5.11 Ein *LEGO Mindstorms*-Roboter wird im *Virtual Robotics Toolkit* simuliert (© Virtual Robotics Toolkit, eine Software von Cognition Robotics Inc. mit Sitz in Winnipeg, MB, Kanada)

■ 5.5 Roboter-Wettbewerbe

Ein beliebtes Instrument zur Förderung der Robotik und allgemein eines breiteren Engagements in den MINT-Fächern sind Wettbewerbe. Bei diesen Veranstaltungen treten Studierende oder Schüler, oft in Teams, gegeneinander an, um eine Reihe von Aufgaben zu erfüllen. Viele Wettbewerbe finden lokal, in einzelnen Schulen oder Regionen statt, aber es gibt auch internationale Wettbewerbe, an denen Schulkinder teilnehmen können. Die *First League* und der *Robocup* sind zwei wichtige Beispiele für solche Roboterwettbewerbe.

Eine Disziplin in diesen Wettbewerben basiert auf einer Roboterplattform, die alle Teilnehmenden benutzen müssen, wie z. B. *Aibo*, *NAO* oder *Pepper*. Alle Teams ver-

¹⁷ <https://www.virtualroboticstoolkit.com/>

¹⁸ <https://www.lego.com/en-us/ldd>

¹⁹ <https://www.ldraw.org>

wenden die gleiche Roboterhardware und ihre Aufgabe besteht darin, das beste Verhalten zur Erfüllung einer Aufgabe zu programmieren. Dies führt dazu, dass der Schwerpunkt auf dem Programmieraspekt und nicht auf der Roboterhardware selbst liegt.

Ein anderer, offenerer Wettbewerb besteht darin, jedem Team den gleichen Satz an Komponenten zu geben, wie z.B. den *FIRST Global Set* von *REV Robotics* oder die *LEGO Mindstorms*. Hier müssen die Lernenden einen Roboter bauen und sein Verhalten programmieren und dabei die Perspektive des Konstrukteurs einnehmen (Abschnitt 2.1.3).

Schließlich gibt es Wettbewerbe, bei denen nur begrenzte Faktoren definiert werden, wie z.B. die maximalen Abmessungen des Roboters. Innerhalb dieser Einschränkungen ist es den Teams gestattet, ihren eigenen benutzerdefinierten Roboter zu bauen.

Roboterwettbewerbe sind nicht auf Schüler und Studierende beschränkt. Die *Defence Advanced Research Projects Agency* (DARPA) organisiert *Grant Challenges*, bei denen zum Beispiel autonome Fahrzeuge selbstständig zu einem Ziel fahren müssen. Die Schwierigkeiten dieser Aufgaben übersteigen das, was von einem Schulteam erwartet werden kann, stellen aber dennoch eine bedeutende Motivationskomponente für neue Entwicklungen dar (wenn auch im Forschungsbereich).

■ 5.6 Herausforderungen

Obwohl der Einsatz von Robotern als pädagogisches Instrument von Lehrenden auf der ganzen Welt enthusiastisch begrüßt wurde, gibt es noch einige Herausforderungen, die berücksichtigt werden müssen. Wir diskutieren hier die wichtigsten Herausforderungen und mögliche Lösungen für diese.

5.6.1 Mangelndes Vertrauen der Lehrkräfte

Auch wenn viele Schulen in die Anschaffung von Robotern investieren, verfliegt die anfängliche Begeisterung manchmal und die Roboter bleiben in einem Schrank eingeschlossen, ohne dass sie benutzt werden oder ohne, dass ihr volles Potenzial als pädagogisches Werkzeug genutzt wird²⁰. Die mangelnde Begeisterung der Lehrkräfte für Roboter lässt sich oft auf ihr mangelndes Vertrauen in den Einsatz von Robotern zurückführen, was wahrscheinlich in mangelnder technischer Affini-

²⁰ Ähnliche Tendenzen, Technologien im Klassenzimmer nicht oder falsch einzusetzen, lassen sich im Zusammenhang mit interaktiven Whiteboards feststellen.

tät begründet ist, wie in früheren Arbeiten gezeigt wurde (Reich-Stiebert und Eyssel, 2016), oder schlicht auf Misstrauen gegenüber der Technologie basiert.

In vielen Schulen ist der Einsatz von Robotern nicht Teil des Kernlehrplans und der Aufwand, der mit der Gestaltung einer Unterrichtsstunde mit Robotern verbunden ist, wird oft als größer angesehen als die Vorteile des Einsatzes von Robotern. In Schulen mit erfolgreichem und nachhaltigem Robotikunterricht werden die Unterrichtseinheiten oft von einem einzigen, engagierten Lehrer durchgeführt, der mit der Organisation und dem Angebot des Roboterprogrammierunterrichts weit über seinen Pflichtunterricht hinausgeht (la Velle und Georgeson, 2017).

Lehrkräfte erhalten keine formale Ausbildung in der Verwendung von Robotern als pädagogische Hilfsmittel. Und obwohl es eine kontinuierliche berufliche Weiterbildung für Lehrkräfte gibt, erhalten die meisten nie die Ausbildung, die erforderlich ist, um im Umgang mit digitalen Medien sicher zu werden, geschweige denn, um Robotikunterricht oder Unterrichtsstunden mit Robotern anzubieten. Da viele Lehrkräfte in der Regel eine 40-jährige Karriere hinter sich haben, wird eine Abneigung gegen den Einsatz von Robotern als pädagogische Werkzeuge wahrscheinlich fortbestehen. Eine Lehrkraft, die jetzt (2020) einen Abschluss macht, ohne eine Robotikweiterbildung zu erhalten, wird auch 2060 noch aktiv sein. Dies wird sich wahrscheinlich ändern, wenn mehr Lehrerausbildungsprogramme Studierenden Roboterkurse anbieten. Die meisten sind immer noch auf freiwilliger und bewertungsfreier Basis, aber einige Lehrerausbildungsprogramme beinhalten Roboterkurse als Teil des Lehrplans²¹. Eine weitere wichtige Tatsache ist, dass alle Lehrkräfte, die jetzt in diesen Beruf einsteigen, Teil einer digitalen Welt sind. Dies kann dem Einsatz von Robotern in der Bildung und den daraus resultierenden Vorteilen nur zugutekommen.

5.6.2 Roboter im Lehrplan

Während das informatische Denken inzwischen in allen Lehrplänen der Grund- und Sekundarschulen eingeführt ist, gehört der Einsatz von Robotern nicht unbedingt dazu. Die Europäische Union hat durch eine Initiative die Mitgliedsstaaten ermutigt, informatisches Denken und Informatik im Pflichtunterricht einzuführen. Graswurzelinitiativen wie die *EU-Code-Woche*, bei der in ganz Europa Tausende von Aktivitäten organisiert werden, um Kindern das Thema „Coden“ näher zu bringen, werden von der Europäischen Kommission und Partnern aus der Industrie unterstützt. Die Vereinigten Staaten haben die Initiative „Computer Science for All“ ins

²¹ Ein operatives Beispiel ist das 6 ECTS-Modul *RoboTeach*, das den Lehramtsstudenten an der Universität Marburg angeboten wird (siehe Kapitel 8).

Leben gerufen, die ermutigen soll, informatisches Denken und Informatik bereits in der Grundschule zum Teil des Lehrplans zu machen.

Die Erwähnung von Robotern fehlt jedoch weitgehend in diesen Empfehlungen. Es ist allein den Schulen, lokalen oder nationalen Behörden überlassen, ob sie in Roboter investieren wollen. Da die anfänglichen Ausgaben für Roboter recht beträchtlich sind, suchen Schulen oft nach alternativen Wegen, informatisches Denken und Programmieren zu unterrichten, da dies oft keine zusätzlichen Investitionen erfordert.

5.6.3 Wirksamkeit von Robotern in der Bildung

Roboter werden in der Schule seit Jahrzehnten aus den bereits erwähnten Gründen eingesetzt. Sie werden nicht nur beworben, weil sie das konstruktive Lernen von MINT-Fächern unterstützen, sondern auch, weil sie eine Möglichkeit bieten, die Beteiligung zu erweitern, den Mangel an technisch qualifizierten Arbeitskräften zu beheben oder die digitale Kompetenz der Lernenden zu fördern.

Doch trotz der langjährigen Praxis und zahlreicher Berichte über den Einsatz von Robotern in der Bildung gibt es nur wenige Informationen über deren Wirksamkeit und die Auswirkungen ihres Einsatzes. Kürzlich legten Pedersen et al. (2020) einen Bericht vor, der Schulen bei der Entscheidung helfen soll, in welches Robotik-Produkt sie investieren sollen. Sie untersuchten 29 Bildungsroboterprodukte und fanden 301 Studien, die sich mit den Ergebnissen ihres Einsatzes befassten. Sie kamen zu dem Schluss, dass es nicht genügend Studien gebe, um die Auswirkung des Robotereinsatzes zu vergleichen, und daher mehr Forschung erforderlich sei. Die Messung der Auswirkungen der Roboterbildung ist kurzfristig durchführbar – indem getestet wird, ob Kinder bestimmte Konzepte durch das konstruktive Lernen mit Robotern erworben haben –, aber die langfristigen Auswirkungen sind schwer zu messen, da es unmöglich ist, sie von den anderen Einflüssen auf Lernergebnisse und Einstellungen zu trennen.

■ 5.7 Ausblick

Nach 50 Jahren des Einsatzes von Robotern im formellen und informellen Lernen ist klar, dass Roboter nicht mehr wegzudenken sind. Es ist schwierig zu beurteilen, wie die Zukunft von Robotern in der Bildung aussehen wird, aber wir können ziemlich sicher sein, dass einige Kernkonzepte erhalten bleiben und, dass neue Entwicklungen in die Bildung durchdringen werden.

Der mobile Roboter, ob als einsatzbereites Gerät oder als Bausatz, wird wahrscheinlich die Hauptstütze der Roboterbildung bleiben, wobei Übungen wie das Bauen und Programmieren eines Roboters als „Linienfolger“ (d.h. die Konstruktion und Programmierung eines Roboters, der einer Linie folgen kann) eine Schlüsselkomponente in jedem Kurs sein werden. Doch neue Formen von Robotern halten Einzug in die Klassenzimmer. Soziale Roboter sind eine eigene Familie von Robotern, die nicht gebaut wurden, um sich wie mobile Roboter fortzubewegen, sondern die stattdessen darauf abzielen, mit Menschen zu interagieren, indem sie dieselben sozialen Signale verwenden, die bei der Interaktion von Mensch zu Mensch verwendet werden. Diese Roboter könnten Augen, einen Kopf, einen Mund und einen Körper haben, und die Programmierung dieser Roboter wird sehr unterschiedliche Komponenten erfordern. Elemente wie Vorwärts- und Rückwärtsbewegung oder Rotation sind hier nicht relevant. Stattdessen werden Fähigkeiten wie Gestikulieren, das Verstehen von Sprache, das Sprechen, sowie das Erkennen oder sogar das Wiedererkennen von Menschen relevant. Diese Roboter eröffnen neue Möglichkeiten und werden zwangsläufig ein neues Publikum anziehen (Bild 5.12).

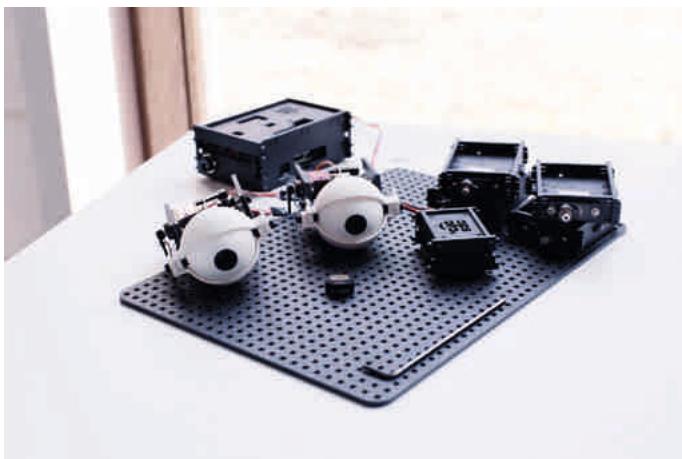


Bild 5.12 Der Roboterbausatz *Opsoro* (Open Platform for Social Robots), ein sozialer Roboter, der darauf abzielt, MINT-Fächer durch den Aufbau sozialer Interaktion zu lehren (© Jelle Saldien)

Eine wichtige Entwicklung in diesem Gebiet ist das erneute Interesse an künstlicher Intelligenz. Durch die Zunahme der Computerleistung und die Verfügbarkeit großer Datensätze kann die künstliche Intelligenz (KI) jetzt Dinge tun, die bis vor kurzem unmöglich waren. Spracherkennung, Objekt- und Gesichtserkennung, Übersetzung und Sprachproduktion haben in der jüngsten KI-Revolution ein neues Niveau erreicht. Durch den Einsatz von Cloud-Computing sind diese Technologien auch für jeden mit einem Internetanschluss verfügbar geworden. Ein eher norma-

ler, mit dem Internet verbundener Computer kann nun Kamerabilder oder Tonaufnahmen an Server in der Cloud senden: Augenblicke später wird die moderne KI zurückmelden, wer und was auf dem Bild zu sehen ist und was in der Tonaufnahme gehört oder gesagt wurde. Das bedeutet, dass Roboter immer noch preiswert und batteriebetrieben sein können, da die Hochleistungsberechnung in der Cloud erfolgt. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für Roboter, KI miteinzubeziehen. Stellen Sie sich vor, ein Roboter erkennt Sie jetzt und reagiert auf Ihre emotionalen Äußerungen, kommt auf Sie zu, wenn Sie lächeln, tröstet Sie, wenn Sie die Stirn runzeln, und kauert sich ängstlich zusammen, wenn Sie wütend aussehen. Schon jetzt ist es möglich, einen *LEGO Mindstorms*-Roboter mit *Amazons Alexa* zu verbinden, einer interaktiven Sprachassistenz. NAO-Roboter können mit Chat-Robotern verbunden werden. Es ist zu erwarten, dass die Verschmelzung von Bildungsrobotern mit Cloud-Diensten noch weiter zunehmen wird. Dieses Thema wird in Kapitel 4 weiter erläutert.

In den letzten Jahren wurde zunehmend untersucht, inwiefern Roboter eine aktiver Rolle in der Bildung übernehmen können (soziale Interaktion mit den Lernenden), wobei der Roboter als Tutor und Assistent Aufgaben des Lehrpersonals übernimmt. Dieses wird im nächsten Kapitel näher behandelt.



Diskussionsfragen

- Warum sollten und wie können Roboter – Ihrer Meinung nach – innerhalb der MINT-Bildung den Bereich Kunst/Design unterstützen?
- Was sind die Hauptbestandteile, die bei der Einführung eines Roboters in einem Bildungskontext zu berücksichtigen sind?
- Wie hat die Arbeit mit Robotern in der Schule Ihrer persönlichen Erfahrung nach Ihr Lernen unterstützt?



Weiterführende Literatur

- Peter J. Denning und Matti Tedre. Computational thinking. MIT Press Ltd., Cambridge, Massachusetts, 2019.
- David P. Miller und Illah Nourbakhsh. Robotics for education. In: Bruno Siciliano und Oussama Khatib (Hrsg.): Springer handbook of robotics, S. 2115–2134. Springer International Publishing, Cham, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-32552-1_79.

6

Roboter als soziale Agenten

„... robots show great promise when teaching restricted topics, with effect sizes on cognitive outcomes almost matching those of human tutoring“

– Belpaeme et al., 2018a



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- Arbeiten mit Robotern als soziale Agenten,
- Definition von sozialen Robotern,
- Rollen, die soziale Roboter in der Bildung einnehmen können,
- die Zukunft und Attraktivität von sozialen Robotern in der Bildung.

■ 6.1 Was macht einen sozialen Roboter aus?

Roboter, die aktuell für den Einsatz in Bildungskontexten zur Verfügung stehen, reichen von Roboterbausätzen wie den LEGO *Mindstorms* (wie in Kapitel 5 erwähnt) über Roboter mit Kopf, Armen und Beinen – sogenannte Humanoiden – bis hin zu Androiden und Geminoiden: Roboter, die von Menschen praktisch nicht zu unterscheiden sind. Doch welche Eigenschaften und Funktionen muss ein Roboter haben, um als ein sozialer Roboter zu gelten? Ein sozialer Roboter braucht im Großen und Ganzen zwei Elemente: eine Verkörperung auf verschiedenen Ebenen (Ferrari und Eyssel, 2016) und die Fähigkeit, mit Menschen auf emotionaler und kognitiver Ebene zu interagieren (Breazeal, 2005; Vogan et al., 2020). Das Konzept der Verkörperung ist vielschichtig, hier meinen wir primär die physische Präsenz des Roboters. Dies gibt dem Anwender das Gefühl der Kopräsenz mit dem Roboter in einem physischen Raum. Dies unterscheidet sich von einem virtuellen Agenten, mit dem nur in digital vermittelten Umgebungen wie z. B. über einen Computerbildschirm, Augmented Reality oder Virtual Reality interagiert werden kann (Obaid et al., 2011).

Ebenso wichtig ist das Verhalten, das uns einen Roboter als sozialen Agenten wahrnehmen lässt. Die Fähigkeit eines Roboters, mit Menschen auf sozialer Ebene zu interagieren, basiert auf dem Informationsaustausch, der durch die verbalen und/oder nonverbalen sozialen Hinweise zum Ausdruck kommt. Das bedeutet in der Mensch-Roboter-Interaktion die Fähigkeit des Roboters, soziale Hinweise anzuzeigen. Das können verbale und nonverbale Kommunikationskanäle, wie z.B. Sprache, durch Gesten angezeigte Emotionen oder durch Blickkontakt signalisierte Aufmerksamkeit sein. Das Ausdrücken solcher Interaktionsfähigkeiten trägt nachweislich positiv zur Wahrnehmung des Roboters als Interaktionspartner, zur Interaktionsqualität und den damit verbundenen Ergebnissen der gemeinsamen Interaktion zwischen Menschen und Robotern bei. Weitere Einzelheiten zu den sozialen Aspekten effektiver menschlicher Interaktion und wie diese in Robotertechnologien umgesetzt werden können finden Sie in den Kapiteln 3 und 4.

Ein sozialer Roboter muss nicht zwingend humanoid sein. Einfache Roboter können auch sozial sein. Eine Kiste auf Rädern (wie elektronische Bausätze wie *Boebot* oder *Thymio*), die auf Ihre Anwesenheit reagiert, das Gefühl in Ihrer Stimme liest und angemessen reagiert, kann ebenfalls als sozialer Roboter betrachtet werden. Ähnlich wie Tiere – denken Sie an Hunde, Katzen und Pferde – menschliche Signale interpretieren und angemessen reagieren können, so können dies auch Roboter. Ein menschenähnliches Erscheinungsbild und menschenähnliches Verhalten eines Roboters kann es jedoch menschlichen Benutzern erheblich erleichtern, das Verhaltens eines Roboters zu interpretieren (Manzi et al., 2020b).

■ 6.2 Rollen von sozialen Robotern in der Bildung

Während soziale Kompetenzen zweifellos ein fester Bestandteil der Bildung sind, bleibt die Frage, wie ein sozialer Roboter in Bildungskontexte integriert werden könnte. Menschen, seien es Kinder oder Erwachsene, lernen in verschiedenen Situationen, in denen sie unterschiedliche Rollen übernehmen: Man könnte zum Beispiel lernen, indem man ein Problem mit einem Kollegen oder einem Freund löst, genauso wie man lernen könnte, indem man von jemand anderem angeleitet wird. Man könnte aber auch lernen, indem man einen Gleichaltrigen unterrichtet oder mit einem Werkzeug oder Artefakt arbeitet.

Diese verschiedenen Rollen können in verschiedenen Situationen angemessen sein oder sogar von dem zu erlernenden Material/Thema abhängen. In gleicher Weise können soziale Roboter im Bildungskontext eine Vielzahl verschiedener Rollen übernehmen, die jeweils auf den oben beschriebenen sozialen Kompetenzen aufbauen. Mubin et al. (2013c) unternahmen einen der ersten Versuche, die

wesentlichen Rollen eines Roboters im Klassenzimmer abzugrenzen und identifizierten drei Rollen: die eines Tutors, Werkzeugs und „Peers“ (womit ein nicht-verwandter, gleichaltriger Mitlernender gemeint ist).

In diesem Abschnitt erläutern wir diese und weitere Rollen, beleuchten die Merkmale und Anforderungen an diese und geben Beispiele dafür, wie diese sozialen Roboterrollen in der Forschung und im kommerziellen Umfeld angewandt werden. Da viele der Rollen im Kontext der Bildung und Erziehung von Kindern in Erscheinung treten, hat sich ein Großteil der Forschung auf diese Rollen konzentriert. Gleichzeitig gibt es jedoch eine wachsende Zahl von Projekten, die darauf abzielen, Roboter in die Hochschulbildung zu integrieren.

6.2.1 Der Roboter als Tutor

Die am häufigsten vorkommende Rolle eines Roboters ist die eines Tutors. Eine Auswertung von Studien zum Einsatz von Bildungsrobotern zeigte, dass 48 % der Roboter als Tutor eingesetzt werden (Belpaeme et al. 2018a; siehe auch Reich-Stiebert und Eyssel 2016). In dieser Rolle tritt der Roboter typischerweise in einer Eins-zu-Eins-Interaktion mit dem Lernenden (Serholt et al., 2014) und nur gelegentlich in einer Eins-zu-N-Interaktion mit mehreren Lernenden (Mubin et al., 2019a). Der Roboter als Tutor ist vielleicht der pragmatischste, vielversprechendste und zugleich anspruchsvollste Einsatz eines sozialen Roboters in der Bildung. Ein Roboter kann einzelnen Lernenden besondere Aufmerksamkeit schenken und damit die Arbeit eines Lehrers in einem typischen Klassenzimmer unterstützen. Er kann Kindern helfen, die sonst zurückbleiben, oder Kinder herausfordern, die schon voraus sind, ohne die üblichen Aktivitäten im Klassenzimmer zu stören. Er hat unendlich viel Geduld und der Lernende kann solange Lerninhalte üben, wie der Roboter verfügbar ist. Darüber hinaus wird der Roboter vom Lernenden oft als nicht wertend empfunden, wodurch die Angst, die oft mit der Beantwortung von Fragen seitens eines menschlichen Tutors oder Lehrers verbunden ist, wegfällt.

Ein Tutor-Roboter passt seine Reaktionen und seinen Lehrstil an den Lernenden an; eine solche Personalisierung kann über den Unterricht hinausgehen. Ein Tutor-Roboter könnte Informationen über das Leben des Lernenden außerhalb des Klassenzimmers haben. Etwa darüber, wie der Lernende sich gefühlt hat, als er den Roboter das letzte Mal getroffen hat (Ahmad et al., 2019). Er könnte eine freundschaftliche Konversation führen und nachfragen, wie es dem Lernenden beim Fußballspiel am letzten Wochenende ergangen ist oder ob dieser mit seinen Freunden etwas unternommen habe. Diese Verhaltensweisen tragen dazu bei, dass ein Roboter als sozialer Interaktionspartner wahrgenommen wird. Studienergebnisse belegen, dass solche Kommunikationsmuster von menschlicher Lehrpersonen eine gute Schüler-Lehrer Beziehung fördern und oft zu besseren Lernergebnissen führen (Witt et al., 2004; Wilson und Locker Jr., 2007).

In einer Reihe von Forschungsstudien wurde die Wirkungen eines Tutor-Roboters auf die Lernenden in Bezug auf ihre Lernergebnisse sowie ihre Wahrnehmung des Lernprozesses untersucht. Die typische Anordnung, die in diesem Versuchsaufbau verwendet wird, ist ein einzelner Tutor-Roboter, der einem einzelnen Kind hilft (obwohl es Beispiele für Tutor-Roboter gibt, die eine kleine Gruppe von Menschen anleiten), wobei der Lernende zusätzlich zu seinen regulären Unterrichtsaktivitäten gezielte Unterstützung erhält. Diese Interaktionen können in einem Klassenzimmer mit anderen anwesenden Kindern und Lehrern oder in ruhigeren Räumen außerhalb des Klassenzimmers stattfinden.

Es gibt eine Reihe von Varianten des robotergestützten Unterrichts, die in kontrollierten Studien in Universitätslaboratorien und in Feldversuchen (z.B. in Schulen oder Krankenhäusern) durchgeführt wurden. So wie gute Lehrkräfte bekanntermaßen mehr verbale und nonverbale Expressivität in ihrer Lehre einsetzen, wurde ein ähnlicher Effekt bei Tutor-Robotern nachgewiesen. Zum Beispiel haben Kennedy et al. (2017a) gezeigt, dass sich Kinder an eine Geschichte, die ihnen von einem Roboter erzählt wurde, eher erinnern, wenn er nonverbale Verhaltensweisen anwendet, die von auch menschlichen Lehrern verwendet werden, als wenn er dies nicht tut. In ähnlicher Weise hat sich herausgestellt, dass das Konzept der Personalisierung einen positiven Einfluss auf die Wahrnehmung des Tutor-Roboters hat. Gordon et al. (2016) zeigten zum Beispiel eine höhere Qualität der Interaktion von Lernenden mit einem personalisierten Tutor-Roboter und der daraus resultierenden Lernergebnisse. Leyzberg et al. (2018) demonstrierten außerdem, dass die Anpassung der Lektionen durch den Roboter an das Niveau des Lernenden zu verbesserten Lernergebnissen führte.

Es ist wichtig zu beachten, dass es einige Einschränkungen und Bedenken in Bezug auf die Verwendung von Roboter-Tutoren gibt. Die drei wichtigsten sind Datenschutz, die Herausforderungen in Bezug auf die Unterrichtsdisziplin und technische Unzulänglichkeiten (Sharkey, 2016). Darüber hinaus analysierte Serholt (2018) beispielsweise die Interaktionen eines sozialen Tutor-Roboters mit Kindern in einer Schule über einen Zeitraum von dreieinhalb Monaten. Es zeigte sich, dass es zu Störungen in den Interaktionen kam, die oft durch eine falsche Auslegung von Kontext und Inhalt seitens des Roboters verursacht wurden. Die Konstruktion eines guten Roboter-Tutors ist eine besondere Herausforderung: Eine Reihe von Studien hat gezeigt, dass die bloße Implementation von menschenähnlichen Verhaltensweisen in einen Roboter nicht unbedingt zu besseren Lernergebnissen bei den Lernenden führt (Kennedy et al., 2015), da das Sozialverhalten des Roboters seine Lehrfähigkeit beeinträchtigen kann. Sozialverhalten sollte sparsam und angemessen eingesetzt werden (Kennedy et al., 2017b) und nur dann, wenn es die pädagogische Rolle des Roboters unterstützt. Beispielsweise können Gesten und Sprache wirksame soziale Signale sein, aber wenn sie zur falschen Zeit eingesetzt werden, können sie ablenkend und störend wirken. Dasselbe gilt für die Personalisierung des Sozialverhaltens. Eine Studie fand heraus, dass personalisierte motivierende Äuße-

rungen zu einer schlechteren Aufgabenerfüllung führten, als wenn ein Roboter ein breites Spektrum an motivierenden Äußerungen zeigte (Gao et al., 2018). Diese und andere Beispiele verdeutlichen, dass es trotz des Potenzials von sozialen Tutor-Robotern nach wie vor eine Reihe praktischer und grundsätzlicher Probleme gibt, die zumindest aktuell den umfassenderen Einsatz solcher Roboter einschränken.



Das Erlernen von Fremdsprachen und insbesondere das Fremdsprachen-Tutoring wurde als besonders vielversprechendes Anwendungsgebiet von Roboter-Tutoren identifiziert (Belpaeme et al., 2018b). Die Muttersprache wird durch den Austausch mit Eltern, Geschwistern und Gleichaltrigen erworben, wohingegen eine Fremdsprache häufig in einer formalen Schulumgebung gelernt wird. Der Lernprozess ist hier radikal anders. Die Sprache wird nicht mehr durch Interaktion erlernt, sondern durch das Auswendiglernen von Vokabellisten und grammatischen Regeln. Dieser starke Kontrast in der Art des Lernens ist zu einem großen Teil auf Ressourcenbeschränkungen zurückzuführen. Der Lehrer kann nicht mit jedem einzelnen Schüler im Klassenzimmer in der Zielsprache interagieren und unterrichtet eine Fremdsprache stattdessen häufig im traditionellen Klassenunterricht. Hinzu kommt, dass ein Lehrer möglicherweise nicht selbstbewusst genug ist, um flüssig in der Zielsprache zu sprechen oder nicht alle Aspekte der Zielsprache beherrscht. Beispielsweise haben englischsprachige Lehrer, deren Muttersprache Englisch ist, oft Schwierigkeiten mit der französischen Aussprache und machen aus „un, deux, trois“ ein ungewöhnlich artikuliertes „uhn, doh, twah“.

Hier kann ein Roboter-Tutor Unterstützung bieten. Der Roboter kann das Kind beim Erlernen einer Fremdsprache unterstützen, indem er nicht nur Nachhilfeunterricht anbietet, sondern eine echte Interaktion in der Zielsprache ermöglicht. Der Roboter kann nicht nur Sprachunterricht anbieten, sondern hat durch Software-Updates wahrscheinlich eine bessere Aussprache als der Lehrer (Chang et al., 2010). Außerdem könnte der Lernende weniger Angst vor der Fremdsprache empfinden. Wir alle haben schon einmal Unbehagen gespürt, wenn wir aufgefordert wurden, in einer Sprache zu sprechen oder laut vorzulesen, die nicht unsere Muttersprache ist. Dieses Unbehagen kann in der Interaktion mit einem Roboter verschwinden. Nicht nur, weil der Roboter der einzige ist, der Ihre „unbeholfene“ Aussprache bemerkte, sondern auch, weil Roboter im Allgemeinen als nicht wertend angesehen werden. Dem Roboter ist es egal, ob Ihr „Quel âge as-tu?“ wie „kell arge ass too“ klingt. Er wird Sie mit unendlicher Geduld und ohne zu urteilen korrigieren.

Das L2TOR-Projekt untersuchte, wie Roboter den Fremdsprachenunterricht für Kleinkinder unterstützen könnten (Vogt et al., 2019). Im Jahr 2018 versuchte ein internationales Forscherteam herauszufinden, ob ein sozialer Roboter niederländischen Vorschulkindern Französisch beibringen könnte. Die „*Critical Age Hypothesis*“ der Entwicklingslinguistik legt nahe, dass das Erlernen einer Sprache am besten so früh wie möglich erfolgen sollte, idealerweise vor Erreichen der Pubertät, da jenseits dieses Alters die Fähigkeit zum Erlernen einer weiteren Sprache stark abnimmt. Aus diesem Grund konzentrierten sich die Forscher auf Kinder im Alter von fünf Jahren, jedoch nicht jünger, da die Kinder sonst nicht nur Schwierigkeiten mit der Struktur des Unterrichts haben, sondern oft auch von dem Roboter eingeschüchtert sind.

Der Roboter, ein humanoider *SoftBank Robotics NAO*, saß neben den Kindern auf dem Boden. Gemeinsam konnten das Kind und der Roboter einen Tabletcomputer bedienen, auf dem Bilder und Animationen gezeigt wurden (Bild 6.1)¹. Um der begrenzten Fähigkeit des Roboters, die Sprache der Kinder zu verstehen, entgegenzuwirken, diente der Tabletcomputer auch als Eingabegerät (2017c). Die Kinder wurden gebeten, die richtige Antwort auf eine Frage auf dem Bildschirm anzutippen. Der Roboter brachte den Kindern eine Reihe von englischen Wörtern bei, die in kurze Sätze eingebettet waren. Bei diesen Wörtern handelte es sich um Substantive wie „Giraffe“, „Affe“, „Junge“, aber auch um Zähl- und Raumwörter wie „eins“, „zwei“, „drei“, Präpositionen wie „neben“ oder „dahinter“ und Aktionsverben wie „springen“.



Bild 6.1 Ein sozialer Roboter, der eine Fünfjährige beim Erlernen einer Fremdsprache unterstützt

Die Kinder absolvierten zunächst einen Vortest, gefolgt von sieben Lektionen und beendeten die Lektion mit einem Post-Test und einem zeitlich versetzten zweiten Post-Test. Die Kinder kamen aus Vorschulen in den Niederlanden und wurden einer von vier Gruppen zugeordnet. Eine Gruppe, die mit einem Tablet, aber ohne Roboter lernte, eine Gruppe, die mit einem Roboter lernte, eine Gruppe, die mit einem Roboter lernte, der Gesten benutzte, um die Bedeutung von Wörtern zu unterstützen (z.B. wurden Wörter wie „Affe“ oder „dahinter“ vom Roboter nachgespielt), und eine Gruppe, die überhaupt keinen Unterricht erhielt (die Kontrollgruppe). Die Studie untersuchte die Wirksamkeit eines sozialen Roboters beim Beibringen neuer Wörter, beleuchtete den zusätzlichen Nutzen der Gesten eines Roboters für das Lernen und Behalten von Wörtern und explorierte, ob Kinder von einem Roboter mehr lernen als von einem reinen Online-Programm auf dem Tablet. Das Forscher-Team konnte zeigen, dass Kinder die von einem Roboter-Tutor unterrichtete Fremdsprache gleichermaßen erlernen und behalten, als wenn sie mithilfe einer reinen Tablet-Anwendung lernen, konnte aber keinen positiven Effekt von der Verwendung von Gesten des Roboters nachweisen.

¹ Die Verbindung mit dem Computer über ein Netzwerkkabel, wie in Bild 6.1 dargestellt, ist notwendig, um eine stabile Verbindung zwischen dem Roboter und einem Computer für die Bildabfrage und Bildverarbeitung zu gewährleisten. Dies wird in Abschnitt 4.1 erörtert.

6.2.2 Der Roboter als Peer

Soziale Roboter werden in der Bildung auch als Peers eingesetzt. In diesem Fall übernimmt der Roboter typischerweise die Rolle eines Mitschülers oder eines Mitlernenden. Das Kind und der soziale Roboter ergründen oder bearbeiten gemeinsam eine Aufgabe. Sie arbeiten zusammen, zeigen konkurrierendes Verhalten und ergreifen wechselseitig die Initiative. Erkenntnisse deuten darauf hin, dass das gemeinschaftliche Lernen unter Gleichaltrigen sowohl motivationale als auch kognitiv förderliche Effekte auf die Entdeckung und das Erlernen grundlegender Konzepte hat (Damon, 1984), genauso wie den Erwerb und das Üben übertragbarer Fertigkeiten wie verbesserte Kommunikation und Kooperation fördert (Topping, 2005). Dieser Ansatz, den sozialen Roboter als Peer einzusetzen, entspricht den Grundsätzen der konstruktivistischen Lerntheorien, da die begrifflichen Strukturen und die Sprache zwischen den Lernenden besser aufeinander abgestimmt sind (siehe Abschnitt 2.1). Tatsächlich gibt es erste experimentelle Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass ein Peer-Roboter im Gegensatz zu einem Tutor-Roboter das Engagement bei einer Aktivität (einem Tangram-Spiel) und damit einhergehend die Aufgabenleistung positiv beeinflusst (Zaga et al., 2015).

In Bezug auf die Anwendungen ist der typische Einsatzkontext eines sozialen Peer-Roboters als dem des sozialen Tutor-Roboters ähnlich: d.h. typischerweise werden beide in einer Eins-zu-Eins-Interaktion mit einem einzelnen Kind eingesetzt. Folglich gibt es eine Reihe ähnlicher Überlegungen für den Roboter als Peer: Die Auswirkungen der Personalisierung und des interaktiven Verhaltens sind von besonderer Bedeutung.

Wichtig bei der Betrachtung von Peer-Robotern ist das Konzept des relativen Entwicklungsstandes (Obaid et al., 2016b). Im Gegensatz zu einem Tutor, dessen Rolle in Bezug auf den eigenen Status überlegen ist (er verfügt über mehr Wissen/Fähigkeiten in der jeweiligen Lerndomäne), hätte ein Peer idealerweise den gleichen Stand wie der Lernende. Dies wird z.B. durch die physische Größe erleichtert: In Interaktionen hatte die Größe des Roboters einen Einfluss auf Wahrnehmung der Dominanz (Rae et al., 2013), wobei die wahrgenommene Dominanz des Roboters geringer eingestuft wurde, wenn der Interaktionspartner größer war. Studien haben zudem gezeigt, dass ein größerer Roboter stärkere Kontrolle über eine Schulkasse behalten kann. Kinder betrachten einen kleineren Roboter hingegen als freundlicher (Bae und Han, 2017a, 2017b). Dies deutet darauf hin, belegt aber nicht eindeutig, dass ein Peer-Roboter nicht wesentlich größer sein sollte als der Lernende. In Übereinstimmung mit dieser Überlegung sind die verwendeten Roboter typischerweise kleiner. Der kleine humanoide NAO-Roboter wird beispielsweise mittlerweile als ein Standardroboter eingesetzt.

Soziale Peer-Roboter bieten großes Potenzial bei der Unterstützung von Lehrkräften. Eine Einsatzmöglichkeit bestünde beispielsweise darin, Peer-Roboter gezielt

für die Förderung einzelner leistungsstarker oder leistungsschwacher Lernender einzusetzen, sodass dem Lehrpersonal mehr Zeit für die Unterstützung anderer Schüler zur Verfügung steht. Angesichts der hohen Kosten und/oder der geringen Verfügbarkeit zusätzlichen Lehrpersonals, ist der Einsatz von sozialen Peer-Robotern vielversprechend. Vor dem Hintergrund der bereits erwähnten Vorteile des peergestützten Lernens (wie verbesserte Kommunikation, Kooperation und Vertrauen), erscheint der Einsatz von sozialen Peer-Robotern insbesondere bei Lernenden mit Lernschwierigkeiten gerechtfertigt. Allgemein hat die Anwendung von Peer-Robotern zur Unterstützung von Lehrkräften viel Potenzial.



Das Potenzial von Peer-Robotern wurde in einer Studie erforscht. Baxter et al. (2017) untersuchten den Einfluss der Personalisierung eines sozialen Peer-Roboters auf die Lernergebnisse in einer in Großbritannien durchgeführten Studie, bei der zwei mit Touchscreens ausgestattete Roboter über einen Zeitraum von zwei Wochen in zwei Klassenzimmern aufgestellt wurden. Beide Roboter vermittelten dieselben Aufgaben, der eine Roboter personalisierte seine Aktionen jedoch entsprechend des Verhaltens und der Leistung der interagierenden Kinder, während der andere Roboter durchgehend ein konsistentes, nicht personalisiertes Verhalten beibehielt. Während dieser Zeit agierten die Roboter autonom und ohne technische Aufsicht. Es war kein Roboteriker anwesend, der beobachtete was geschah; nur das übliche Lehrpersonal und die Schulkinder waren beteiligt.

In dieser Studie umfasste die Personalisierung drei verschiedene Aspekte, die sich sowohl auf die Anpassung des Roboterverhaltens an das Verhalten des Lernenden als auch auf die Anpassung an persönliche Lernermerkmale bezog. Im Hinblick auf den ersten Aspekt passte der Roboter sein Verhalten sowohl an das Verhalten des Kindes (z.B. Bewegungsgeschwindigkeit und Genauigkeit) als auch an die Leistung des Kindes (d.h. Modifizierung des Lerninhalts je nachdem, wie gut das Kind lernt) an. In Bezug auf den zweiten Aspekt umfasste die Anpassung persönliche verbale Äußerungen wie die Verwendung des Namens des Kindes und informelles personalisiertes Feedback.

Insgesamt 59 Kinder im Alter von 7 bis 8 Jahren nahmen an der Studie teil. Sie befanden sich in zwei getrennten Klassenräumen in derselben Schule – es waren unabhängige Gruppen mit ähnlichen Merkmalen im selben Bildungskontext und ermöglichten daher einen Vergleich unter verhältnismäßig gleichen experimentellen Bedingungen. Es gab zwei Lerninhalte: einen aus der Mathematik (Zeittafeln), mit dem die Kinder dem Lehrplan zufolge etwas vertraut waren (diesen aber noch nicht sicher beherrschten), und einen Inhalt aus dem Fach Geschichte, der ihnen bisher gänzlich unbekannt war (was mit einem Wissenstest vor der Studie verifiziert wurde). Die Aktivität umfasste eine Sortieraufgabe, bei der das Kind oder der Roboter jeweils Bilder auf einem Touchscreen per *Drag'n'Drop* verschieben konnten oder die Aktivität gemeinsam ausführen konnten.

Die Ergebnisse der Studie deuteten darauf hin, dass die Interaktion mit dem personalisierten Peer-Roboter zu besseren Lernergebnissen bei der neuartigen (Geschichts-)Aufgabe im Vergleich zum nicht-personalisierten Roboter führte, während

der Effekt bei der vertrauten (Mathematik-)Aufgabe nicht so deutlich war. Des Weiteren bewerteten die Kinder den personalisierten Roboter etwas positiver als den nicht-personalisierten Roboter, jedoch war dieser Unterschied (statistisch gesehen) nicht signifikant.

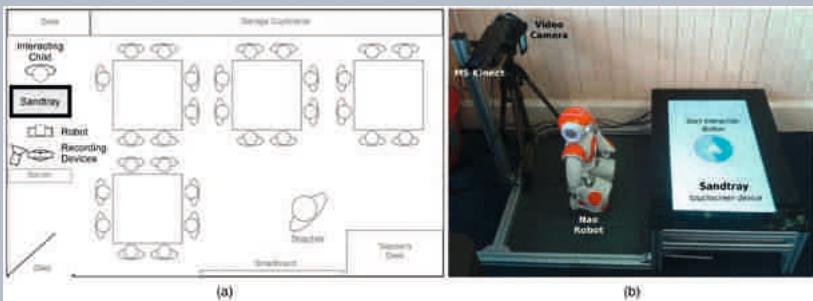


Bild 6.2 (a) Der Roboter wurde in einem Klassenzimmer mit anderen Kindern und der Lehrkraft aufgestellt, ohne dass die Forscher anwesend waren; (b) der Roboter und der Touchscreen, den die Kinder zur gemeinsamen Bearbeitung der Lernaufgaben benutzten

6.2.3 Der Roboter als Novize

In einer weiteren Rolle, kann ein Roboter auch als Lernender (anstelle eines Lehrenden) eingesetzt werden. Hier wird der Roboter als weniger sachkundiger Peer vorgestellt und die Lernenden werden dazu aufgefordert, den Roboter zu unterrichten. Dieser Ansatz des „Lernens durch Lehren“ geht über das gegenseitige Unterrichten hinaus und stellt den Roboter als einen Novizen dar, der unterrichtet werden soll. Dieser Ansatz basiert auf zwei Schlüsselementen. Zum einen ist es vorteilhaft, anderen etwas zu erklären, um ein tieferes Verständnis für ein Thema zu entwickeln. Zum anderen kann ein weniger gut informierter Lernender, in diesem Fall ein Roboter, das Selbstvertrauen schwächerer Lernender stärken: Wenn man jemanden etwas beibringen kann, und man gebeten wird zu helfen, vor allem, wenn dieser jemand ein Roboter ist, dann kann das das Selbstvertrauen vieler Kinder stärken. In der Pädagogik wird dies manchmal als Protegé-Effekt bezeichnet. Die gesteigerten Lernergebnisse von Schülern, die andere unterrichten, sind gut dokumentiert (Chase et al., 2009).



Das schweizerische *CoWriter*-Projekt untersuchte, wie Kinder ihre Handschrift durch das Unterrichten eines weniger fähigen Roboters verbessern können. Das Projekt besonders interessant, weil es den Roboter als Novizen vorstellt und den Roboter benutzt, um feinmotorische Fähigkeiten zu lehren.

Forscher untersuchten, wie ein Roboter zur Verbesserung der Handschrift eingesetzt werden könnte. Handschrift ist nach wie vor eine wichtige Fähigkeit in der Bildung und es ist dokumentiert, dass eine schlechte Handschrift mit schlechten schulischen Leistungen im späteren Leben korreliert ist. Daher ist eine frühe Förderung an dieser Stelle wichtig. Hier kommt der Ansatz „Lernens durch Lehren“ zum Tragen. Da Kinder mit schlechten Handschriftfähigkeiten niemandem Handschrift beibringen können, wurde ein Roboter eingesetzt, der keine Handschrift beherrscht. Der Roboter, ein *NAO*-Roboter, „schreibt“ auf einem Tabletcomputer, indem er seinen Finger darüber bewegt auf dem dann schlecht geformte Buchstaben erscheinen. Daraufhin wird der Lernende aufgefordert, die Schrift des Roboters zu korrigieren (Hood et al., 2015). Fallstudien zeigen, dass das Unterrichten des Roboters die Kinder dazu bringt, über ihre eigene Handschrift nachzudenken und dass sie deutlich besser darin werden, wiederholt konsistente Formen zu zeichnen (Lemaignan et al., 2016).



Bild 6.3 Verbesserung der Handschreifähigkeiten, indem einem Roboter die Feinmotorik beigebracht wird

6.2.4 Der Roboter als Assistent im Klassenzimmer

Wie im ersten Kapitel dieses Buches dargelegt wurde, verändern sich Lehren und Lernen dramatisch. Die Wissensvermittlung und der Wissenserwerb erfolgen heute in vielen Bereichen digital und selbstgesteuert und die Notwendigkeit der Wissensvermittlung im Präsenzunterricht wird zunehmend in Frage gestellt. Daher könnte sich die Notwendigkeit der persönlichen und direkten Wissensvermitt-

lung durch Menschen oder Roboter mit der Zeit etwas verringern. Solche Lehr- und Lern-Szenarien der digitalen Integration beinhalten jedoch weiterhin Präsenzphasen innerhalb der Klasse. Solche „Flipped Classroom“-Szenarien werden z.B. seit geraumer Zeit beworben (Baker, 2000; Lage et al., 2000) und sind zunehmend zum Standard des Lehrens und Lernens im 21.Jahrhundert geworden. Die Rolle der Lehrkraft wird die eines Moderators, der die Lernenden bei der Durchführung vordefinierter Aufgaben wie Forschungsaufgaben, Beantwortung von Fragen, themenspezifischem Kompetenztraining und Konstruktionsaufgaben unterstützt. In solchen klassenbasierten Szenarien muss der menschliche Lernbegleiter zwei zentrale Kompetenzen anwenden: inhaltsbezogene Kompetenzen und technische Kompetenzen.

Inhaltliche Kompetenzen, d.h. die flexible Beantwortung von Fragen oder die Unterstützung bei Projekten, können bisher nicht durch Roboter unterstützt werden. Ihre Fähigkeit, Zusammenhänge zu verstehen, natürliche Sprache zu verstehen und angemessen zu reagieren, ist derzeit noch nicht ausreichend entwickelt (siehe Abschnitt 4.2.1). Auf der anderen Seite können sie bei thematisch eingegrenzten Aufgaben assistieren. Beispielsweise kann ein Roboter ein Multiple-Choice-Quiz durchführen oder über die Ergebnisse einer Live-Abstimmung berichten.



In einem gemeinsamen Projekt zwischen der Universität Marburg in Deutschland und der chinesischen Universität Hongkong wurde ein sogenanntes „Classroom Application Package“ (CAP) entwickelt, das mehrere Unterrichtsaktivitäten zu einer komplexen Roboteranwendung für Pepper-Roboter bündelt und den Roboter viele administrative, technische und inhaltliche Aufgaben selbstständig übernehmen lässt. Die Prinzipien der Entwicklung und Verwendung solcher CAPs sowie die technischen Anforderungen werden in Abschnitt 8.1.6 beschrieben.



Bild 6.4 Pepper als Assistent im Klassenzimmer

Die Rolle eines Roboters als Assistent kann einfach nur darin bestehen, eine Unterrichtsstunde aufzuwerten, er kann aber auch größere Aufgaben übernehmen. Alemi et al. (2014) setzten zum Beispiel einen Roboter ein, um iranischen Sekun-

darschülern Englisch beizubringen. Während die Lektionen von einer Lehrkraft unterrichtet wurden, wurden einige der Teilaufgaben an den Roboter delegiert. In diesem Zusammenhang kann der Roboter zum Teil als kompetenter als die Lehrkraft dargestellt werden: Beim Unterrichten einer Fremdsprache hat der Roboter keinen Akzent und könnte dazu verwendet werden, die korrekte Aussprache von Wörtern und Sätzen zu demonstrieren.

6.2.5 Der Roboter als Prüfer

Geht man davon aus, dass in modernen Lehr- und Lern-Szenarien viele Prüfungen elektronisch durchgeführt werden, bei denen der Computer die volle Kontrolle über die Durchführung des Prüfungsprozesses übernimmt, ergibt sich eine neue potenzielle Rolle für Roboter als Prüfer. Auf der einen Seite könnten Roboter als individuelle Prüfer eingesetzt werden, die die Studierenden während einer persönlichen Prüfung bewerten. Andererseits könnten sie dabei helfen, die Studierende mithilfe von vorbereiteten Fragen auf eine Prüfung vorzubereiten. Diese Form der Prüfung wäre besonders für Gruppen, auch für große Klassen, geeignet.



In diesem Beispiel steht der Lernende dem Roboter gegenüber. Die Fragen werden auf einem Touchscreen angezeigt, während der Roboter die Fragen vorliest und es dem Lernenden ermöglicht, „zurückzublättern“ oder Fragen zu wiederholen. Am Ende des Tests generiert der Roboter das Ergebnis, das sofort an den beaufsichtigenden menschlichen Prüfer gesendet wird.

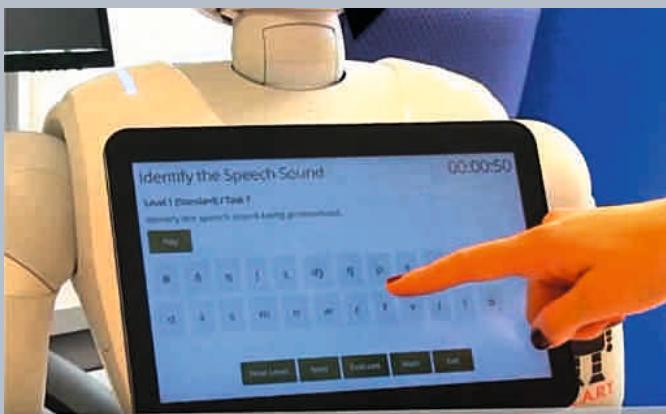


Bild 6.5 Eine Beispieldarstellung, bei der ein Pepper-Roboter als Prüfer für einen Studenten eingesetzt werden kann

Da der Roboter einige der eher untergeordneten Aspekte der Prüfung aufgreift, erhält der menschliche Moderator die Möglichkeit, im Unterricht individuelle und

personalisierte Hilfe zu leisten, anstatt nur Fragen zu stellen. Dieses Einsatzgebiet in der sozialen Robotik bietet daher das Potenzial, eine nützliche Funktion in Lernumgebungen zu übernehmen.

Als Ergänzung zum Prüfungsprozess gibt es Roboter, die als Aufsichtsperson fungieren. In einer Studie (Mubin et al., 2020) wurde gezeigt, dass ein Roboter zwar das Mogeln und Täuschen in einer Prüfungssituation reduzieren kann, dass er aber angesichts der zuvor skizzierten technologischen Einschränkungen (Kapitel 4) möglicherweise nicht in der Lage ist, undiszipliniertes Verhalten während eines Prüfungsszenarios zu unterbinden.

6.2.6 Der Roboter als Mediator

Lernende sind alle unterschiedlich; sie unterscheiden sich in Bezug auf ihren Hintergrund, ihre Sprachkenntnisse, ihre intellektuellen und sozialen Fähigkeiten. In der Schule müssen sie sich mit Gleichaltrigen auseinandersetzen, mit denen sie mehr oder weniger zurechtkommen. Sie werden sowohl sozial als auch intellektuell ständig auf die Probe gestellt. Daher kann das Bildungsumfeld für einige von ihnen eine große Herausforderung darstellen. Diese Herausforderungen verändern die Einstellung der Lernenden zueinander, können soziale Spannungen verstärken und letztlich den Lernprozess selbst beeinflussen. Für eine Lehrperson ist es oft schwierig, sich angemessen und effektiv mit dem Lernen der Schüler sowie mit den sozialen Fragen, die in der Klasse auftauchen können, auseinanderzusetzen. Daher kann ein sozialer Roboter in sozialen Zusammenhängen als Vermittler fungieren. Ein solcher Roboter könnte Spannungen zwischen Lernenden durch urteilsfreien und unabhängigen Rat abbauen, während er eine ähnliche soziale Rolle (als Peer) einnimmt. Während die Forschung zu der Rolle eines Roboters als sozialer Mediator noch an den Anfängen steht, hat sich gezeigt, dass Roboter erfolgreich eingreifen können, um eine Konflikteskalation zwischen Kindern zu verhindern. Vor dem Hintergrund der bisher vorgestellten und diskutierten Fähigkeiten und Merkmale von (sozialen) Robotern, können sie das Potenzial haben, einen Bezugsraum zu schaffen, in dem sich Kinder engagieren, sich wohl fühlen und auf neue Ebenen des Lernens gehoben werden können (erinnern Sie sich an die verschiedenen Lerntheorien, die in Kapitel 2 diskutiert wurden, einschließlich der vygotskischen Idee des Gerüsts und der „Zone proximaler Entwicklung“ (Abschnitt 2.1.3)). Wenn ein solcher Bezugsraum geschaffen wird, können wir davon ausgehen, dass (zumindest) die Roboter-Kind-Beziehung auf eine andere Person, einen anderen Mitschüler, ausgedehnt werden kann (Marchetti et al., 2019). Der Roboter kann so Beziehungen und kollaborative Arbeit fördern, das Erlernen von Wissen und Kompetenzen erleichtern oder zur Lösung von Konflikten beitragen (Vrochidou et al., 2018).

Von diesem Ziel sind wir jedoch noch recht weit entfernt, da Konflikte unter Lernenden unterschiedlicher Natur und sehr altersabhängig sind. Beispielsweise treten Konflikte im Vorschulalter recht häufig auf, werden aber in der Regel schnell gelöst. Kinder haben Konflikte wegen des Besitzes von Spielzeug, weil sie merken, dass andere in ihren Raum eindringen oder weil ihnen andere bei einer Tätigkeit im Weg stehen. Die meisten dieser Konflikte werden ohne das Eingreifen anderer gelöst. Teenager hingegen können sich auf subtilere Konflikte einlassen, bei denen es um kulturelle, religiöse oder politische Haltungen geht und die Monate oder sogar Jahre andauern können.

Es hat sich herausgestellt, dass Gleichaltrige bei der Lösung von Konflikten effektiv einwirken können. Häufig weist die Lehrperson einem oder mehreren Kindern in der Gruppe die Rolle des Mediators zu. Im Rahmen des Programms *Teaching Students to Be Peacemakers* (TSP), das die Verinnerlichung des Lernens und wiederholte Praxis betont (Johnson und Johnson, 1995), haben einige Studien gezeigt, wie die Konfliktlösungskompetenz von Kleinkindern sehr effektiv zur Lösung von Konflikten in Kindergruppen beitragen kann (Stevahn et al., 2000; Stevahn, 2004). Diese Studien beziehen sich zwar nur auf Kinder, legen aber nahe, dass auch ein sozialer Roboter eine nützliche Rolle als Mediator spielen könnte.



In einem erfolgreichen Versuch, die interpersonelle Konfliktlösungskompetenz von Kindern zu fördern, nahmen Kinder im Alter zwischen 3 und 6 Jahren an einer 50-minütigen Spielsitzung teil (Shen et al., 2018). Die Kinder wurden gebeten, zu zweit zu spielen und die vorgeschlagenen Aktivitäten wurden durch einen *KeepOn*-Roboter unterstützt. *KeepOn* ist ein einfacher, kleiner, aber ausdrucksstarker Roboter. Der Einsatz dieses einfachen Roboters sollte es den Kindern ermöglichen, sich miteinander zu beschäftigen und nicht die Aufmerksamkeit auf den Roboter zu lenken (Bridgeland et al., 2013). Kleine Roboter sind weniger einschüchternd als größere Roboter. Um die Interaktion zwischen *KeepOn* und den Kindern zu initiieren und umzusetzen, teleoperierten zwei Experimentatoren die Bewegungen und die Sprache von *KeepOn* hinter einer Trennwand. Sie folgten einem spezifischen Interaktionsprotokoll, das der *Wizard-of-Oz*-Technik entspricht (Kapitel 2). Um die Interaktion mit dem Kind zu erleichtern, sprach *KeepOn* mit einer androgynen, kindähnlichen Stimme. Der Roboter wurde mit einem Repertoire an Verhaltensweisen ausgestattet, die Kinder während des normalen Spielens typischerweise an den Tag legen, um effektiv mit den Kindern interagieren zu können. Die Interaktion in den Spielsitzungen von *KeepOn* wurde nach dem Interaktionsmuster-Ansatz sequenziert, der bereits in früheren Untersuchungen verwendet wurde (Kahn et al., 2008; Kahn Jr. et al., 2012).

Nachdem *KeepOn* den beiden Kindern vorgestellt wurde, folgte eine Phase, in der der Roboter etwas über die Kinder lernte (z. B. ihre Lieblingsfarbe) und sie mit Humor und Spiel einbezog, wodurch die Kinder nicht nur mit dem Roboter vertraut wurden, sondern auch etwas über seine Fähigkeiten erfuhren. Der Experimentator wies dann den Spielpartnern Rollen zu, woraufhin das Spiel, das aus fünf Aktivitä-

täten bestand, begann. Der Roboter leitete und erleichterte die Gruppenaktivität, indem er das Spiel förderte und die Leistungen der Kinder lobte. Die zentrale Konfliktvermittlungsintervention wurde eingeführt, als Kinder in einen Konflikt um den Besitz von Gegenständen gerieten. Die Konfliktvermittlung bestand aus drei Elementen: den Konflikt identifizieren, zur konstruktiven Konfliktlösung auffordern und den Konflikt abschließen und sich den vorigen Spielaktivitäten zuwenden. Wie vorhergesagt, lösten Kinder zwischenmenschliche Konflikte mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Bedingung, in der der Roboter vermittelte, im Vergleich zu der Bedingung, in der der Roboter keine Vermittlungsfunktion hatte. Die Kinder lösten Konflikte mit viermal höherer Wahrscheinlichkeit konstruktiv, wenn der Roboter das Spiel unterstützte und anleitete, und vor allem dann, wenn er Konfliktlösungsvorschläge anbot.



Bild 6.6 Zwei Kinder erleben einen Konflikt über das Teilen von Spielzeug, wobei ein *KeepOn*-Roboter als Vermittler fungiert

Den Autoren zufolge, basiert die Effektivität des Roboters bei der Konfliktlösung vermutlich darauf, dass einige Kinder den Roboter als Autorität wahrnahmen, sowohl wenn er das Spiel moderierte, als auch, wenn er Konfliktlösestrategien anbot. Eine weitere wichtige Erkenntnis dieser Studie ist, dass ein vermittelnder Roboter die Aufmerksamkeit der Kinder zu Beginn eines Konflikts auf sich und weg vom Konflikt lenken kann. Tatsächlich waren die Kinder, die durch das Eingreifen des Roboters länger von ihrem Konflikt abgelenkt wurden, auch diejenigen, die ihre Konflikte anschließend auf konstruktivere Weise lösten. Eine solche „Konfliktpause“ könnte vermutlich dazu beitragen, dass die Kinder zuvor erlernte Verhaltensnormen über das Teilen und Sich-Abwechseln abgerufen haben, und ihre Emotionen regulieren konnten, um dann den Konflikt mit einem ruhigeren Gemütszustand zu lösen.

6.2.7 Der Roboter als Lernberater

Roboter, die Teil digitaler Lehr- und Lernszenarien sind, können von einer heutzutage erhöhten Rechenleistung und der wachsenden Verfügbarkeit von Daten profitieren, was wiederum den Einsatz von maschinellem Lernen ermöglicht. Einer der Gründe für die enorme Datenmenge liegt darin, dass viele Lernprozesse über Learning-Management-Systeme (LMS) wie *Moodle* oder *Blackboard* stattfinden. Auf solchen Plattformen hinterlassen Lernende „Datenspuren“, anhand derer man die Häufigkeit und Intensität bestimmen kann, mit der sie auf die Lernmaterialien zugreifen und diese verarbeiten. Die Analyse dieser Daten wird als *Lernanalytik* (Learning Analytics) bezeichnet.

Eine Möglichkeit, diese Daten zu analysieren und die Ergebnisse an die Lernenden zurückzuspielen, ist die Verwendung von Chat-Bots. Während jedoch die Chat-Bot-Technologie in vielen Bereichen zu einem wichtigen und einsatzbereiten Element geworden ist, hat sich eine Echtzeit-Lernanalyse mit Chat-Bots bisher als wenig vielversprechend erwiesen, vor allem wegen der Schwierigkeit, Chat-Bots zu bauen, die eine flüssige Konversation in offenen Domänen führen können.

Eine aktuelle Variante aus natürlicher Sprachinteraktion und einem humanoiden Roboter wie *Pepper* ist in Bild 6.7 dargestellt. Der Roboter sammelt und analysiert nicht nur Daten über das Lernen, sondern berichtet dem Lernenden individuell über die Ergebnisse und mögliche Schwierigkeiten. Der Roboter generiert ein individuelles Modell, mit dessen Hilfe er den Lernenden Feedback über ihre Leistungen in den Online-Komponenten der von ihnen besuchten Kurse gibt. Darüber hinaus kann der Roboter Vorschläge machen, wie der Lernprozess verbessert werden kann. Nicht zuletzt kann er als „Infopoint“ zu allgemeinen Fragen ausgewählter Kurse (wie Sprechzeiten, Prüfungstermine, Benotung) dienen. Die Prinzipien der Verwendung von humanoiden Robotern im Kontext der Lernanalytik werden in Abschnitt 8.2.2 erläutert.



Bild 6.7 Pepper bespricht den Lernfortschritt eines Schülers

6.2.8 Der Roboter als Telepräsenz-Tool

Fernunterrichtsformate sind derzeit weit verbreitet (siehe Kapitel 1) und bieten Lernenden und Lehrenden eine besondere Gelegenheit, am Unterricht teilzunehmen und ihn unabhängig von großen geografischen Entfernung, medizinischen oder behördlichen Einschränkungen zu besuchen oder zu halten. Bei einem Telepräsenz-Roboter verbindet sich eine Person (Roboter-Operator) über das Internet mit einem Roboter und interagiert mit Lernenden und/oder Lehrenden über Audio- und Videokonferenzen und navigiert den Roboter von einem entfernten Standort aus. Die Anwendung von Telepräsenz-Robotern (Kwon, Oh-Hun et al., 2010) eröffnet so neue Möglichkeiten, da sie das Fernstudium immersiver machen, das heißt sie ermöglichen es den Interaktionspartnern, eine stärker verkörperte Erfahrung zu machen, in die Umwelt „einzutauchen“. Außerdem ermöglichen sie es dem externen Roboter-Operator, sich in der entfernten Umgebung zu bewegen. Ein Roboter kann ein reiner Telepräsenz-Roboter sein, der oft nur aus einem LCD-Display oder einem auf Rädern montierten Tabletcomputer besteht (wie der *iRobi*), oder er kann ein humanoider Roboter mit Manipulationsfähigkeiten sein, der es dem entfernten Bediener ermöglicht, die Roboterarme und -hände zu benutzen, um Objekte in der Nähe des Roboters zu greifen, zu bewegen und wieder abzulegen. So ermöglicht ein Telepräsenz-Roboter dem Benutzer, virtuell an einem entfernten Ort anwesend zu sein, mit der Fähigkeit zu sehen, zu hören, zu sprechen und sich zu bewegen, als ob der Benutzer physisch anwesend wäre.

Vor etwa 20 Jahren wurden erste Versuche unternommen, Telepräsenztechnologien in Bildungseinrichtungen zu integrieren, um Lernenden die Teilnahme am Unterricht aus der Ferne zu ermöglichen. Beispielsweise half das *PEBBLES*-Projekt, hospitalisierte Kinder mit ihrem Klassenzimmer zu verbinden (Weiss et al., 2001). Um die Verbindung aufrechtzuerhalten, agierten zwei Roboter, einer im Klassenzimmer und einer im Krankenhaus, gemeinsam über Echtzeit-Audio und -Video, während das Kind sie mit einem Controller bediente. In jüngerer Zeit wurden mobile Telepräsenz-Roboter – wie *Beam (Suitable Technologies)*, *GoBe (GoBe Roboter)* oder *Double (Double Robotics)* – in Bildungseinrichtungen eingeführt, die es ermöglichen, sich im Klassenzimmer zu bewegen und mobiler zu sein. Beispielsweise wurden mobile Telepräsenz-Roboter eingesetzt, um Studierenden eine Fremdsprache von einem Muttersprachler von einem entfernten Ort beizubringen (Tanaka et al., 2014) oder sie wurden in Universitätskursen eingesetzt, um Studierenden an verschiedenen Standorten ein gemeinsames Studium zu ermöglichen (Fitter et al., 2020).

Der große Vorteil von Telepräsenz-Robotern im Gegensatz zu anderen Fernlerntechnologien besteht darin, dass die Lernenden Zugang zu Fachkenntnissen haben können, die an ihrem Standort oder aufgrund persönlicher Umstände oft nicht verfügbar sind, während sie gleichzeitig die Effekte einer erhöhten sozialen Präsenz

und Mobilität in der entfernten Umgebung erleben (Kristoffersson et al., 2013). In der Tat betonen Forschungsergebnisse über den Einsatz und die Wirksamkeit von Telepräsenz-Robotern ihren Beitrag zur Minimierung der physischen Ausgrenzung und Isolation und zur Erhöhung des Gefühls der Präsenz, der Selbstwahrnehmung und der sozialen Verbundenheit mit anderen in der entfernten Lernumgebung (Fitter et al., 2020; Newhart et al., 2016; Bell et al., 2016).

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass es einige Bedenken gibt, die berücksichtigt werden müssen. Die Wahrung der Privatsphäre ist ein kritisches Thema in Bezug auf Telepräsenz-Roboter und im Wesentlichen auch auf alle sozialen Roboter, da sie persönliche Daten aufzeichnen und speichern können (Sharkey, 2016; Newhart und Olson, 2017). Darüber hinaus deuten Ergebnisse darauf hin, dass Benutzer häufig Bedenken haben, soziale Interaktionen mit einem Telepräsenz-Roboter zu initiieren, da es schwierig ist, nonverbale Signale durch den Roboter zu vermitteln und zu interpretieren (Khojasteh et al., 2019). Dementsprechend stellen die Schaffung eines sicheren Raumes, der die Datenschutzanforderungen des jeweiligen Staates, Landes oder einer Organisation erfüllt (Fischer et al., 2019) und die Notwendigkeit, die Gesprächsinitiierung und -aufrechterhaltung zu erleichtern (Khojasteh et al., 2019), einige der Herausforderungen für den sinnvollen Einsatz dieser Technologie dar. Darüber hinaus wurden zur Verbesserung der Funktionalität von Telepräsenz-Robotern weitere zu berücksichtigende Aspekte vorgeschlagen, wie beispielsweise Daten- oder Bandbreitenanforderungen in Bezug auf eine hohe Audio- und Videoqualität zur Vermeidung von Kommunikationsunterbrechungen, bedienbare Roboterarme zur Erhöhung der aktiven Beteiligung im entfernten Klassenzimmer sowie höhenverstellbare Plattformen um Blickkontakt mit dem Interaktionspartnern zu ermöglichen (Cha et al., 2017; Zhang et al., 2018).

In einer explorativen Fallstudie wurde das Potenzial von Telepräsenz-Robotern zur virtuellen Einbeziehung von Kindern in den Klassenraum evaluiert, die aufgrund verschiedenster Ursachen nicht am Präsenzunterricht teilnehmen konnten (Newhart et al., 2016). Kinder einer öffentlichen Schule wurden mit einem *Double-Telepräsenz-Roboter* ausgestattet (Bild 6.8), um in Echtzeit in ihren ehemaligen Klassenzimmern am Unterricht teilzunehmen. Auf diese Weise konnten Lernrückstände vermieden und einer sozialen Isolation begegnet werden.

Um einen umfassenden Einblick zu erhalten, wurden Unterrichtsbeobachtungen, Fokusgruppen und Interviews mit den Kindern, ihren Eltern, Klassenkameraden, Lehrern und der Schulverwaltung durchgeführt – insgesamt wurden 61 Personen befragt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der Roboter als reguläres Mitglied im Klassenzimmer akzeptiert wurde und die Anwesenheit des Roboters nach einer anfänglichen Eingewöhnungsphase als normal angesehen wurde. Das auffälligste Ergebnis war, dass alle Teilnehmer angaben, dass die Erfahrung im Klassenzimmer nahezu echt und normal war und, dass durch den Roboter soziale Beziehungen zu Gleichaltrigen aufrechterhalten werden konnten.



Bild 6.8
Ferngesteuerter
Telepräsenz-Roboter

■ 6.3 Ausblick

Obwohl die Einsatzmöglichkeiten von sozialen Robotern in der Bildung große Begeisterung erfahren, steht ihr Potenzial noch am Anfang. Der technische Fortschritt ist zwar beeindruckend, reicht aber immer noch nicht aus, um Roboter als Ersatz für menschliche Lehr- und Lernbemühungen oder sogar als autonomen Agenten in Bildungskontexten einzusetzen, die einfache Lehraufgaben überschreiten. Während die Fortschritte in der künstlichen Intelligenz und der sozialen Signalverarbeitung beeindruckend sind – Computer und Roboter machen gewaltige Fortschritte was Spracherkennung, Emotionserkennung, Entscheidungsfindung und andere Komponenten, die für die Herstellung von autonomen sozialen Robotern unerlässlich sind, angeht – sind Roboter und Computer weiterhin nicht in der Lage, mit Menschen zu konkurrieren. Das *Moravec-Paradoxon* gilt nach wie vor: Alles, was uns schwer erscheint, ist für eine Maschine leicht, umgekehrt ist alles, was Menschen leicht finden, für Maschinen praktisch unerreichbar. Wir können Roboter bauen, die besser Schach spielen als jeder Mensch auf diesem Planeten, aber wir können keinen Roboter bauen, der Sätze so gut versteht wie ein Zweijähriger.

Trotz der beträchtlichen technischen Hürden können soziale Roboter einen bedeutenden Beitrag zur Bildung leisten. Wenn die Lernaufgabe ausreichend eingeschränkt ist, die Lehrperson in nächster Nähe zur Verfügung steht und der Spielraum für offene soziale Interaktion eingeschränkt ist, führen soziale Roboter nachweislich zu hohem Engagement und einer positiven Lernerfahrung sowie unter bestimmten Umständen besseren Lernergebnissen. Das Ziel ist nicht, dass der Einsatz von sozialen Robotern zu besseren Lernleistungen führt als mit einem menschlichen Lehrer oder Tutor, sondern dass die Anwendung von sozialen Robo-

tern bestehende und zukünftige Bildungspraktiken unterstützen und erweitern kann.

Darüber hinaus werden Roboter in der Regel nicht als Lehrerersatz angesehen. Dies liegt zum einen daran, dass ein solches Szenario unerwünscht ist. Die Ersetzung von Lehrern durch Roboter ist allgemein verpönt und wird von den meisten abgelehnt. Andererseits verfügen Lehrer über Fähigkeiten, die weit über das hinausgehen, was ein Roboter bieten kann. Ein Roboter kann ein eng begrenztes Fach unterrichten, technische Aufgaben übernehmen und das Lernen der Schüler bewerten, versteht jedoch alles, was darüber hinausgeht nicht. Der Roboter kann die subtilen nonverbalen Signale der Lernenden nicht lesen, weiß nichts über die Spannungen auf dem Spielplatz oder ist sich der Trennung der Eltern eines Kindes nicht bewusst. Lehrer sind sich dessen bewusst und können entsprechend darauf reagieren, Roboter werden jedoch, vorerst, sehr stark hinter dem zurückbleiben, was eine menschliche Lehrkraft leisten kann.

Die Wahrnehmung des emotionalen Zustands eines Lernenden bleibt für jeden Roboter schwierig. Nichtsdestotrotz wurden beträchtliche Anstrengungen unternommen, um Roboter in die Lage zu versetzen, zumindest Verhaltensweisen und Ausdrücke zu verwenden, die als Emotionen interpretiert werden können. Auch wenn dieser Kommunikationskanal vorerst unidirektional bleiben mag, ist es dennoch wichtig zu beachten, dass es unmöglich ist, nicht zu kommunizieren. Auch wenn der Roboter nicht darauf programmiert ist, bestimmte Emotionen auszudrücken, wird der Schüler den Roboter dennoch als emotional wahrnehmen – ein Phänomen, das als „*Media Equation*“ bekannt ist (Reeves und Nass, 1996).



Diskussionsfragen

- Welche Herausforderungen müssen überwunden werden, bevor ein Roboter autonom als Tutor im Klassenzimmer eingesetzt werden kann?
- Eine Lehrerin möchte *Pepper* für den Mathematikunterricht von Grundschulkindern einsetzen. Entwerfen Sie Lernszenarien für jede der möglichen Rollen, die er in diesem Zusammenhang im Klassenzimmer übernehmen kann: Tutor, Peer, Novize, Assistent, Prüfer und Mediator.
- Diskutieren Sie verschiedene Themenkontakte, die ein Roboter im Klassenzimmer „lehren“ kann. Welche sozialen Hinweisreize sind für jeden Bereich (z.B. Sprache und Sprechen) wesentlich?



Weiterführende Literatur

- Tony Belpaeme, James Kennedy, Aditi Ramachandran, Brian Scassellati, und Fumihide Tanaka. Social robots for education: A re-view. *Science robotics*, 3(21): eaat5954, 2018a.
- Terrence Fong, Illah Nourbakhsh, und Kerstin Dautenhahn. A survey of socially interactive robots. *Robotics and autonomous systems*, 42(3-4):143–166, 2003.

7

Anforderungen an den Einsatz von Robotern

„Education costs money but then so does ignorance.“

- Sir Claus Moser



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- die Auswahl des richtigen Roboters.
- Einrichten des geeigneten Kontexts für den effektiven Einsatz des Roboters:
Welche Aspekte sind zu berücksichtigen?
- Fragen der Programmierung: ein Entwicklungsteam.

Bevor ein Roboter in einer Bildungseinrichtung eingesetzt werden kann, sollte sich die Bildungseinrichtung mit den folgenden Fragen befassen: Wer sind die Endnutzer? Wie sieht der Raum aus, in dem die Roboter eingesetzt werden? Welche pädagogische Funktion sollen Roboter haben? Wie können sie die Rolle eines Lehrers ergänzen? Die Beantwortung dieser Fragen wird der Bildungseinrichtung helfen, die technischen Anforderungen zu bestimmen und die notwendigen administrativen Schritte zu unternehmen, um den Kontext, in dem Roboter eingesetzt werden sollen, unter Berücksichtigung pädagogischer, administrativer und kommerzieller Faktoren festzulegen.

Darüber hinaus erfordert der Einsatz von Robotern, in welchem Umfeld auch immer, die Definition einer Reihe von Parametern, die von der Logistik über die Finanzen bis hin zur Entwicklung reichen. In diesem Kapitel werden die technischen und praktischen Voraussetzungen für die Einführung und Wartung eines Robotersystems in einem Bildungsumfeld untersucht.

■ 7.1 Auswahl eines Roboters

Wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, sind Roboter in verschiedenen Varianten erhältlich, die unterschiedliche Ein-/Ausgabemodalitäten unterstützen. Die Wahl eines spezifischen Roboters sollte sich nach der Nutzergruppe und deren Bedürfnissen richten, wobei die Frage nach den Kosten hierfür nicht unbedeutend ist. Der Roboter sollte in erster Linie aufgrund seiner Fähigkeit ausgewählt wer-

den, eine Zielanwendung ausführen zu können. Endnutzer sollten es leicht haben, den Roboter zu benutzen und die Interaktion oder Lernerfahrung sollte natürlich so angenehm wie möglich sein.

Im Folgenden stellen wir zwei Roboter exemplarisch vor: Der Roboter *Pepper* von *SoftBank Robotics* kann gekauft oder geleast werden. *Pepper* hat eine relativ hohe Statur (120 cm). Er vermittelt dadurch in Bildungsumgebungen mit Erwachsenen ein stärkeres Gefühl von Autorität. Bild 7.1 spezifiziert weitere technische Details dieses Roboters.

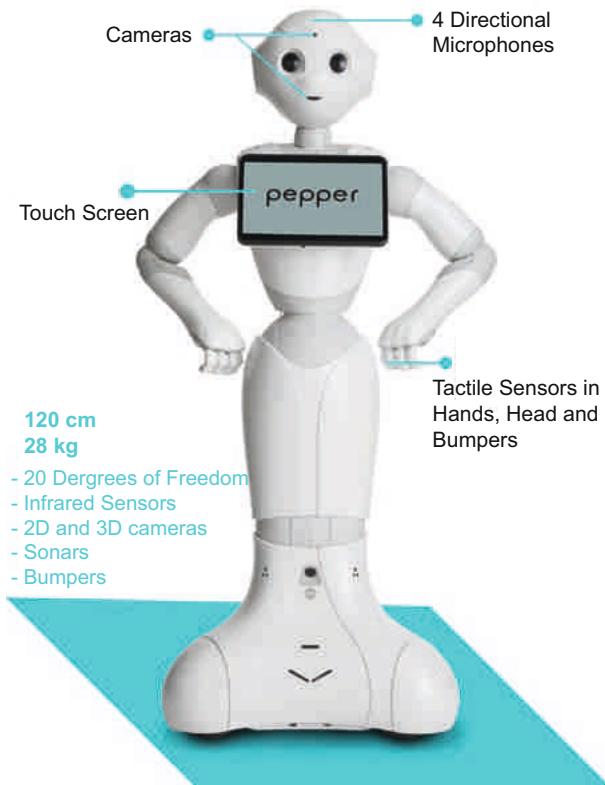


Bild 7.1 Der humanoide Roboter *Pepper* (© *SoftBank Robotics*)

Der Roboter *NAO* hingegen ist nur 58 cm hoch und wirkt dadurch kindlich. Für Szenarien, in denen er erwachsenen Benutzern als Begleiter oder Assistent zur Seite stehen sollte, ist er daher weniger gut geeignet (Bild 7.2).

Dies bedeutet nicht, dass *NAO* nicht auch erfolgreich in Szenarien mit Erwachsenen eingesetzt werden kann. Allerdings umfasst das Spektrum seiner Anwendun-

gen kaum Situationen oder Funktionen, in denen der Roboter eine maßgebliche oder führende Rolle spielen muss. Darüber hinaus ist *Pepper* ideal für Interaktionen mit mehreren Nutzern, während *NAO* für Interaktionen in Zweierbeziehungen geeigneter erscheint. Ein Roboter kann multifunktional sein, da unterschiedlichste Anwendungen einprogrammiert werden können. Beispielsweise kann ein Roboter für Modellierungen, als „Informationsvermittler“ sowie für spezielle themenbezogene Informationen verwendet werden oder er kann bestimmte Aufgaben im Unterricht übernehmen. Wie in Kapitel 6 gezeigt wird, kann ein Roboter auch Feedback und Tutoring für einzelne Lernende anbieten.

Wenn das Ziel der Bildungseinrichtung darin besteht, Roboter als Werkzeug oder Instrument zur Ergänzung und zum Üben von Kompetenzen im Rahmen des bestehenden Lehrplans einzusetzen (z.B. Programmieren lernen), können auch nicht-menschliche Roboter wie *LEGO Mindstorms* eingesetzt werden.

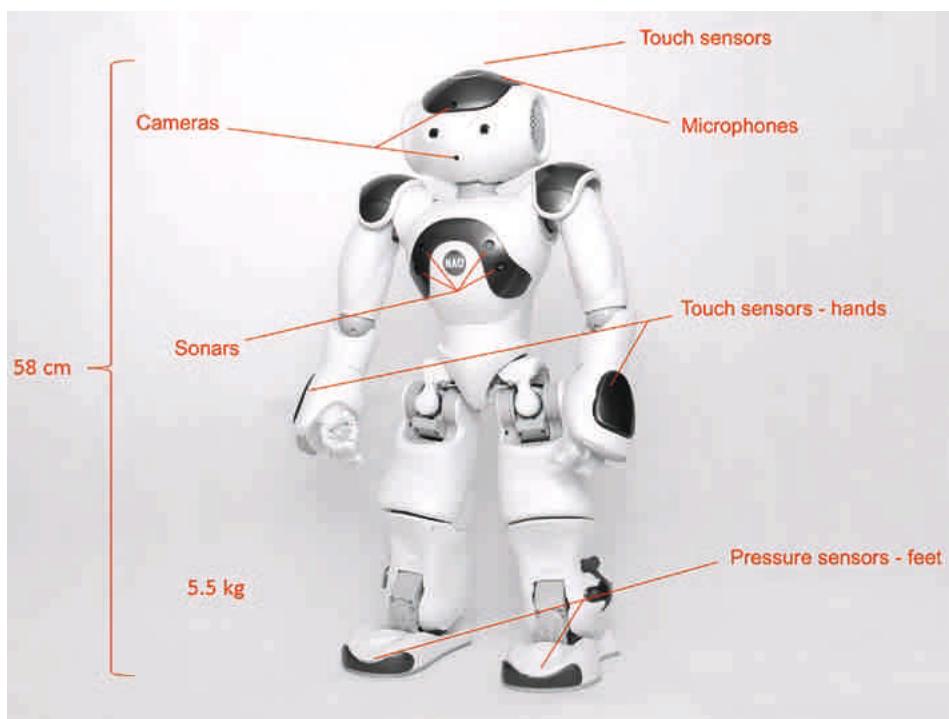


Bild 7.2 Der humanoide Roboter *NAO* (© SoftBank Robotics)

Praktisches Versagen und Fehler

Im Allgemeinen und abgesehen von den gängigen Ein-/Ausgabebeschränkungen, auf die in Kapitel 4 hingewiesen wird, können Robotersysteme beim Einsatz auf unvorhersehbare praktische Probleme stoßen. Beispielsweise kann die Reaktion

des Roboters durch mangelnde Sehfähigkeit oder Bildverzerrung beeinträchtigt werden. Ein weiteres Beispiel ist, dass die eingebetteten interaktiven Geräte (z.B. ein Tablet) und Sensoren in Situationen geraten können, die nicht berücksichtigt wurden, wie z.B. Sensoren, die durch noch nie dagewesene Objekte oder Staub verdeckt werden. Abgesehen von diesen einfachen Ausfällen können Roboter aufgrund starker physischer Interaktion mit Menschen vollständig ausfallen. Selbst ein einfacher Netzwerkausfall oder Probleme bei der Vernetzung des Roboters mit den Computern der Forschenden, kann dazu führen, dass der Roboter nicht einsatzfähig ist.

■ 7.2 Finanzielle Fragen

Um einen Roboter in Bildungseinrichtungen einzusetzen, können Sie entweder einen neuen Roboter kaufen, der Ihren Anforderungen entspricht, einen Roboter anpassen, den Sie bereits besitzen, oder sogar einen eigenen bauen, falls Sie sehr spezifische Funktionen benötigen. Heutzutage ist die 3D-Druck-Technologie zu einer bequemen Lösung geworden, um verschiedene Arten von Robotern mit Grundfunktionen zu erwerben. Ein Roboter-Entwurf kann einfach aus einer Online-Datenbank heruntergeladen und mit einem geeigneten 3D-Drucker aus Hartkunststoff oder anderen Materialien ausgedruckt werden. Konstrukteure können ihre Prototyp-Entwürfe online und jeden damit verbundenen Code über *Wkis* oder *GitHub* frei zugänglich machen.

Eine Option für Bildungseinrichtungen oder einzelne Anwender, die keinen Roboter kaufen oder bauen wollen, ist das Leasing: In Zukunft werden wir immer mehr Roboter-Leasing-Angeboten als Geschäftsmodell begegnen, welche Roboter für Schulen mit begrenztem Budget für die Zeit, in der sie den Roboter nutzen wollen, erschwinglich macht. Langfristig mag dies jedoch nicht die kostengünstigste Option sein. Viele Unternehmen oder Forschungslabore bieten Beratung zu einem bestimmten Modell an und verlangen Gebühren dafür, dass Bildungseinrichtungen nur die betreffenden Roboter und Software nutzen.

Der Kauf eines fertigen humanoiden Roboters kostet ca. zwischen 5000 Euro (ein NAO-Roboter) und 16 000 Euro (*Pepper*-Roboter, Bildungsversion). Auf der anderen Seite kann der Preis eines selbstgebauten Roboters je nach Bedarf und kombinierten Funktionalitäten stark variieren. Er beginnt in der Regel bei etwa 4000 Euro (wie der in Bild 7.3 gezeigte *BuSaif*-Roboter). Diese Preise können variieren und von weiteren Faktoren, wie z.B. Mehrwertsteuer und Versandkosten, abhängen.

**Bild 7.3**Der humanoide Roboter *BuSaif*

7.2.1 Wartung

Wenn Sie kein professioneller Software-Ingenieur oder Mechatroniker sind, kann die Wartung eines Roboters eine Herausforderung sein. Um Probleme mit defekten Robotern zu vermeiden, kann es sinnvoll sein, die Garantie des Herstellers zu verlängern oder die Hilfe eines professionellen Ingenieurs in Anspruch zu nehmen. Da es relativ schwierig ist, einen lizenzierten Techniker für die Wartung Ihres Roboters zu finden, ist es wichtig, dass die Art der Wartung und die Verfügbarkeit von Wartungspersonal mit dem Verkäufer während des Vertragsabschlusses vereinbart werden. Ein Hersteller sollte immer eine Erstschulung anbieten, um den korrekten Robotereinsatz zu gewährleisten und somit den Wartungsbedarf zu reduzieren, aber auch schnelle Wartungsdienste und Benutzerschulungen anbieten, um zu erläutern, wie technische Probleme mit fehlerhaften Robotern selbst behoben werden können. Früher musste *Aldebaran*, die ursprüngliche Herstellerfirma von *NAO* und *Pepper*, die Roboter an ihren Hauptsitz in Frankreich holen, wenn Reparaturen erforderlich waren. Mittlerweile gibt es regionale Anbieter, die technische und Wartungsdienste übernehmen. Dies kann nicht nur in einem bereits zeitkritischen Forschungsprojekt entscheidende Zeit sparen, sondern im Falle der Anwendung von Robotern in der Bildung die ständige Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl von Robotern garantieren.

7.2.2 Versicherung

Roboter sind teuer und können anfällig für Schäden sein. Sensoren können Schaden nehmen oder bewegliche Teile des Roboters gehen kaputt, sodass der Roboter Funktionen einbüßt und im schlechten Falle wiederholt repariert werden muss. Viele Benutzer des NAO-Roboters haben sich beispielsweise beim Hersteller darüber beschwert, dass seine Finger beim Ein- und Auspacken leicht abbrechen. Jede Art von Reparatur ist mit zusätzlichen Kosten verbunden. Sofern der Roboter versichert wird, senkt das maßgeblich die Kosten für die anfallenden Reparaturen. Die jährliche Versicherungspauschale für einen Pepper-Roboter beträgt in Deutschland etwa 200 Euro. Möglicherweise kann ein Roboter auch über die Bildungseinrichtung, für die er angeschafft wurde, mitversichert werden.

■ 7.3 Die Infrastruktur

Die Infrastruktur, in der Roboter eingebettet und gewartet werden, hängt stark davon ab, wo die Roboter zum Einsatz kommen. Wenn Roboter als Assistent im Klassenzimmer agieren, müssen sie beispielsweise in ihren „Arbeits“-Bereich transportiert werden. Zudem sollten sie vor einem Einsatz in sicherem Umfeld getestet werden, um Schwierigkeiten während des Einsatzes auszuschließen. Wenn sie als Werkzeuge eingesetzt werden, ist es wahrscheinlich, dass sie einen festen Ort haben, an dem sie programmiert und gewartet werden. Zu klären sind ganz pragmatische Fragen, etwa dahingehend, wo der Roboter über Nacht zu lagern wäre, wenn das Experiment oder die Forschung, für die der Roboter zum Einsatz kommt, über mehrere Tage laufen. Die folgenden Abschnitte versuchen, die zentralen infrastrukturellen Parameter zu definieren.

7.3.1 Eine Entwicklungs- und Testumgebung

Programmierer sollten über einen Testbereich verfügen, in dem sich die Roboter fast frei bewegen können, ohne dass Hindernisse im Weg sind. Der Bereich sollte der realen Umgebung relativ gut entsprechen, um eine Übertragbarkeit in den Kontext des Anwendungsfalls zu gewährleisten. Eine solche Modellierung ermöglicht es realistische Testszenarien umzusetzen. Darüber hinaus sollte dieser Bereich so nah wie möglich an dem Ort liegen, an dem der Roboter programmiert und gewartet wird, um übermäßige Bewegungen zu vermeiden.

Für die Verwendung von Robotern als Werkzeuge in sogenannten „Makerspaces“ gelten andere Regeln. Hier ist von Bedeutung, dass eine ausreichende Anzahl von

PCs oder Laptops für die Trainingsgruppen zur Verfügung steht. Es sollten freie Bereiche für die Erprobung der Roboterbeweglichkeit geschaffen werden und einfache Hintergründe, z. B. weiße Wände, für die Anwendung von Objekterkennungsprinzipien sollten Teil der Umgebung sein. Um die Roboter vor Beschädigungen zu schützen, sollte darauf geachtet werden, dass der Boden zum Befahren geeignet ist und die Roboter beim Umfallen nicht beschädigt werden. Ein Beispiel für einen solchen „Makerspace“ ist das „Robotikum“, wie in Abschnitt 7.4 gezeigt und im Kapitel 8 diskutiert werden wird.



Bild 7.4 Der „Makerspace“: *Robotikum*

7.3.2 Transport

Gegenwärtig können sich Roboter nicht frei auf unbekanntem Terrain bewegen, und wenn doch, sind sie langsam oder können sich nur über kurze Distanzen bewegen. Daher können sie sich nicht selbstständig an ihren Bestimmungsort bewegen, sondern müssen dorthin transportiert werden. Beispielsweise können kleine Roboter, wie der *NAO*, einfach in einen Koffer gepackt werden, der an Bord eines Flugzeugs passen würde. Auf der anderen Seite ist ein *Pepper*-Roboter schwieriger in einem Gebäude zu transportieren. Sie können auf speziell angefertigten Trolleys bewegt werden, aber für andere Standorte über größere Entfernung benötigen sie eine speziell angefertigte Transportbox. Bild 7.5 und Bild 7.6 zeigen typische Transportvorrichtungen für *NAO* und *Pepper*.

Als Konsequenz dieser logistischen Herausforderungen sollte der reguläre Standort eines Roboters leicht zugänglich sein. Beispielsweise ist ein freier Ausgang mit

einer Rampe für *Pepper*-Roboter erforderlich, um den Roboter von Ort zu Ort zu transportieren, z.B. vom Entwicklungsbereich zum Klassenzimmer. Für *Pepper* muss ein Sondertransport organisiert werden, da er nicht in ein normales Auto passt. Solche Transportfahrzeuge werden ihre Dienste auch in Rechnung stellen.



Bild 7.5 Eine Standard-Transportbox für *Pepper*-Roboter



Bild 7.6 Transportvorrichtungen für NAO- und *Pepper*-Roboter

7.3.3 Vorbereitung für den Gebrauch im Klassenzimmer

Die Vorbereitung eines Roboters für den Einsatz im Klassenzimmer ist ein weiteres komplexes logistisches Unterfangen. Abgesehen von den bereits erwähnten Transportproblemen, bei denen in vielen Institutionen Treppen, Aufzüge und enge Korridore überwunden werden müssen, kann Zeit ein weiteres Problem sein. Um einen Roboter so aufzustellen, dass er rechtzeitig Anwendungen ausführen kann, benötigt man eine Zeitspanne von mindestens 30 Minuten, um den Roboter aus seiner Transportvorrichtung zu holen, ihn in eine sichere, aber gut zugängliche Position zu bringen, den Roboter zu „booten“, ihn mit dem Internet zu verbinden, die gewünschten Anwendungen vorzubereiten und ihn so rechtzeitig startbereit zu machen.

Zusätzlich muss man in Klassen ab einer bestimmten Größe Tonprobleme berücksichtigen. Ohne Sprachverstärkung kann es schwierig sein, das, was der Roboter sagt, zu verstehen. In solchen Fällen ist es üblich, den Roboter mit einem drahtlosen Mikrofon auszurüsten, dieses mit einem Verstärker zu verbinden und vor Unterrichtsbeginn sorgfältig zu testen (Bild 7.7).

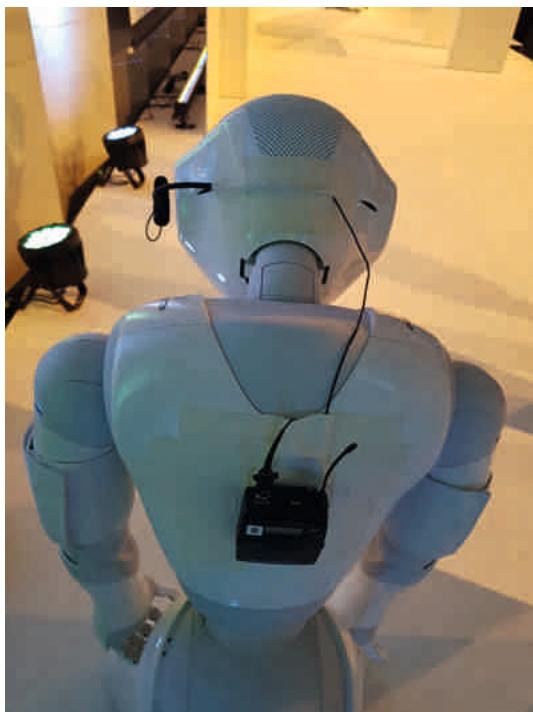


Bild 7.7 Pepper mit drahtlosem Mikrofon

Darüber hinaus muss man eine geeignete Position für den Roboter wählen: frei von visuellen Störungen wie hellem Licht, großen Glühbirnen oder Audio-Ablenkungen. Da ein erweiterter Bewegungsraum für Anwendungen im Klassenzimmer derzeit nicht erforderlich ist und ohnehin zu kompliziert zu implementieren wäre, sind weitere Maßnahmen nicht erforderlich. Roboter wie *Pepper* und *Baxter* haben eine große Armreichweite und sollten im Idealfall mehr als einen Armabstand zu Hindernissen wie Möbeln oder Menschen haben.

Schließlich ermöglichen die Bordbatterien von Robotern wie *NAO* (90 Minuten) und *Pepper* (12 Stunden) eine begrenzte Laufzeit. Bei der Arbeit mit Robotern muss daher auf eine ausreichende Stromversorgung und spezielle Steckdosen mit Überspannungsschutz gegen Spannungsspitzen geachtet werden.

7.3.4 Internetzugang

Während Roboter, die als Werkzeuge eingesetzt werden, in den meisten Fällen ohne einen Internetzugang auskommen (ein großer Vorteil für Schulen mit langsamem oder gar keinem Internetzugang; hier kann Bluetooth eine Alternative sein), erfordern die meisten Assistenz-Anwendungen bei Robotern einen stabilen Internetzugang mit einer Bandbreite von 2,4 oder 5 Gigahertz. Dies dient der Vermeidung von Komplikationen mit bestehenden Netzwerken sowie der Datensicherheit. Es wird empfohlen, keine Standardnetzwerke zu verwenden. Stattdessen sollten Roboteranwendungen über ein eigenes dediziertes Netzwerk verfügen (Giaretta et al., 2018). In vielen Fällen können sich Roboter aufgrund der hohen Sicherheitsstandards solcher Netzwerke nicht einfach mit ihnen verbinden. In einigen Institutionen werden diese Netzwerke sogar nur in dedizierten Bereichen und zusätzlich für eine vordefinierte Dauer aktiviert. Wenn eine Internetverbindung nicht unbedingt erforderlich ist, besteht die robusteste Netzwerkkonfiguration in der Verwendung eines lokalen Routers. Dieser umgeht alle Netzwerkstörungen.

■ 7.4 Entwicklung/Programmierung

Die Programmierung des Roboters sollte in der Regel keine große Herausforderung sein. Im Folgenden geben wir dem Leser Ratschläge für den Umgang mit der Roboterprogrammierung und -entwicklung.

7.4.1 Das Entwicklerteam

Die Roboterentwicklung sollte nicht auf den Schultern eines Einzelnen ruhen. Wenn ein oder mehrere Programmierer zusammenarbeiten, erhöhen sie das Potenzial von Roboteranwendungen und fordern sich gegenseitig heraus. Diese Kombination scheint am besten geeignet, das Potenzial des Roboters zu erhöhen. Sie kombiniert interdisziplinäres und algorithmisches Denken.

Wenn es keine Programmiermöglichkeiten gibt, kann man Programme für NAO- und Pepper-Roboter von kommerziellen Softwareentwicklern erwerben. Da diese jedoch oft nicht auf Anwendungen im Bildungsbereich spezialisiert sind, muss diese Alternative jedoch als *ultima ratio* und nicht als Standardlösung betrachtet werden.

Jeder nutzerfreundliche Roboter sollte idealerweise von einer sogenannten *Community* unterstützt werden. Das Ziel dieser *Community* ist es, technische und praktische Unterstützung für den Einsatz des Roboters zu bieten. Sie müssen nicht professionell programmieren können, um mit dem Roboter umgehen zu können. Sie benötigen jedoch grundlegende Computeranwendungskenntnisse, grundlegende Programmier- und logische Fähigkeiten sowie Zugang zu technischer Unterstützung. Ein Beispiel für die NAO- und Pepper-Roboter ist der gemeinschaftliche Entwicklungsbereich von *SoftBank Robotics*¹.

7.4.2 Die sozialen Medien

Die Entwicklung und Programmierung von digitalen Anwendungen und Szenarien erfordert heute auch den Einsatz von sozialen Medien. Facebook, Instagram, Twitter oder auch YouTube sollten nicht nur für die Entwicklung der Roboter, sondern auch als Plattformen für die Zielgruppen zu einem integralen Bestandteil werden. Über diese Kanäle können zusätzliche Erklärungen gegeben, Fragen in den Communities gestellt und beantwortet und neue Entwicklungen beworben werden. Einige dieser Kanäle haben ihre Videos sogar als CC BY (Creative-Commons-Attribution) lizenziert, was das Herunterladen und die Offline-Wiederverwendung der Lehrvideos ermöglicht. Ein Beispiel ist der Videokanal des deutschen *RoboPrax*-Projekts². Weitere YouTube-Kanäle sind der Roboterprogrammierung gewidmet, wie z.B. ein YouTube-Kanal, der zeigt, wie man NAO und andere Roboter programmiert.³

¹ <https://developer.softbankrobotics.com>, SoftBank Robotics bietet ein Online-Forum, in dem man Antworten von der Gemeinschaft auf technische oder softwarebezogene Probleme erhalten kann: <https://community.ald.softbankrobotics.com/de/content/welcome-aldebaran>.

² <https://bit.ly/3n0a1wl>

³ <https://www.youtube.com/user/robotphilip>

Zusätzlich zu diesen Optionen gibt es erste Massive Open Online Courses (MOOCs) über Bildungsroboter im Allgemeinen oder zur Unterstützung der Verwendung von z.B. NAO-Robotern als Werkzeuge. Das bekannteste Beispiel ist der Online-Kurs *RoboBase*⁴, der die Verwendung von „Flipped Classroom“-Formaten ermöglicht.

7.4.3 Installation

Die Einrichtung eines neu gekauften Roboters ist nicht ganz so einfach wie die Einrichtung eines Laptop-PCs oder eines Smartphones. Auch wenn Sie nicht in allen Bereichen der Web-Technologie „fortgeschritten“ sein müssen, ist ein gewisses Maß an Fachwissen erforderlich. Zum Beispiel muss man den Roboter auf der Website des Herstellers registrieren, den Roboter mit dem Internet verbinden, um die gewünschten Sprachpakete zu installieren, die neuesten Roboteranwendungen für das jeweilige Modell herunterladen und den Roboter betriebsbereit machen. Dies erfordert auch die Installation der Entwicklungssoftware auf dem eigenen Computer und die Einrichtung der notwendigen Pfade für jede Bibliothek innerhalb des Computers. Ein wichtiger zu beachtender Punkt bei der Installation der Roboter-Software ist das Betriebssystem, das der Benutzer besitzt. Windows und MacOS können sehr unterschiedliche Installationsanforderungen haben. Die Einrichtung geeigneter Pfade ist ein integraler Schritt bei der Installation jeder Roboter-Software. Unter Windows kann dies leicht über die Umgebungsoption in der Systemsteuerung erfolgen. In MacOS-Umgebungen erfordert das Einrichten von Pfaden UNIX-Kenntnisse. Außerdem kann *Pepper* beispielsweise nicht mit den neuesten MacOS-Versionen arbeiten, solange der Systemintegritätsschutz nicht ausgeschaltet ist.⁵

7.4.4 Das Entwicklungsumfeld

In einigen Fällen, wie z.B. bei NAO- und Pepper-Robotern, wird ein Standard-Laptop oder Desktop-PC benötigt, um eine Verbindung zum Roboter herzustellen und den Roboter letztendlich zu steuern. Auch mobile Geräte wie Smartphones oder Tablet-PCs können zur Steuerung eines Roboters eingesetzt werden, z.B. zur Fernsteuerung, aber selten zu Entwicklungszwecken. Sowohl NAO als auch Pepper bieten Flexibilität in Bezug auf die Art und Weise, wie sie programmiert werden können. Die visuelle Software *Choregraphe* kann verwendet werden, um *Pepper* und

⁴ <https://www.oncampus.de/weiterbildung/moocs/robobase>

⁵ Einen Leitfaden für die Installation von Peppers SDK auf den neuesten MacOS-Versionen finden Sie unter <https://ai-coordinator.jp/pepper-python-2-7-sdk>.

NAO sowohl in physischer als auch in virtueller Form zu animieren. Die Software-Entwicklungsumgebung, die im Hintergrund von *Choregraphe* läuft, ist in *Python* programmiert, sodass Forscher und Benutzer diese Roboter auch außerhalb von *Choregraphe* in jeder beliebigen *Python*-IDE programmieren können. Diese Situation ist etwas komplizierter geworden, als *SoftBank Robotics* Updates für den Roboter *Pepper* einführte, die in *Android/Java* programmiert worden sind.

Bild 7.8 zeigt eine einfache *Wizard-of-Oz*-Schnittstelle, die in Python entworfen wurde, um Reaktionen von *Pepper* auf Knopfdruck zu generieren.

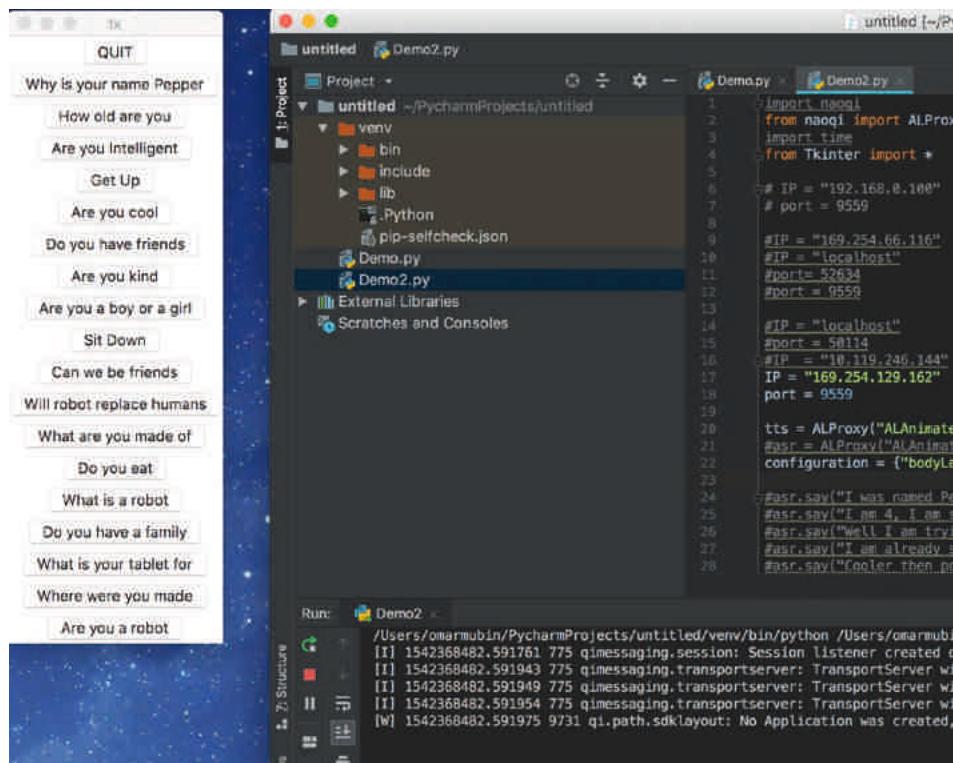


Bild 7.8 Ein Beispiel-Assistent mit *Wizard-of-Oz*-Schnittstelle für *Pepper*

■ 7.5 Ausblick

Auf den ersten Blick zahlt sich die Summe, die für den Einsatz eines humanoiden Roboters wie *Pepper* im Unterricht investiert werden muss, kaum aus. Die logistischen Probleme, der Entwicklungsaufwand und die Kosten sind derzeit sehr hoch. Aber war das nicht schon immer der Fall bei moderner Technologie? Vor 20 Jahren

konnte kaum jemand einen Datenprojektor (Beamer) frei bewegen, geschweige denn ihn finanzieren. Kosten und Logistik waren schier unüberwindbar. Heute spricht niemand mehr über Datenprojektoren: Sie sind billig, allgegenwärtig und können frei bewegt werden.

Die Parallele zu Robotern liegt auf der Hand: Aus wirtschaftlicher Sicht könnte ein Roboter langfristig eine gute Investition sein, da er die Innovation und Kreativität eines typischen Klassenzimmers fördern könnte. Noch wichtiger ist jedoch, dass Roboter auch neue Bildungsoptionen eröffnen können. Im Falle von *Makerspaces* mit Robotern welcher Art auch immer, haben sich die Investitionen bereits bezahlt gemacht.



Diskussionsfragen

- Welche Kompromisse muss man bei der Wahl eines Roboters für Bildungszenarien eingehen?
- Welche Software-Implementierungsmethoden können bei der Erstellung von Bildungsszenarien mit humanoiden Robotern angewendet werden?
- Bietet Drag-and-Drop-Software ausreichende Funktionen zur Erstellung von Bildungsszenarien mit Robotern? Was sind die Vor- und Nachteile der verschiedenen Ansätze zur Programmierung eines Roboters?
- Sollte vor der Durchführung von Experimenten in Bildungseinrichtungen eine Checkliste oder ein Protokoll mit detaillierten logistischen Anforderungen erstellt werden? Und wer sollte dieses Protokoll genehmigen und unterzeichnen?



Weiterführende Literatur

- SoftBank Robotics. SoftBank Robotics documentation. <http://doc.aldebaran.com/2-8/index.html>, 2020. Letzter Zugriff: 2.2.2020.

8

Anwendungen

„Quiet now, I am doing the talking!“

- Elektro, auf der Weltausstellung 1936



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- Welche Kenntnisse und Fähigkeiten können von Bildungsrobotern und sozialen Robotern vermittelt werden?
- Wie wir Roboter zur Bewertung von Lernfortschritten einsetzen können.
- Wie Roboter das Lernen bereichern können.

In den Kapiteln 5 und 6 haben wir zwei Möglichkeiten vorgestellt, die Rolle von Robotern in der Bildung zu verstehen, wobei wir uns zunächst auf die Rolle von Robotern als Werkzeuge konzentriert haben, d. h. Roboter werden lediglich als Instrumente zur Unterstützung, Erleichterung oder Ergänzung des Lehr-Lern-Prozesses betrachtet. Im Gegensatz dazu steht die Konzeption von Robotern als soziale Akteure, wobei die Funktion von Robotern darin besteht, die Rolle eines Lehrassistenten, Tutors oder eines menschenähnlichen Gegenübers zu übernehmen. In diesem Kapitel werden wir einen genaueren Blick darauf werfen, wie breit das Anwendungsspektrum in diesen beiden Bereichen ist. Anwendungen umfassen unterschiedliche Bereiche wie: Sprachenlernen (Erst- und Zweitsprache); Mathematik; Rehabilitation der motorischen Fähigkeiten; Programmierung und IKT; soziale Fähigkeiten (Therapieintervention bei Autismus und/oder Demenz); Physik und Kinematik (z.B. Schwerkraft), Bauroboter; MINT- und MINKT-Ausbildung; Maschinenbauausbildung; aber auch Fächer wie Musik. Dabei geht dieser Überblick über die Grenzen formaler Bildungseinrichtungen wie Schulen und Universitäten hinaus und umfasst auch informelle Bildungspraktiken.

Das vorliegende Kapitel gliedert sich in zwei Teile: Der erste Teil konzentriert sich auf Anwendungen für das Lernen (Abschnitt 8.1). Wir beschreiben hier, wie Roboter aller Art menschliche Lernende beim Erwerb oder bei der Vertiefung von Wissen oder Fähigkeiten unterstützen können. Im zweiten Teil werden Beurteilungsapplikationen thematisiert (Abschnitt 8.2). Beurteilung und Leistungsbewertung stellen Schlüsselkomponenten des Unterrichts dar, da sie es ermöglichen, die Ergebnisse des Lernprozesses zu messen und – falls erforderlich – zu korrigieren. Die Bewertung des Lernens ist eine Grundvoraussetzung für den Lernerfolg, denn

sie ermöglicht, die Erklärungen des Lehrers auf das zuzuschneiden, was der Lernende bereits weiß.

Innerhalb der Hauptanwendungskategorien definieren wir sowohl Wissen als auch Fertigkeiten als unterschiedliche Komponenten des Lernens. Damit soll der Tatsache, dass Lernen mehr als das Auswendiglernen von Fakten oder Wissen beinhaltet, Anerkennung geschuldet werden. Lernen umfasst vielmehr auch die Fähigkeit, Wissen durch den Einsatz von Fertigkeiten zu verallgemeinern und anzuwenden.

Da der Schwerpunkt dieses Kapitels auf der Anwendung der Robotik in Bildungskontexten liegt, steht der Lernende und nicht der Lehrende im Mittelpunkt des Interesses. Damit soll die Rolle der menschlichen Lehrer, Tutoren oder Assistenten nicht heruntergespielt werden, die bei den im Laufe dieses Kapitels diskutierten Anwendungen nach wie vor eine wichtige Rolle spielen. Die Auswirkungen auf diese Gruppe können im Laufe dieses Kapitels erahnt werden und werden später wieder aufgegriffen (Abschnitt 8.3).

■ 8.1 Lernen

8.1.1 Wissen

Roboter können als Unterstützung für den Unterricht in vielen wissensbasierten Fächern, einschließlich Geografie oder Geschichte, eingesetzt werden und wurden es auch schon. In wissensbasierten Fächern erfordert das Lernen oft wiederholtes Üben, wobei das Niveau der Übungen mit der Leistung des Lernenden zunimmt. Wir werden die Vorteile des roboterunterstützten individualisierten Lernens anhand von Beispielen aus den Naturwissenschaften und der Mathematik anschaulichen.

Roboter im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die Praxis des Einsatzes von Robotern als Werkzeuge für den Unterricht in MINT-Fächern und der Computerprogrammierung ist gut etabliert und stellt eine Säule der Roboter in der Bildung dar. Dank der hohen Mobilität und der zahlreichen Freiheitsgrade komplexerer Roboter erleben wir jedoch, dass Roboter für den Unterricht von kinematischen und physikalischen Prinzipien jenseits einfacher, linearer Bewegungen eingesetzt werden (Karim et al., 2015; Alimisis und Boulogaris, 2014; Mitnik et al., 2009). Die Lernenden können nämlich wissenschaftliche Konzepte wie Lokalität und Kraft intuitiv erlernen, indem sie beobachten, wie ein humanoider Roboter die geschickten Bewegungen des menschlichen Körpers (wie ein Roboter, der einen Ball schießt) mit seinen eigenen Aktuatoren simuliert (Carpin

et al., 2007). Der *Thymio*-Roboter (Riedo et al., 2012) zum Beispiel wurde als wertvolles Werkzeug zur Vermittlung der Konzepte Schwerkraft und Beschleunigung vorgestellt. Sein kompakter Aufbau, seine inkludierten Batterien und seine Kompatibilität mit LEGO-Steinen bieten Lehrenden ein breites Spektrum an interaktiven Szenarien.

Ein weiteres faszinierendes Beispiel ist der *Cellulo*-Roboter (Bild 8.1), ein Tischroboter, halb so groß wie eine Grapefruit. Er hat eine ausgeklügelte Radkonfiguration, die es ihm erlaubt, sich in jede Richtung zu bewegen – etwas, was die meisten Roboter nicht können. Er kann aber auch vom Lernenden bewegt werden. Durch ein innovatives Antriebskonzept, bei dem ein Permanentmagnet beschichtete Metallkugeln betätigt, kann der Roboter Widerstand gegen eine Bewegung manifestieren oder diese unterstützen und so dem Lernenden ein haptisches Feedback geben. Darüber hinaus hat der Roboter eine Kamera, die Lokalisierungsmuster lesen kann, die aus winzigen, für das Auge fast unsichtbaren Punkten bestehen und die mit Illustrationen auf gewöhnlichem Papier kombiniert werden können. Auf diese Weise ist es dem Roboter problemlos möglich, den eigenen Standort auf einem Blatt Papier zu lokalisieren. *Cellulo* wurde beispielsweise schon eingesetzt, um Kindern naturwissenschaftliche Lerninhalte beizubringen. In einer Anwendung bewegen sich die Roboter beispielsweise über eine Karte, dabei nachahmend, wie sich Luft von Gebieten mit hohem Druck zu Gebieten mit niedrigem Druck bewegt. In einer anderen beeindruckenden Anwendung werden zehn Roboter verwendet, um zu veranschaulichen, wie Atome reagieren, wenn sie erhitzt werden, nämlich, dass sie von einer Kristallstruktur in einem Festkörper zu Schwingungen in einer Flüssigkeit übergehen und sich in einem gasförmigen Zustand frei bewegen (Özgür et al., 2017).



Bild 8.1 Der *Cellulo*-Roboter kann sich sowohl selbstständig bewegen als auch vom Lernenden bewegt werden. Wenn er bewegt wird, kann er Widerstand geben und gibt auf diese Weise haptisches Feedback. Hier bringt der Roboter Kindern bei, wie sich Wind von Hoch- zu Tiefdruckgebieten bewegt indem seine Bewegungen Windrichtung und -geschwindigkeit widerspiegeln (© CHILI Lab EPFL)

Mathematik

Das Fach Mathematik reicht von einfachem Rechnen bis zum Erlernen komplexer Berechnungen und integriert den Einsatz von Wissen und Können. Zur Unterstützung beider Aspekte wurden Roboter eingesetzt. Angesichts der relativ grundlegenden Natur der Mathematik wurde dies typischerweise eher in der Forschung mit Kindern als mit Erwachsenen erprobt. Zum Beispiel setzten Kennedy et al. (2015) einen sozialen Roboter ein, um Kindern im Alter von sieben bis acht Jahren das Verständnis von Primzahlen zu vermitteln. Eine ähnliche Fallstudie zielte darauf ab, Kindern die Multiplikation in einem von einem Roboter begleiteten kollaborativen Lernprozess zu demonstrieren (Baxter et al., 2017). In einem ähnlichen Szenario zeigen Janssen et al. (2011) in einem „Learn-through-Play“-Ansatz, wie Kinder Aspekte des Rechnens lernen können, wenn sie Spiele mit einem Roboter spielen, wobei sich ein besonders positiver Effekt zeigte, wenn das Verhalten des Roboters an die Leistung des Kindes angepasst wurde (Schadenberg et al., 2017). Es gibt auch Beispiele, in denen nicht-humanoide Roboter eingesetzt wurden, um mathematische oder numerische Prinzipien zu lehren. Ein Beispiel ist ein Roboterspielzeug, das zum Unterrichten von Mathematik durch einfache Programmierung seiner Bewegung (z.B. Linien, Drehungen) verwendet wurde (Highfield et al., 2008). Ein weiteres Beispiel ist der *Turtle*-Roboter, der zur Interpretation von Winkeln und Geometrie verwendet wurde (Mubin et al., 2013c).

8.1.2 Fertigkeiten

Programmierung

Das Erlernen der Programmierung von Computern erfordert nicht nur das Erlernen von Syntax (d.h., jener Begriffe und Befehle, die eine bestimmte Funktionalität haben), sondern auch das Erlernen des Prozesses und der Logik, die den Programmen zugrunde liegen. Im Zusammenhang mit Lernanwendungen ist dies eng mit der Idee des informatischen Denkens verbunden, d.h. der Fähigkeit, Probleme über mehrere Abstraktionsebenen hinweg zu betrachten und zu zerlegen (Wing, 2006). Roboter sind hierfür bestens geeignet, da sie verkörpert sind als ein technisches Gerät das explizit gesteuert werden kann. Das Ergebnis der Programmierung manifestiert sich direkt in beobachtbarem Verhalten (z.B. Bewegung)

Im Hinblick auf das Verhalten von Robotern (Roboter als Werkzeuge, Kapitel 5) gibt es umfangreiche Anwendungen im Kontext des Programmierlernens. Besonders weit verbreitet ist der Einsatz von *LEGO Mindstorms*. Lernende, ob Kinder oder Erwachsene, können einen Code schreiben oder ein Programm konstruieren und sehen, wie sich der Roboter in der Folge verhält. Diese Programmierung kann das Nachfahren einer Linie sein oder die Vermeidung einer Kollision mit einem

Objekt. Als eine verkörperte Erfahrung entspricht es dem konstruktivistischen Lernparadigma (Abschnitt 2.1.3). In der Tat wird die Anwendung dieser Methodik (am Beispiel von *Mindstorms*) in der Programmierausbildung für Universitätsstudierende empfohlen (bspw. Lawhead et al., 2002), wobei Wettbewerbsanreize eingesetzt werden, um die Lernenden zusätzlich zu motivieren (Grandi et al., 2014). Als relativ einfach zu handhabende Hardware wurde *LEGO Mindstorms* auch häufig bei Kindern eingesetzt, um Konzepte der Programmierung einzuführen (z.B. Chaudhary et al., 2016), wobei andere Roboterplattformen, wie *Dash* (z.B. Milne und Ladner, 2018) und *Thymio* (z.B. Riedo et al., 2013), in ähnlicher Weise genutzt werden können.

Es gibt auch Programmieranwendungen für soziale Roboter. In diesem Fall wird zwischen der Programmierung eines sozialen Roboters und der Programmierung mittels eines sozialen Roboters unterschieden. Im ersten Fall, der Programmierung eines sozialen Roboters, liegt der Schwerpunkt auf der Programmierung sozial interaktiver Verhaltensweisen und nicht auf dem Erlernen der Programmierung von Roboterbewegungen (wie es z.B. bei den *LEGO Mindstorms* typisch ist). Es gibt eine Reihe von grafischen Programmierumgebungen mit bereits existierenden populären sozialen Robotern, die dies erleichtern (z.B. die *Choregraphe*-Suite, die mit den Robotern *NAO* und *Pepper* geliefert wird, siehe Kapitel 7), wobei eine Reihe anderer visueller Programmierplattformen entwickelt wurde, um abstrahierte soziale Verhaltensweisen auf höherer Ebene zu programmieren. Zum Beispiel implementierten Diprose et al. (2017) eine abstrakte Sprache, die die Programmierung von sozialen Verhaltensweisen erleichtert, die anschließend um eine grafische Programmierumgebung erweitert wurde (Datta et al., 2012).

Beim Prozess der Programmierung eines sozialen Roboters gleicht der Roboter oft eher einem Lernpartner. Zum Beispiel entwarfen Gordon et al. (2015a) eine Anwendung, bei der Kinder einem kleinen Roboter Spielsteine mit Anweisungen zeigten, auf die er sein Sozialverhalten „programmierte“. Das Mittel zur Überprüfung der Programmierung war die (soziale) Interaktion mit dem Roboter. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass dies zu einer intensiveren Erfahrung und einem besseren Verständnis von Computerfunktionen führte (Gordon et al., 2015b). In ähnlicher Weise ermöglichen Gorostiza und Salichs (2011) den Lernenden, verbale Befehle zum Programmieren des Roboters zu verwenden, wobei sie sich auch auf die anschließende soziale Interaktion mit dem Roboter stützen, um das Ergebnis des Programmierprozesses zu validieren. Das Erlernen des Programmierens basierte auf den Erfahrungen der Lernenden mit sozialen Interaktionen.



RoboPraX

Die Idee, soziale Roboter einzusetzen, um Lernende auf die digitalen Herausforderungen als zukünftige Lehrende vorzubereiten, wurde kürzlich auf die Sekundarschulbildung und die Lehrerausbildung an Universitäten ausgedehnt. Zur Veranschaulichung: Das deutsche Projekt *RoboPraX*¹ führt systematisch *Maker Spaces* mit NAO-Robotern ein, um die regulären Lehrpläne an Schulen und die der Lehrerausbildung an Universitäten zu erweitern (Zeaiter und Heinsch, 2019). Bevor Schüler in einem robotergestützten *Makerspace*, dem sogenannten „*Robotikum*“, mit NAO-Robotern und Unterrichtstechnologien wie interaktiven Whiteboards arbeiten können, müssen sie einen Online-Kurs namens *RoboBase* absolvieren. Dieses wird als MOOC angeboten, auf den jederzeit zugegriffen werden kann und durch den die Lernenden an das selbstgesteuerte Online-Lernen herangeführt werden. *RoboBase* richtet sich an verschiedene Zielgruppen, je nach Alter des Lernenden und Art des Roboters. Der Kurs macht den Lernenden mit humanoiden Robotern, ihrer Entwicklungsumgebung und verwandten Themen vertraut und führt in den *Makerspace* ein, sodass sie vor Beginn der eigentlichen Aktivitäten im „*Robotikum*“ vorbereitet werden.

Es wird also ein umgekehrtes Klassenzimmer-Szenario verwendet, in dem von den Studierenden erwartet wird, dass sie sich vorbereiten, bevor sie in die Schule kommen. Als Teil des „*Robotikums*“ werden die Roboter in einem dreitägigen Kurs programmiert. Die Studierenden arbeiten auf ein Abschlussprojekt hin, das die Entwicklung einer voll funktionsfähigen Roboteranwendung umfasst, einschließlich einer Projektbeschreibung, eines Flussdiagramms und eines semantischen Skripts. Der Kurs wird mit einer öffentlichen Präsentation am vierten Tag abgeschlossen.

8.1.3 Komplexe Themen

Roboter können auch eingesetzt werden, um das Lernen komplexer Themen zu unterstützen. Dabei spielt der Roboter oft die Rolle eines Vermittlers, der die Lernenden einlädt, ihre Ansichten zu reflektieren und zu diskutieren. Dies ist eine ganz andere Rolle als die traditionelle Lehrerrolle: Der Roboter lehrt nicht, sondern beobachtet den Lernprozess, regt die Lernenden an und ermutigt sie, das Thema weiter zu erforschen und ihre Handlungen und Ergebnisse zu hinterfragen.

Das von der Europäischen Union geförderte Projekt „Embodied Perceptive Tutors for Empathy-based Learning“ (EMOTE) untersuchte, wie ein Roboter, der als empathischer Akteur vorgestellt wurde (Paiva et al., 2017), Sekundarschüler unterstützte. In einem Beispiel lernten die Schüler die komplexe Dynamik von Energie und Nachhaltigkeit kennen (Bild 8.2). Sie taten dies durch den Bau einer Stadt in *EnerCities*, einem simulierten Spiel, in dem die Spieler die Bedürfnisse der Men-

¹ <https://www.roboprax.de>

schen, des Planeten und der Energielieferanten ausbalancieren. Der Roboter-Tutor forderte die Schüler auf, konkurrierende Bedürfnisse zu diskutieren, und half bei der Entscheidungsfindung. Die Schüler und der Roboter probierten neue Strategien zur Lösung nachhaltiger Probleme aus, wie z.B. die Umsetzung und Schaffung neuer Politiken für die Stadt (Alves-Oliveira et al., 2019).



Bild 8.2 Zwei Sekundarschüler lernen in einem simulierten Stadtspiel, Energieverbrauch und -produktion in Einklang zu bringen. Der Roboter nimmt die Rolle eines Vermittlers ein, der die Schüler einlädt, über die Aufgabe nachzudenken und ihre Entscheidungen zu hinterfragen (© Alves-Oliveira et al., 2016)

8.1.4 Rehabilitation und Entwicklung sozialer Fähigkeiten

Roboter wurden in großem Umfang für die Rehabilitation und die Entwicklung sozialer Fähigkeiten eingesetzt, zum Beispiel bei der Untersuchung von Personen mit leichten kognitiven Beeinträchtigungen oder mit Autismus-Spektrum-Störungen oder besonderen Lernbedürfnissen (Kavale und Mostert, 2004). Roboter dienen in diesem Zusammenhang als Trainingspartner und überwachen den kognitiven und emotionalen Status eines Individuums (Alnajjar et al., 2019a)

In Bezug auf Kinder mit Autismus-Spektrum-Störungen hat sich gezeigt, dass sie gut auf roboterspezifische Eigenschaften reagieren können, die roboterspezifische Roboter aufweisen. (Scassellati et al., 2012; Thill et al., 2012). Zum Beispiel wurde in einem der frühesten Versuche (Dautenhahn und Werry, 2004) ein kleiner mobiler Roboter mit Rädern eingesetzt, um eine Reihe sozialer Aktivitäten bei Kindern mit Autismus zu fördern. Unter Verwendung eines einfachen, aber sehr ausdrucksstarken Roboters (*KeepOn*) fanden Kozima et al. (2009) heraus, dass dieser Roboter ausreichte, um soziale Interaktion mit Menschen mit Autismus zu initiieren. Durch

die Erweiterung der Autonomie des Roboters (Gomez Esteban et al., 2017) wurde ein überwachtes autonomes System entwickelt, das an einer therapeutischen Intervention für Kinder mit Autismus teilnehmen kann, die sich auf Grundfertigkeiten wie gemeinsame Aufmerksamkeit, Spiegelung, Imitation und Erkennung von Emotionen konzentriert. Es wurden vielversprechende Ergebnisse in Bezug auf die fortschreitende Entwicklung der sozialen Fähigkeiten der Kinder erzielt, die denen eines menschlichen Therapeuten entsprechen (David et al., 2018). Darüber hinaus haben Wood et al. (2019) in den letzten zehn Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten zur Interaktion von Kindern mit Autismus-Spektrum-Störungen mit dem humanoiden Roboter *Kasper* durchgeführt, um das Potenzial dieses Roboters für Alltagsassistenz und Therapie zu überprüfen. Im weiteren Sinne finden wir sogar Beispiele von Robotern, die Ressourcen bei Menschen fördern sollen und uns etwa trainieren sollen, freundlich zueinander zu sein (Borenstein und Arkin, 2017).

Darüber hinaus kann die Fähigkeit von Robotern, Bewegungen immer und immer wieder zu wiederholen, ohne zu ermüden oder sich zu langweilen, für die Entwicklung motorischer Fähigkeiten, z.B. zur Rehabilitation, genutzt werden. Roboter, wie zum Beispiel tragbare Exoskelette, können eine wichtige Rolle in Rehabilitationsprogrammen für ältere Menschen und Patienten nach Schlaganfällen spielen (Okajima et al., 2018). Bild 8.4 zeigt ein Beispiel für einen tragbaren Roboter zur Veranschaulichung dieser speziellen Roboteranwendung.

Ein weiteres Beispiel ist ein System, das derzeit an der Universität der Vereinigten Arabischen Emirate (UAEU) entwickelt wird. Das „Avatar-Roboter“-System (Bild 8.5) verwendet einen Anzug zur Erfassung von Körperbewegungen, um die Bewegungen eines menschlichen Therapeuten aufzuzeichnen und in Echtzeit auf einem Roboter abzubilden. Während der Therapiesitzungen wird der Benutzer dann aufgefordert, die Bewegung des Roboters zu imitieren. Um die Interaktivität der Sitzung zu verstärken, hat der Therapeut die Möglichkeit, durch den Roboter mit dem Benutzer über ein Sprachsystem zu sprechen, das die menschliche Stimme in eine roboterähnliche Stimme umwandelt.



Das Projekt „Kognitive Spiegelung“

Alnajjar et al. (2019b) schlugen ein System vor, das Kindern mit Autismus-Spektrum-Störungen helfen kann, Emotionen zu erkennen. In ihrem Projekt „Cognitive Mirroring“ trägt der Roboter ein kleines Android-Tablet auf seiner Brust, auf dem Emotionen angezeigt werden, da der Roboter kein ausdrucksstarkes Gesicht hat. Kinder mit Autismus-Spektrum-Störungen werden aufgefordert, die Emotion zu erkennen und zu imitieren. Der Roboter bewertet die Aufmerksamkeit und das Engagement des Kindes, indem er durch die Verarbeitung von Kameradaten Informationen über Augenkontakt, gemeinsame Aufmerksamkeit, Gesichtsausdrücke der Emotion, stimmliche Reaktionsfähigkeit und Imitation verarbeitet.

**Bild 8.3**

NAO-Roboter mit einem an seiner Brust befestigten Bildschirm, der verschiedene Emotionen zeigt

**Bild 8.4** 3D-gedrucktes tragbares Gerät

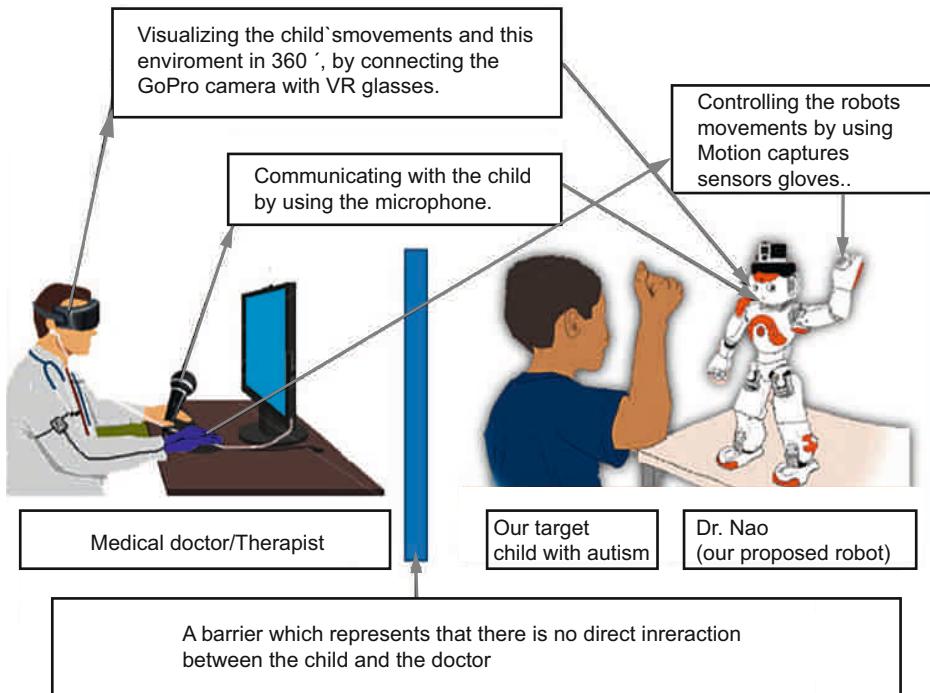


Bild 8.5 Ein Beispiel für ein Szenario, in dem der Therapeut über den Roboter mit einem Kind kommuniziert

8.1.5 Verhaltensänderung

Die Fähigkeit, das Verhalten von Menschen zu ändern, indem man sie ermutigt und ihnen hilft, Gewohnheiten und Perspektiven zu ändern, ist ein Bereich, der eindeutig das Potenzial hat, wirksam in der realen Welt umgesetzt zu werden. Langfristige Verhaltensänderungen über längere Zeiträume hinweg sind jedoch nur schwer über den Umfang einer bestimmten Studie hinaus zu untersuchen, sodass es relativ wenig direkte Belege dafür gibt, zumindest in der Robotik. Es gibt jedoch eine Reihe von Versuchen in denen Roboter eingesetzt werden, um die Voraussetzungen von Verhaltensänderungen wie dem Erlernen relevanter Konzepte beleuchtet werden. Dieses Forschungsgebiet wird als „persuasive robotics“ (dt. in etwa „Überzeugung durch Roboter“) bezeichnet (Ham und Spahn, 2015).

Eine besondere Anwendung von sozialen Robotern betrifft die Gewinnung von Erkenntnissen über die Mechanismen langfristiger Verhaltensänderungen bei Kindern mit Diabetes (Blanson-Henkemans et al., 2012), wie im EU-finanzierten Projekt *ALIZ-E*² gezeigt wurde. Eine der Kernideen dieses Projekts war, dass ein

² <http://www.aliz-e.org/>

Roboter und ein Kind über die Zeit eine Bindung eingehen können (Belpaeme et al., 2013). Verschiedene Lerninhalte waren Teil dieser umfangreichen Bemühungen: Es wurde eine Kombination von Aktivitäten gefunden, um die Motivation zu fördern (Coninx et al., 2016). Eine dieser Aktivitäten war das Erlernen grundlegender Konzepte im Zusammenhang mit gesunder Ernährung und gesunder Lebensweise (darunter Konzepte in Bezug auf die Ernährung, die z. B. bei der Kontrolle der Kohlenhydrataufnahme helfen würden (Coninx et al., 2016) und Bewegung, sowohl in Bezug auf die Steigerung der körperlichen Aktivität, aber auch in Bezug auf die Einbettung anderer Konzepte, z. B. Ros et al., 2016). Roboter wurden sogar zu dem Zweck eingesetzt, Menschen dazu zu bringen, Energie einzusparen (Ham und Midden, 2014).

8.1.6 Roboterunterstütztes Sprachenlernen

In vorigen Kapiteln haben wir einerseits erörtert, dass Sprache die natürlicheste Form der Interaktion zwischen Menschen und Maschinen ist (Abschnitt 4.2), andererseits haben wir auch dargelegt wie eine Vielzahl von sozialen Signalen eines sozialen Roboters die verbale Interaktion zwischen einem Nutzer und einem Roboter ermöglicht (Abschnitt 3.2). Ein sozialer Roboter kann eine Reihe von Interaktionsmodalitäten implementieren, wie z. B. Gesichtsausdrücke, Variationen in Tonhöhe und Stimme, möglicherweise Lippen- und Kopfbewegung. Alles Attribute, die integraler Bestandteil der Mensch-Roboter-Sprachinteraktion sind, wobei die Sprache durch visuelle Ausdrücke ergänzt wird.

Angesichts des Potenzials von sozialen Robotern für verbale und nonverbale Interaktion ist es naheliegend soziale Roboter für den Sprachunterricht einzusetzen. Dies wird auch als roboterunterstütztes Sprachenlernen (*Robot Assisted Language Learning, RALL*) bezeichnet (Mubin et al., 2013b; van den Berghe et al., 2019) und ist eines der beliebtesten Anwendungsgebiete von Bildungsrobotern (Chang et al., 2010). Ein weiterer klarer Vorteil eines Roboters ist seine Kapazität Dinge zu wiederholen (siehe auch Abschnitt 3.2). Ein Roboter wird nicht müde oder frustriert, egal wie viele Fehler ein Schüler beispielsweise beim Üben der Aussprache macht.

Darüber hinaus hat ein sozialer Roboter zusätzlich zu den nonverbalen Signalen die Fähigkeit, den verbalen Dialog durch den Einsatz von Gesten zu verstärken. Diese nonverbalen Signale und Gesten dienen nicht nur dazu, das kommunikative Element der Interaktion zu verstärken, sondern verbessern auch das soziale Engagement und den Einsatz des Lernenden, was wiederum für den Erfolg der Interaktion und des anschließenden Lernens wesentlich ist.

Schließlich können Telepräsenztechnologie und Roboter wie *iRobiQ* (Han, 2012) auch die Integration eines entfernten Lehrers in den Klassenraum erleichtern. Im

Rahmen des Sprachenlernens kann man einen Muttersprachler der Zielsprache hinzuziehen und ihn über den Roboter mit dem Lernenden interagieren lassen.

Wie Roboter das Sprachenlernen unterstützen

Roboter bieten, genau wie andere digitale Technologien, große Flexibilität. Der Einsatzaufwand von Robotern, um an einem Tag Französisch und am nächsten Tag Deutsch zu unterrichten, könnte einfach darin bestehen, eine neue Dialogdatenbank und Software auf den Roboter zu laden. Vergleichen Sie das mit der Suche nach einem neuen Lehrer. Weitere Hauptvorteile des Einsatzes eines Roboters als Sprachlehrer ist der Aspekt des völligen Fehlens jeglichen voreingenommenen Verhaltens oder Urteils aufseiten des Roboters. Frühere Forschung (Chang et al., 2010) hat gezeigt, dass Kinder weniger Scham und Unsicherheit zeigen, wenn sie mit einem Roboter in einer Fremdsprache interagieren.

Das Potenzial von Robotern für das Erlernen einer Fremdsprache ist unter Forschenden weithin anerkannt. Typischerweise sind spielbasierte Elemente, spielerische Interaktionen, sowie Kollaboration und Animationen ein integraler Bestandteil solcher Lernszenarien. Diese ermutigen den jungen Lernenden, Interesse und Motivation aufrechtzuerhalten, während er eine Fremdsprache lernt. Neben dem Erlernen einer Fremdsprache wurden soziale Roboter auch eingesetzt, um die Beherrschung der Muttersprache eines Schülers zu üben und zu verbessern (Han, 2012). Ein drittes verhältnismäßig einzigartiges Szenario ist der Einsatz von robotergestütztem Sprachenlernen für das Erlernen künstlicher oder von menschenkreierter Sprachen. Zwei Beispiele sind die Roboter-Interaktionssprache *ROILA* (Mubin et al., 2012) und *Toki Pona* (Saerbeck et al., 2010). Bei beiden handelt es sich um künstliche Sprachen, die die Kommunikation vereinfachen und dadurch den Erfolg der Interaktion mit Robotern potenziell steigern sollen. Die Sprachen wurden speziell geschaffen, um Schwierigkeiten bei der Spracherkennung und Mehrdeutigkeiten bei der Interpretation zu minimieren, die bei der Verwendung natürlicher Sprache in der Mensch-Roboter-Interaktion üblicherweise auftreten. Für einen umfassenden Überblick über roboterunterstütztes Sprachenlernen („Robot Assisted Language Learning“) verweisen wir den Leser auf den Beitrag von Randall (2019).

Herausforderungen des roboterunterstützten Sprachenlernens

Trotz des Potenzials des roboterunterstützten Sprachenlernens steht der Einsatz von Robotern in diesem Gebiet auch vor einer Reihe von Herausforderungen. Die Spracherkennung ist ein Schlüssel zur Mensch-Maschine-Interaktion und von zentraler Bedeutung für das Sprachenlernen. In einer lauten Lernumgebung ist die autonome Spracherkennung jedoch nicht optimal. Die meisten Spracherkennungsmaschinen sind für die Erkennung von Erwachsenensprache trainiert und optimiert worden. Die Sprache von Kindern unterscheidet sich nicht nur in ihrer Ton-

höhe, sondern auch in der Anzahl der uneindeutigen Äußerungen und lexikalischen Fehler, die Kinder machen. Kennedy et al. (2017c) zeigten, dass die hochmoderne automatisierte Spracherkennung zwar nahezu perfekt für die Erkennung der Sprache von Erwachsenen funktioniert, aber Schwierigkeiten hat, die Sprache von Fünfjährigen zu erkennen. Sie zeigten, dass die derzeit beste Spracherkennungsmaschine (Googles Cloud-basierte ASR) nur 40 % der Zahlen korrekt erkannte, wenn Kinder bis zehn zählten. Wenn Kinder gebeten wurden, eine Geschichte zu erzählen, erkannte die Spracherkennung kaum ein einziges Wort. Um das Lehrkompetenz des Roboters anzupassen, ist es also notwendig, die Sprachkompetenz des Lernenden zu definieren. Geeignete Messinstrumente müssen identifiziert werden.

Bis heute konzentriert sich roboterunterstützte Sprachenvermittlung hauptsächlich auf das Lernen von Vokabeln oder einfacher sprachlicher Konstrukte, wobei die flüssige sprachliche Interaktion immer noch weit über die technischen Fähigkeiten hinausgeht. Da es sich bei Sprache um ein komplexes Konstrukt handelt, das in hohem Maße von Weltwissen, Kontext und Gemeinsamkeiten abhängt, ist es unwahrscheinlich, dass Roboter jemals in der Lage sein werden, mit einem Lernenden eine flüssige Unterhaltung in einer Muttersprache oder einer Fremdsprache zu führen. Selbst wenn bei einigen Technologien, z.B. bei Chat-Bot-Technologien, rasche Fortschritte erzielt werden, bleibt die Komplexität der Sprachintegration in einen Roboter eine schwierige Aufgabe.

8.1.7 Hochschulbildung

In der Hochschulbildung sind Roboteranwendungen außerhalb der technischer Fachbereiche selten. Selbst in der Science-Fiction gibt es kaum Darstellungen von Robotern als Lehrende im Hochschulbereich. In digitalen Lehr- und Lernszenarien gibt es jedoch neue Möglichkeiten, bei denen Roboter die Rolle von Assistenten in den Präsenzphasen von „*Inverted Classroom*“-Szenarien übernehmen. Bei hochspezialisierten und stark technologieorientierten Roboteranwendungen können Roboter nicht nur eine neue Rolle übernehmen, sondern auch einen beträchtlichen Nutzen für Lehrende und Lernende schaffen.



Anwendungspakete für den Unterricht

In einem gemeinsamen Projekt zwischen der Philipps-Universität Universität Marburg und der Chinese University of Hongkong wurden sogenannte „Classroom Application Packages“ (CAPs) entwickelt, die es dem Roboter ermöglichen, einige der Aufgaben eines menschlichen Lernbegleiters zu übernehmen. Eine CAP bündelt mehrere Aktivitäten im Klassenzimmer zu einer komplexen Roboteranwendung, sodass der Roboter für eine bestimmte Zeit die Regie im Präsenzgeschehen übernimmt. Die Aufgaben und ihre Dauer können durch eine direkte Interaktion zwischen dem Roboter und der Lehrperson geändert werden. Damit ein CAP eingesetzt werden kann, müssen eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein: Wichtig ist, dass die Verwendung einer CAP ein digitales Lehr-Lern-Szenario mit einer kollaborativen, kompetenzorientierten Unterrichtsphase erfordert, in der die Studierenden an spezifischen Aufgaben arbeiten, um ihre themenbezogenen Kompetenzen zu erweitern. Zusätzlich benutzen alle ihre mobilen Geräte zur Unterstützung und der Roboter befindet sich an einer für alle Studierenden gut sichtbaren und hörbaren Position. Bild 8.6 zeigt diesen Aufbau.



Bild 8.6 Pepper in der Klasse bei der Unterstützung von Universitätsstudenten

Sowohl der Roboter als auch die Studierende benötigen einen Internetzugang und Zugang zu einer E-Learning-Plattform, um die Daten, die den Studierenden präsentiert werden sollen, abzurufen und darauf zu reagieren.³ Ein typisches Szenario der Verwendung eines Pepper-Roboters, der eine CAP ausführt, durchläuft die folgenden Schritte (wobei die Schritte 4 und 5 wiederholt werden können):

1. administrative Maßnahmen (z. B. Bekanntgabe der Sitzungs-ID),
2. Begrüßung und Beschreibung der Lernergebnisse,
3. Prüfung der Vorkenntnisse,
4. Definition und Präsentation einer Lernaufgabe für die Studierenden,
5. Fragen zur Beurteilung des Lernens der Studierenden,
6. zusammenfassen der Antworten und Feedback,
7. Auswertung der Sitzung.

³ Gegenwärtig verwenden die in Entwicklung befindlichen CAPs die uREPLY-Plattform: <https://ureply.mobi/>.

Die Studierenden sind nicht nur auf die verbalen Ansagen des Roboters angewiesen. Alle Roboteraktivitäten werden auch auf die Smartphones der Studierenden übertragen und können verfolgt werden. Die Studierenden können wählen, ob sie einzeln oder in Gruppen arbeiten möchten. Da die Dauer und die Reihenfolge der Aufgaben, die der Roboter auszuführen hat, von den Studierenden oder dem Lehrenden (über die Kommunikation mit dem Roboter) manipuliert werden können, besteht immer die Möglichkeit, diese zentralen Aufgabenparameter am Roboter zu ändern. Bild 8.7 zeigt den Roboter und das *Smartphone* eines Studierenden zusammen mit der eingesparten *Coaching-Zeit*.

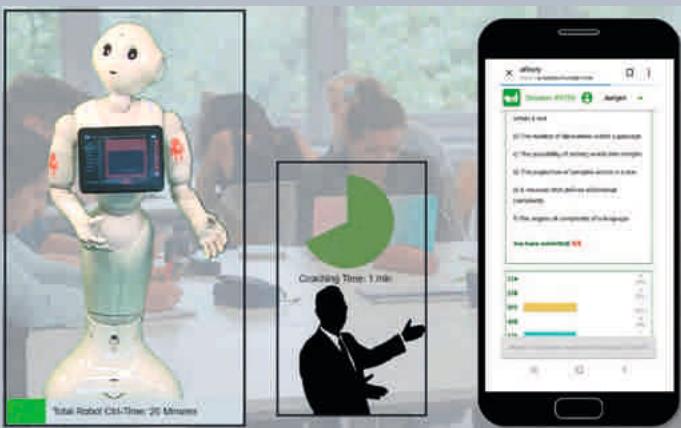


Bild 8.7 Komponenten einer CAP bei der Arbeit

Der Hauptvorteil einer CAP ist, dass der Lehrende dadurch Zeit gewinnt. Durch die autonomen Aktionen, die der Roboter ausführt, muss sich der Lehrende nicht mehr um technische Aspekte kümmern, sondern kann sich stattdessen auf die Unterstützung der Studierenden konzentrieren.

■ 8.2 Bewertung

Der Schlüssel zu einer produktiven Bildungserfahrung ist der Zugang des Roboters zum Zustand des Lernenden. Dieser umfasst einerseits Informationen über den Fortschritt des Lernenden und andererseits Informationen über den unmittelbaren sozialen und emotionalen Zustand des Lernenden.

8.2.1 Prüfinstanz

Wenn man davon ausgeht, dass in gegenwärtigen Lehrumgebungen viele Prüfungen digital am PC absolviert werden, sodass ein Computer die volle Kontrolle über den Prüfungsprozess hat, entsteht ein neues Potenzial für Roboter als Prüfer. Einerseits können Roboter als individuelle Prüfer fungieren, die den Studierenden von Angesicht zu Angesicht Fragen stellen. Andererseits können sie die Studierenden mithilfe von Fragen aus vorherigen Prüfungen auf eine bevorstehende Prüfung vorbereiten.

Die von der Universität Marburg entwickelte App „Quizmaster“ für *Pepper*-Roboter hat beide Rollen realisiert. Sie ermöglicht es, zu Beginn entweder ein bereits existierendes Quiz aus der Datenbank der E-Learning-Plattform auszuwählen (und Voreinstellungen vorzunehmen) oder ein neues Quiz auf der Grundlage einiger Parameter zu erstellen. Zu den Parametern gehören: Fragetypen (Multiple Choice, Eingabe, Zählaufgaben, Berechnungsaufgaben, Listenaufgaben, Auswahlaufgaben), Anzahl der Fragen, Zeit pro Frage, Zeit bis zur Warnung über die verbleibende Zeit. Bild 8.8 zeigt die Situation im Präsenzgeschehen.



Bild 8.8 Die Quizmaster-App im Unterricht

Die persönliche Prüfung ist eine geeignete Option, insbesondere in Fällen, in denen die Studierenden online erworbene Kenntnisse, z. B. MOOC-Abschlüsse, nachweisen müssen. Wenn Lehrende jedoch keine Kapazität für mündliche Prüfungen haben, ist die Gruppenprüfung eine äußerst attraktive Option für Unterrichtsszenarien, bei denen die Studierenden im Voraus darauf hingewiesen werden, dass mehrere zufällig aus der Prüfungsfragen-Datenbank gezogene Fragen präsentiert und diskutiert werden. In beiden Fällen erhält der Lehrende mehr Freiraum für komplexe Aktivitäten im Lehrgeschehen: Er kann individuelle Hilfe leisten, anstatt mit mündlichen Prüfungen beschäftigt zu sein.

8.2.2 Feedback

Es ist wichtig, die Leistungen der Lernenden zu evaluieren, damit Lehrende ihre Lehrinhalte an die Leistungen der Lernenden anpassen können. Ein Ansatz ist der Einsatz von Lernanalytik zur Beurteilung der Leistung der Lernenden. Nach Keller (2020) lassen sich drei Arten der Lernanalytik (engl. *Learning Analytics*) definieren:

- deskriptive Lernanalytik (Information über die zugrunde liegenden Daten),
- prädiktive Lernanalytik (Projektionen auf der Grundlage der aktuellen Daten),
- präskriptive Lernanalytik (Prognosen, was getan werden sollte).

Viele Institutionen sehen ein großes Potenzial im Einsatz von Lernanalytik als Teil von proaktivem Feedback und prädiktiver Analytik. Die an der Universität Marburg⁴ entwickelte *Student Advisor App* für den *Pepper*-Roboter beispielsweise verwendet Daten des Lernenden, um diesem ein personalisiertes Feedback zu geben. Das System verwendet Daten über die Teilnahme am Unterricht, die Häufigkeit des Zugriffs auf Online-Lerneinheiten, die Testleistung und die Aktivität auf Kommunikationskanälen, um ein Profil des Studierenden zu erstellen. In diesem Zusammenhang benötigt der Roboter Zugriff auf Daten wie Informationen über Kurse (Inhalt, Personen, Fristen) und Informationen über die Studierenden (persönliche Daten, kursbezogene Daten). Die Informationen werden verwendet, um einen natürlichsprachlichen Dialog über den Fortschritt und die Leistungen des Studenten zu führen.

Hier ist ein Beispiel, das die Kommunikation mit einem *Pepper*-Roboter (YUKI) und einem Studenten (LISA) veranschaulicht:

 YUKI: Hello Lisa, welcome. You are working excellently in the course "History of English."

LISA: Hello Yuki. Thank you for the praise. Do you have anything to complain about?

YUKI: Not much. However, to be on the safe side, you should repeat the second Mastery Test on "Proto-Languages" in order to achieve a higher percentage than the previous 75 % which only gave you a "Junior Badge". Do you still have questions?

LISA: When is the final exam?

YUKI: On February 02, 2020 at 10 o'clock.

Die Anmeldung für eine solche „Sprechstunde“ mit einem Roboter sollte idealerweise über Gesichtserkennung erfolgen. Um Fehleinschätzungen durch Erkennungsfehler zu vermeiden, erfolgt der Mensch-Roboter-Kontakt über einen persön-

⁴ <https://www.project-heart.de/research-eng/>

lichen *Quick Response* (QR)-Code, den die Studierenden von ihrer Lernplattform herunterladen können. Diese QR-Code-Identifikation hat sich als absolut zuverlässig erwiesen (Bild 8.9).

Nach der Identifikation erhält der Roboter Zugriff auf die Datenbank und beginnt einen Dialog mit dem Studierenden. Nach jeder Konversation fasst der Roboter diese zusammen und sendet sie per E-Mail an den Studierenden. Die im Rahmen des H.E.A.R.T.-Projekts durchgeführten Evaluationen deuten darauf hin, dass die Studierenden humanoide Roboter in solchen „Sprechstunden“ reinen *Chat-Bots* vorziehen. Wie ein Student es ausdrückte: „Ich kann mit dem Roboter über Dinge sprechen, die ich meinem Lehrer gegenüber nicht erwähnen würde.“



Bild 8.9 Pepper identifiziert Menschen über QR-Code

■ 8.3 Ausblick

Im Großen und Ganzen wird erwartet, dass Roboter günstiger werden und ihre Fähigkeiten, auf analytische Daten und das soziale Umfeld zu reagieren, zunehmen werden. Infolgedessen ist mit einer Zunahme der pädagogischen Anwendungen für Roboter zu rechnen. Es ist jedoch wichtig, darauf hinzuweisen, dass das menschliche Element in der Bildung wahrscheinlich nie verschwinden wird. Menschliche Lehrer verfügen über Fähigkeiten und Fertigkeiten, die weit über die von Robotern hinausgehen, ihre Flexibilität, ihr Einfühlungsvermögen und ihre Wahrnehmungsfähigkeit sind konkurrenzlos, und daher sind Bedenken, dass Roboter tatsächlich in naher Zukunft Lehrkräfte ersetzen könnten, nach wie vor unbegründet.

Was jedoch vorstellbar ist, ist eine Rolle bei der der Roboter Lehrende unterstützt. Vielleicht wird es im digitalen Zeitalter eine Handvoll Roboter in Klassenzimmern

geben, die bereitstehen, um individuelle Unterstützung zu geben oder die Lernenden herauszufordern und zu fördern. Vielleicht wird der Roboter als Vokabeltrainer eingesetzt oder bei zwischenmenschlichen Konflikten unter Gleichaltrigen Ratschläge geben. Bedenken Sie jedoch, dass wir uns noch in den Anfängen der Bildungsrobotik befinden, da wir gerade erst begonnen haben, ihren Einsatz und ihre Wirksamkeit im Laborkontext und im Feld (d.h. in realen Lernkontexten) zu untersuchen. Es sind daher langfristig weitere Forschungsaktivitäten zum Einsatz von Robotern in der Bildung erforderlich, um die Bildungspraktiken zu informieren und zu reformieren.



Diskussionsfragen

- Könnten Roboter in gegenwärtige Unterrichtsformen integriert werden? Oder wären radikal neue Lehrmethoden zu bevorzugen, die das volle Potenzial des Einsatzes von Robotern ausschöpfen?
- Was sind die Haupthindernisse für den Einsatz von Robotern im Unterricht? Sind sie rein technischer Natur, oder brauchen wir eine Änderung der Einstellung von Lernenden, Lehrenden und der Öffentlichkeit?
- Warum wäre es unmöglich und vielleicht sogar unerwünscht, das menschliche Element in der Bildung vollständig zu ersetzen?
- Gibt es Anwendungen, in denen Roboter in der Bildung nicht eingesetzt werden sollten?



Weiterführende Literatur

- Tony Belpaeme, James Kennedy, Aditi Ramachandran, Brian Scassellati, und Fumihide Tanaka. Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3(21): eaat5954, 2018a.
- Dimitris Alimisis. Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1): 63–71, 2013.
- Mohammad Obaid, Ruth Aylett, Wolmet Barendregt, Christina Basedow, Lee J. Corrigan, Lynne Hall, Aidan Jones, Arvid Kappas, Dennis Küster, Ana Paiva, Fotios Papadopoulos, Sofia Serholt, und Ginevra Castellano. Endowing a robotic tutor with empathic qualities: Design and pilot evaluation. *International Journal of Humanoid Robotics*, 15(06):1850025, 2018. doi: 10.1142/S0219843618500251.
- Omar Mubin, Catherine J Stevens, Suleman Shahid, Abdullah Al Mahmud, und Jian-Jie Dong. A review of the applicability of robots in education. *Journal of Technology in Education and Learning*, 1(209-0015):13, 2013c.

9

Einstellungen gegenüber Robotern

„Robots are interesting because they exist as a real technology that you can really study—you can get a degree in robotics – and they also have all this pop-culture real estate that they take up in people's minds.“

- Daniel H. Wilson



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- Einstellungen zu Robotern und Bildungsrobotern,
- Förderung der Technologieakzeptanz.
- Wie messen Forschende die Einstellung zu Robotern im Allgemeinen?
- Welche Faktoren beeinflussen die Einstellung der Menschen zu Robotern?

■ 9.1 Technologieakzeptanz

Der Begriff „Roboter“ leitet sich von dem tschechischen Wort „roboťa“ ab, was autonome Arbeit bedeutet. Somit ist ein Roboter im wörtlichen Sinne ein Automat, der zur Unterstützung in verschiedenen Einsatzbereichen wie Industrie, Gesundheitswesen, im häuslichen Bereich oder als Teil des Bildungssystems eingesetzt wird. Auf diese Weise sind visionäre Ideen, die einst Darstellungen von Robotern in populären Medien und *Science-Fiction*-Literatur inspirierten, zumindest teilweise Wirklichkeit geworden. Da jedoch die Einstellungen der Benutzer durch Roboterdarstellungen in den Populärmedien beeinflusst werden könnten (Mubin et al., 2019b, 2016; Sandoval et al., 2014), ist es wichtig herauszufinden, was Menschen tatsächlich über eine Zusammenarbeit oder die Koexistenz mit Robotern denken und fühlen.

Einstellungen werden allgemein als positive oder negative Bewertungen jeglicher Art von Objekten definiert (Ajzen und Fishbein, 1980). So können natürlich auch Roboter als Objekte betrachtet werden, die bei potenziellen Endnutzern positive, negative oder sogar ambivalente Bewertungen hervorrufen.

De Graaf et al. (2017) haben die Unified Theory of Technology Acceptance (UTAUT) für die Mensch-Roboter-Interaktionsforschung adaptiert (Venkatesh und Bala, 2008), um zu verstehen, wie Einstellungen gegenüber Robotern das Nutzerverhalten beeinflussen. Die Autoren unterscheiden zwischen utilitaristischen und hedonistischen Einstellungen, die den Wert widerspiegeln, der dem Roboter als „Werkzeug“ bzw. als „Spielzeug“ beigemessen wird. Im Einzelnen umfassen utilitaristische Einstellungen einerseits vertrauensbildende Eigenschaften wie die wahrgenommene Nützlichkeit, die Benutzerfreundlichkeit, die Anpassungsfähigkeit an die Nutzenden und die wahrgenommene Intelligenz des autonomen Systems. Hedonistische Haltungen hingegen umfassen die Erfahrung der Freude im Umgang mit sowie die Attraktivität des Roboters. Diese Aspekte stehen wiederum in engem Zusammenhang mit dem Grad, inwieweit Roboter als authentisch, als gesellig und als möglicher „Freund“ und „Partner“ wahrgenommen werden können.

Verhaltensintentionen gegenüber Robotern werden nicht nur durch Einstellungen, sondern auch durch soziale Normen und Verhaltenskontrolle vorhergesagt (Ajzen und Fishbein, 1980). Das heißt, was wir und andere über Roboter denken und die Möglichkeit, sie als Assistenten oder Begleiter in unserem Leben nutzen zu können, beeinflusst unser Verhalten. Unsere Verhaltenskontrolle schließt Faktoren ein, die den korrekten Einsatz von Robotern beeinflussen oder behindern können, wie z. B. die Verfügbarkeit notwendiger epistemischer oder kognitiver Ressourcen, z. B. die Selbstwahrnehmung eines Individuums in der Interaktion mit einem Roboter. Das heißt, zur Verhaltenskontrolle gehört auch die subjektive Einschätzung der eigenen Fähigkeit, kompetent mit einem Roboter zu interagieren. Die Verhaltenskontrolle hängt u.a. davon ab, wie sicher ein Roboter wahrgenommen wird und ob Menschen Ängste vor Robotern in eine Interaktionssituation mitbringen (Kamide et al., 2012; Nomura, 2017; Nomura et al., 2008; Nomura und Kanda, 2003).

■ 9.2 Messung der Einstellung gegenüber Robotern

Es liegt auf der Hand, dass selbst die technologisch fortschrittlichsten Roboter im gewerblichen, privaten oder schulischen Umfeld nutzlos wären, wenn Menschen nicht auch bereit wären, diese Roboter einzusetzen. Das heißt, die Absichten, eine solche Technologie zu nutzen, und letztlich der tatsächliche effektive Einsatz von Robotern in einem professionellen Umfeld, z.B. im Bildungsbereich, hängen stark von der Einstellung ab, die ein Individuum in den spezifischen Kontext einbringt.

Um solche Bewertungen einzuschätzen, haben Forschende in der sozialen Robotik eine Vielzahl von Fragebögen entwickelt (z.B. Nomura et al., 2006a/b; Eurobarometer, 2012). Die Einstellung gegenüber Robotern wurde bei verschiedenen Nutzergruppen, von Kindern bis zu Senioren und in verschiedenen nationalen und kulturellen Kontexten untersucht (z.B. Arras und Cerqui, 2005; Nomura et al., 2006a; Bartneck et al., 2007b; Eurobarometer, 2012). Innerhalb Europas hat die Eurobarometer-Umfrage, ein prominentes Beispiel für eine groß angelegte EU-weite Umfrage, eine recht positive Einstellung gegenüber Robotern im Allgemeinen ergeben (Eurobarometer, 2012). Diese wurde durch demografische Variablen wie Alter, Geschlecht oder Bildungsniveau beeinflusst, wobei Männer, jüngere und besser ausgebildete Menschen eher für neue Technologien sind. Trotz der insgesamt positiven Reaktionen wurde angenommen, dass Roboter nur eingeschränkt einsetzbar seien. Das heißt, wenn es um die Berücksichtigung von Anwendungsfällen ging, wurden Roboter vor allem in arbeitsintensiven Bereichen wie der Fertigung oder in Umgebungen bevorzugt, die die Gesundheit von Menschen potenziell gefährden könnten, z.B. bei Such- und Rettungseinsätzen, im Militär oder in der Weltraumforschung. Hinsichtlich der Präferenzen für den Einsatz von Robotern in der Bildung schienen die Befragten zurückhaltend zu sein. Ein Problem mit den Erkenntnissen aus der Eurobarometer-Studie betrifft jedoch die Tatsache, dass die Befragten nicht nach bestimmten Roboter-Prototypen, wie z.B. Bildungsrobotern, gefragt wurden, sondern vielmehr über ihre Einstellung zu Robotern im Allgemeinen berichten sollten.

Um dieses Problem zu überwinden, haben Forschende auch die verfügbaren Forschungsinstrumente angepasst, um die Einstellungen gegenüber bestimmten Typen von Robotern zu untersuchen (Reich und Eyssel, 2013; Reich-Stiebert und Eyssel, 2015, 2016). Somit können wir durch eine spezifischere Frageweise genauer verstehen, wie Menschen über bestimmte Robotertypen denken und fühlen.

Reich und Eyssel (2013) untersuchten beispielsweise die Einstellung von deutschen Befragten zu Servicerobotern in der häuslichen Umgebung. Dabei zeigte sich, dass die Deutschen über eine mäßig positive Einstellung und ein mäßiges Maß an Angst vor Robotern berichteten, während sie weniger geneigt waren, solche Systeme potenziell in ihrer häuslichen Umgebung einzusetzen. Persönlichkeitsmerkmale, die bei der Zuschreibung von menschenähnlichen Eigenschaften zu nicht-menschlichen Objekten eine Rolle spielen, wie z.B. das Kognitionsbedürfnis (d.h. die Veranlagung eines Individuums, sich gerne mit kognitiven Aktivitäten zu beschäftigen) oder seine Veranlagung zur Einsamkeit, sagen positive Einstellungen gegenüber Servicerobotern voraus, die über demografische Variablen wie Geschlecht oder Beruf hinausgehen. Reich und Eyssel (2013) fanden darüber hinaus, dass Männer und Berufstätige, die in nicht-sozialen Bereichen beschäftigt sind, eine positivere Einstellung gegenüber Robotern im Dienstleistungsbereich aufweisen. Sie werden sich nun vielleicht fragen, wie die tatsächlichen Einstellun-

gen gegenüber Bildungsrobotern ausgeprägt sind. Wir werden hierzu einige empirische Antworten geben, die sich auf verschiedene Ergebnisse internationaler Forschungsgruppen aus den USA, Asien und Europa stützen.

■ 9.3 Einstellung zu Bildungsrobotern

Trotz umfangreicher Forschungsarbeiten zu Bildungsrobotern und ihrem Einsatz (z. B. Benitti, 2012; Toh et al., 2016; Spolaôr und Benitti, 2017; Mubin et al., 2013b; Belpaeme et al., 2018a) haben wenige Forschende tatsächlich die Einstellungen potenzieller Nutzer in groß angelegten Umfragen untersucht. Die Bemühungen beschränkten sich auf Interviews mit ausgewählten Nutzergruppen im Rahmen von Fokusgruppen. Die Einstellungen gegenüber Robotern in Bildungseinrichtungen wurden vielfach im Rahmen von qualitativen Untersuchungen erforscht (Choi et al., 2008; Han et al., 2009; Serholt et al., 2014; Choi et al., 2008; Shin und Kim, 2007; Lee et al., 2008; Liu, 2010).

Zur Veranschaulichung: In einer in Korea durchgeföhrten Studie haben Shin und Kim (2007) die Einstellung von Grundschulkindern und älteren Schülern zu Robotern untersucht und festgestellt, dass diese Befragten es für wichtig hielten, Roboter einsetzen zu können, da sie Roboter als einen zukünftig wichtigen Teil zukünftiger Lehr- und Lern-Szenarien bewerteten. Die Versuchspersonen in dieser Studie bewerteten die Kompetenzdimension von Robotern positiv. Roboter seien in der Lage, Fehler zu vermeiden und möglicherweise intelligenter zu agieren als menschliche Lehrkräfte. Gleichzeitig äußerten sie sich besorgt über die Tatsache, dass Bildungsroboter nicht in der Lage seien, Emotionen zu erleben und auszudrücken, was sich auf die sozialen Beziehungen im Bildungskontext auswirken würde. Die Einstellung zum Lernen mit Bildungsrobotern war insofern negativ, als dass die Schulkinder während ihres Lernprozesses nicht von Robotern im Klassenzimmer beobachtet werden wollten¹.

Weitere Daten von Lee et al. (2008) wurden bei koreanischen Lehrkräften, Schülern und Eltern erhoben. Die Ergebnisse zeigten eine positive Einstellung gegenüber dem Einsatz von Robotern in Schulen, jedoch eine negative Einstellung gegenüber der Idee, Roboter als Lehrkräfte einzusetzen. Vor allem Lehrpersonen befürchteten, ersetzt zu werden, sodass sie den Einsatz von Robotern in Bildungseinrichtungen weniger befürworteten. Choi et al. (2008) verglichen koreanische Daten mit Daten spanischer Eltern und berichteten, dass spanische Eltern dem Einsatz von Bildungsrobotern viel skeptischer gegenüberstanden und sie als „Ma-

¹ Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen der Auswertung der Schülerantworten im Rahmen des Projekts <https://www.project-heart.de/research-eng/applications/> überein.

schinen“ betrachteten. Koreanische Eltern hingegen schätzten die Idee von Robotern als Begleiter. Han et al. (2009) zeigten analoge Befunde bezüglich des Kaufs und der Nutzung von Roboter-Tutoren und verglichen die Einstellungen der spanischen, koreanischen und japanischen Befragten. Koreanische Eltern waren dem Einsatz von Tutor-Robotern gegenüber am aufgeschlossensten.

Serholt et al. (2014) befragten eine kleine Gruppe von europäischen Lehrpersonen zu ihrer Einstellung zum Einsatz von Bildungsrobotern und ihren diesbezüglichen Bedenken. Alle Befragten erkannten den Mehrwert von Tutor-Robotern an, die ihre Arbeitsbelastung im Zusammenhang mit der Beurteilung und Dokumentation von Lernprozessen von Schülern und Studierenden, insbesondere in Gruppenlernkontexten, potenziell verringern können. Gleichzeitig wurden Tutor-Roboter im Kontext größerer Gruppen von Studierenden, die individuelle Lernunterstützung benötigen würden, als weniger nützlich erachtet. Darüber hinaus berichteten Lehrkräfte über Bedenken hinsichtlich des zusätzlichen Arbeitsaufwands, der mit dem Einsatz von Robotern im Klassenzimmer verbunden wäre, über technische Probleme mit den Robotern während des Einsatzes und über ihr Störpotenzial während konkreter Lehr- und Lernsituationen (wie z. B. ihre Unfähigkeit, für Ruhe zu sorgen). Andere wichtige Übersichten im Bereich der Wahrnehmung von Bildungsrobotern haben den Aspekt der Sicherheit und Privatsphäre (Sharkey, 2016) in Umgebungen diskutiert, in denen Roboter und Schüler im Klassenzimmer interagieren.

Weitere Forschungsarbeiten, die sich auf die umfragebasierte Wahrnehmung von Bildungsrobotern konzentrieren, haben ebenfalls interessante Ergebnisse in verschiedenen Regionen der Welt ergeben. Lin et al. (2009) führten Interviews mit taiwanesischen Fünftklässlern durch, um herauszufinden, was sie über Roboter im Allgemeinen und über Roboter im Klassenzimmer denken, sowie über die Designpräferenzen der Kinder für Roboter. Die Ergebnisse dieser qualitativen Untersuchung ergaben, dass die Einstellung zu Robotern im Allgemeinen positiv war, einschließlich der Neigung, mit Robotern im schulischen Umfeld zu arbeiten. Einige Kinder äußerten sich jedoch besorgt darüber, dass sie von Robotern in ihrem Klassenzimmer möglicherweise abgelenkt werden könnten, und befürworteten daher eher traditionelle frontale Unterrichtsmethoden mit einer menschlichen Lehrperson. Liu (2010) untersuchte in einer qualitativen Interviewstudie ebenfalls Jugendliche in Taiwan, wobei man sich insbesondere auf solche Jugendlichen konzentrierte, die mit Robotik vertraut waren und bereits Erfahrung mit Robotern hatten. Diese Untergruppe nahm Bildungsroboter in Bezug auf Unterhaltung positiv wahr und erkannte klar den Mehrwert von Wissen über Robotik für den Fortschritt der Gesellschaft und das Potenzial für zukünftige Beschäftigung an.

Im deutschen Kontext haben Reich-Stiebert und Eyssel (2015) die Einstellung von Universitätsstudierenden zu Bildungsrobotern untersucht, wobei sie insbesondere Prädiktoren für positive Einstellungen und die Bereitschaft, Roboter zu benutzen, berücksichtigten. Dabei zeigte sich, dass die Einstellungen gegenüber Robotern

mäßig positiv und die Absichten, Bildungsroboter in Lernsettings einzusetzen, gering waren. Roboter wurden in Lernsituationen vor allem im Sinne der Assistenz der Lehrkraft oder als Tutoren akzeptiert, vor allem in individuellen Lernkontexten. Sie wurden als weniger geeignet empfunden, eine ganze Klasse zu betreuen, oder als Ersatz einer Lehrkraft eingesetzt zu werden. Universitätsstudierende neigten dazu, Roboter vor allem in den Naturwissenschaften und der Technik einzusetzen, weniger in den Geisteswissenschaften. Ihre Einstellungen und Verhaltensabsichten beim Einsatz von Bildungsrobotern wurden durch ihr Geschlecht und Alter sowie durch interindividuelle Unterschiede in Technikaffinität vorhergesagt. Das heißt, Frauen berichteten negativere Einstellungen gegenüber Robotern ebenso ältere Studierende und Individuen, die wenig Freude an Denkaufgaben oder eine niedrig ausgeprägte Technikaffinität aufwiesen.

In weiteren Untersuchungen zur Einstellung von Lehrkräften zu Bildungsrobotern in Deutschland (Reich-Stiebert und Eyssel, 2016) ergab sich ein ähnliches Bild, wobei die Technikaffinität ein wichtiger Prädiktor für positive Einstellungen und Absichten zum Einsatz von Robotern im Unterricht war. Hinsichtlich des Schultyps waren Grundschullehrkräfte im Vergleich zu Gymnasial- und Gesamtschullehrkräften besonders zurückhaltend gegenüber dem Einsatz von Robotern in ihrer beruflichen Routine. Offensichtlich zeigen die verfügbaren empirischen Belege ein gemischtes Bild hinsichtlich der Einstellungen und Einsatzneigungen sowohl der Lernenden als auch der Lehrenden. Der generelle Wert fortschrittlicher Lehrtechnologien wird deutlich gewürdigt, jedoch stellen Bedenken über den adäquaten Umgang mit diesen Technologien eine Bedrohung für die Selbstwirksamkeit der Nutzenden dar. Ebenso wichtig sind die sozialen Implikationen der Einführung von Robotern in Lehr- und Lernsettings. Die Einstellungen müssten so verändert werden, dass Roboter nicht als störend für das Lernen und nicht als Bedrohung für die menschlichen Beziehungen in den Klassenzimmern der Zukunft angesehen werden.

Ein Überblick über die vorgestellten Forschungsarbeiten zeigt, dass sich Lehrende und Lernende im hinsichtlich ihrer Einstellungen gegenüber Robotern unterscheiden (Ahmad et al., 2016). Die Hauptbedenken von Lehrkräften beziehen sich auf den Arbeitsplatzverlust (Reich-Stiebert und Eyssel, 2016). Es besteht die Befürchtung, dass die Möglichkeit des Einsatzes von Robotern im Bildungskontext die verfügbaren Stellen für Lehrkräfte verringern könnten, wodurch die Nachfrage an menschlichen Lehrkräften abnehmen könnten. Diese Befürchtung erscheint jedoch nicht haltbar, da die heutigen Roboter im Hinblick auf den Stand der technischen Entwicklung eindeutig nicht in der Lage sind, Lehrkräfte zu ersetzen, und Forschende im Bereich der Bildungsrobotik nicht die Absicht haben, Lehrkräfte durch Roboter zu ersetzen. Darüber hinaus basieren die oben erwähnten Szenarien und Studien und die Annahmen der untersuchten Personen auf traditionellen Lehr- und Lernszenarien; dies führt zu einer möglichen Abneigung gegenüber

dem Einsatz von Robotern im Klassenzimmer. Bei der digitalen Lehr- und Lernmethode, bei der die Vermittlung von Inhalten digital erfolgt und die Vertiefungsphasen in der Klasse kompetenzorientiert, in hohem Maße interaktiv und kollaborativ sind, sprechen wir nicht mehr von der klassischen Lehrerrolle, sondern von der eines Lernbegleiters. In solchen Umgebungen erzeugen Roboter, die als Assistenten der Lehrperson, als Tutoren oder als Werkzeuge fungieren, einen enormen Nutzen, indem sie technisch orientierte und inhaltsbezogene Aufgaben übernehmen, wie in den Kapiteln 1 und 8 beschrieben.

Weitere kritische Fragen, die aufgeworfen werden, haben nichts mit der Effektivität der Bildungsmethoden oder der Lernleistung der Lernenden zu tun, sondern sie beziehen sich auf die ethischen Dilemmata, denen sich die Gesellschaft nach der Einführung von Robotern in den Klassenzimmern stellen müsste. Diese Dilemmata haben damit zu tun, dass Roboter aktuell nicht in der Lage sind, sich in einem komplexen sozialen Umfeld und auch den damit verbundenen moralischen Implikationen zurechtzufinden. Das betrifft z.B. die Rechte der oft noch minderjährigen Lernenden, wie etwa deren Recht auf Privatsphäre. Diese Fragen werden im folgenden Kapitel eingehend behandelt.



Diskussionsfragen

- Was sind einige Probleme im Zusammenhang mit der Messung von Einstellungen gegenüber Robotern?
- Diskutieren Sie wichtige demografische Faktoren, die roboterbezogene Einstellungen beeinflussen (z. B. Alter, Geschlecht, Beruf). Wie beeinflussen diese die Einstellungen der Benutzer?
- Stellen Sie sich das folgende Szenario vor: Ein Schulkind und ein Roboter interagieren im Klassenzimmer. Das Schulkind hat eine negative Einstellung gegenüber dem Roboter. Welche Strategien könnte der Roboter anwenden, um dies zu ändern?



Weiterführende Literatur

- Maartje MA De Graaf und Somaya Ben Allouch. Exploring influencing variables for the acceptance of social robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(12):1476 – 1486, 2013. doi: 10.1016/j.robot.2013.07.007.

10 Ethik

„Morality is simply the attitude we adopt towards people we personally dislike.“

- Oscar Wilde, An Ideal Husband



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- Kann mir ein Roboter „richtig“ oder „falsch“ beibringen?
- Ein Überblick über ethische Bedenken in der Robotik.
- Zukunftsszenarien und damit verbundene Herausforderungen.

Die Diskussion über Ethik in der Bildung und die Rolle, die Roboter dabei spielen könnten, muss zwischen zwei Themen unterscheiden: Auf der einen Seite spielt die formale Bildung eine entscheidende Rolle für die moralische Entwicklung der Lernenden. Wenn Roboter eingeführt werden, um einige der Rollen einer Lehrkraft zu übernehmen, werden sie unweigerlich auch die Bildung von Werten und Normen bei den Lernenden beeinflussen. Doch können Roboter gute Vorbilder sein und effektiv zur moralischen Reifung von Schulkindern beitragen? Andererseits stellt sich die offensichtliche Frage, ob Roboter jemals so programmiert werden könnten, dass sie sich ethisch korrekt verhalten und im Klassenzimmer angemessene ethische Entscheidungen treffen und dabei die vielen deontischen Normen und Prinzipien einhalten, die von professionellen pädagogischen Fachkräften erwartet werden. Bedenken Sie zum Beispiel, dass von Lehrkräften oft die Einhaltung von Disziplin erwartet wird, während sie im Umgang mit den Lernenden Respekt, Vertraulichkeit und professionelle Distanz wahren müssen. Können Roboter mit den notwendigen ethischen Entscheidungsfähigkeiten ausgestattet werden? Dies ist zu einem großen Teil die dringendere Frage, da die Gefahr besteht, dass sich Roboter sozial unangemessen oder sogar unethisch verhalten könnten, wenn sie nicht entsprechend programmiert sind, um mit moralisch herausfordernden Situationen umzugehen. Betrachten wir dennoch zunächst die erstgenannte Frage, d.h. die Frage, wie Lehrkräfte bei der Entwicklung moralischer Prinzipien und Werte bei jungen Lernenden mitwirken.¹

¹ Heute sollte der Begriff „Lehrkräfte“ durch „Pädagogische Fachkräfte“ ersetzt werden, um eine Unterscheidung zwischen der Rolle als Lehrkraft in traditionellen Lehr- und Lern-Settings und einem Lernbegleiter in digitalen Lehr- und Lern-Settings zu ermöglichen.

Es ist bekannt, dass die Rolle, die Lehrkräfte im Klassenzimmer spielen, in mehr als einer Hinsicht entscheidend ist. Sie unterstützen nicht nur den Prozess, durch den die Lernenden kognitive Fähigkeiten entwickeln und Wissen erwerben, sondern sie prägen auch ihre moralische und psychologische Entwicklung. Entscheidend ist, dass sie als Mitglieder von Bildungseinrichtungen den Prozess des persönlichen und intellektuellen Wachstums vermitteln, durch den ein Schulkind zu einem reifen Individuum, einem verantwortungsbewussten Berufstätigen, einem guten Mitmenschen und einem angesehenen Mitglied der Gesellschaft wird (Carr, 2005). Deshalb müssen sich Lehrkräfte an strenge Verhaltenskodizes halten, die zum Beispiel verlangen, dass sie die Privatsphäre ihrer Schüler und ihr Recht auf freie Meinungsäußerung schützen (Campbell, 2000). Unabhängig von den zu unterrichtenden Fächern geben Lehrkräfte und Tutoren den Lernenden einen normativen Rahmen vor, der sie auf zu erfüllende Ziele und zu vermeidende Fehler hinweist. Der normative Einfluss dieses Rahmens reicht über den Klassenraum hinaus und stellt für die Lernenden eine Richtschnur für ihr ganzes Leben dar. Lehrkräfte mit hohen moralischen Standards beeinflussen den individuellen Lernfortschritt positiv, weil ihr Vorbild die Lernenden motiviert, Werte besser zu schätzen, richtig von falsch zu unterscheiden und die notwendigen Anstrengungen zu unternehmen, um Spitzenleistungen zu erzielen. Lehrpersonen dienen in diesem transformativen Prozess als Wegweiser und Vorbilder (Lumpkin, 2008). Als solche haben sie unweigerlich einen beträchtlichen Einfluss auf die charakterliche Entwicklung der Lernenden und tragen vor allem zur Prägung ihrer Weltanschauung und ihrer moralischen Werte bei, auch wenn dieser Einfluss nicht explizit ist oder von den Lernenden nicht erkannt wird.

Für die Definition der ethischen Richtlinien, die den Einsatz von Robotern in einem Klassenzimmer regeln (z.B. indem das Verhalten eines Roboters dazu dient, die Aktivitäten einer Lehrkraft zu unterstützen oder gar zu verbessern) ist es wichtig zu verstehen, welche ethischen und beruflichen Anforderungen an Lehrkräfte gestellt werden. Dementsprechend erfordert die Einführung eines Roboters im Klassenzimmer eine sorgfältige Umsetzung solcher ethischen Richtlinien. Um zu erörtern, wie die Begriffe „richtig“ und „falsch“ im Kontext der Bildungsrobotik anzuwenden sind, müssen wir zunächst kurz zusammenfassen, wie die normative Ethik diese Begriffe im Allgemeinen definiert und wie diese moralischen Begriffe dann im Bildungsbereich anzuwenden sind.

■ 10.1 Was ist Ethik?

Ethik ist derjenige Zweig der Philosophie, der sich mit den Prinzipien und Kriterien befasst, die notwendig sind, um „richtig“ von „falsch“ zu unterscheiden. Ihre jahrtausendealte Geschichte ist reich und umfasst verschiedene Traditionen, die auf unterschiedlichen Anschauungen über die grundlegende Natur von Gut und Böse basieren. Wir unterscheiden grob zwischen drei Hauptansätzen der normativen Ethik: Konsequentialismus, Deontologie und Tugendethik (Graham, 2004).

Konsequentialismus und Deontologie stellen die Standardpositionen in den meisten Debatten der angewandten Ethik dar. Beide Theorien zielen darauf ab, präskriptive Regeln und normative Prinzipien zur Verfügung zu stellen, um moralisch richtige Handlungen oder Entscheidungen von moralisch falschen zu unterscheiden. Nach der Stanford Encyclopedia of Philosophy definiert der Konsequentialismus eine gute Handlung (oder Entscheidung) als solche, die – im Vergleich zu allen anderen verfügbaren Optionen – den größten Nutzen für die größte Anzahl von Menschen bringt. Derselben Quelle zufolge definiert die Deontologie eine Handlung oder Entscheidung als gut, wenn sie die Pflichten und Aufgaben des moralisch Handelnden am besten erfüllt und gleichzeitig die Rechte der von der Handlung Betroffenen schützt, indem sie beispielsweise den absoluten, nicht verhandelbaren Wert ihrer persönlichen Freiheit anerkennt. Konsequentialismus bewertet den moralischen Wert einer Handlung auf der Grundlage des Nutzens, der durch die Auswirkungen der Handlung folgt. Anders ausgedrückt zielt er darauf ab, zu beurteilen inwiefern die Handlung für die Menschen vorteilhaft war. Die Deontologie wiederum konzentriert sich auf die Absichten, die die Handlung motiviert haben. Sie versucht zu beurteilen, ob der Handelnde aus dem tatsächlichen guten Willen heraus gehandelt hat, seine Verpflichtungen zu erfüllen und die Rechte der anderen zu respektieren.

Stellen Sie sich vor eine Gruppe von Menschen wird als Geiseln gehalten; der Geiselnehmer hat gedroht, sie zu töten. Sie sind ein Scharfschütze und können den Geiselnehmer erschießen. Laut Konsequentialismus sollten Sie schießen, da dies die Geiseln vor Schaden bewahrt. Der Deontologie zufolge sollten Sie nicht schießen. Töten ist falsch, ungeachtet der Konsequenzen.

Konsequentialismus und Deontologie wirken sich zweifellos auf die Bildung aus. Für erstere schaffen Bildungseinrichtungen einen öffentlichen Nutzen, wenn sie der größtmöglichen Zahl von Menschen die beste Bildung bieten; für letztere ist Bildung ein Grundrecht des Einzelnen und die Schule hat die Pflicht, Ungleichheiten beim Zugang zu Wissen zu verringern. Sie haben auch unterschiedliche Empfehlungen an die Pädagogik und die ethische Rolle der Lehrpersonen. Konsequentialistisches Denken würde betonen, dass Lehrkräfte in einer Weise handeln sollten, die für die Lernenden und die Gesellschaft im Allgemeinen von Vorteil ist.

Zum Beispiel durch die Annahme von Lehrmethoden, die zu besseren Lernergebnissen, höheren Bildungsleistungen und stabileren und vielfältigeren akademischen Fähigkeiten führen. Andererseits legt der von der Deontologie inspirierte Bildungsansatz den Schwerpunkt auf die Achtung der Menschenrechte und -ansprüche, einschließlich der Freiheit und Identität, sowie auf die Einhaltung von Pflichten und moralischen Ansprüchen. So sollten Lehrkräfte beispielsweise die Privatsphäre der Lernenden schützen, ihre Freiheit respektieren, eine kritische Meinung zu äußern und eigene unabhängige Standpunkte zu entwickeln, aber auch Ehrlichkeit, Integrität und Engagement von ihnen einfordern (Chapfika, 2008).

Beide Ansätze bieten zwar wichtige Erkenntnisse über die Ethik des Lehrens, aber sie könnten unzureichend sein, um die Aspekte Wert und Gedeihen im Kontext von Bildung zu definieren. Dies liegt an der komplexen, transformativen Beziehung zwischen Lernenden, Lehrenden und den Institutionen. Bei der Tugendethik geht es um den Wert eines Lebensstils und des persönlichen Gedeihens und weniger um einzelne Handlungen oder Entscheidungen. Sie eignet sich daher besser als die beiden anderen Theorien, nützliche Empfehlungen für die Akteure im Bildungsbereich zu geben (Arthur et al., 2016).

Tugendethik ist nicht nur eine präskriptive Theorie, sondern auch eine Philosophie der Selbstverwirklichung und des persönlichen Erfolgs. Sie behauptet, dass der individuelle Weg zur Selbstverbesserung und kontinuierlichen Bildung, wenn er mit Hingabe verfolgt wird, der zuverlässigste Weg zum authentischen Glück ist. Anstatt sich darauf zu konzentrieren, welche Handlungen richtig oder falsch sind, stützt sich die Tugendethik auf „Tugenden“ und „Laster“, d. h. auf Charakterzüge, die einen Menschen entweder bewundernswert oder verachtenswert machen. Tugenden und Laster sind implizite Veranlagungen, die bestimmte Verhaltensweisen, Gedanken oder Gefühle hervorbringen (Carr und Steutel, 2005).

Tugendethik betont, dass gutes Verhalten spontan entsteht, wenn man seiner „guten Natur“ folgt, d. h. den positiven Dispositionen, die in den moralischen Charakter eingebettet sind. Guter Charakter ist nicht notwendigerweise angeboren und schon gar nicht instinkтив, aber er kann als „zweite Natur“ erworben werden, indem man Tugenden kultiviert, indem man tugendhafte Verhaltensweisen und Einstellungen bei sich selbst und anderen fördert und indem man die Arten von Aktivitäten und Denkmustern in den Vordergrund stellt, die zur Verwirklichung eines lobenswerten Lebensstils beitragen. Nach der Tugendethik besteht der Zweck der Erziehung daher in erster Linie darin, die Lernenden zu einem guten Lebensstil zu führen und nicht darin, ihnen beizubringen, blind vorgegebenen Normen oder Regeln zu folgen. Daher betont die Tugendethik besonders die Rolle des lebenslangen Lernens für die Charakterentwicklung und den moralischen Wert von exemplarischen Handlungen und Vorbildern. Im pädagogischen Kontext sind die Tugenden, die eine Lehrperson bei den Lernenden fördern könnte, zum

Beispiel Neugier, Hingabe, Respekt, Bürgersinn, Mitgefühl, Disziplin und Integrität. Klassischerweise werden Mäßigung und Selbstregulation als zentral für die Erziehung junger Menschen angesehen, da sie die Entwicklung der anderen Tugenden vermitteln.

■ 10.2 Ethik für Roboter

Während Menschen gelernt haben und gewohnt sind, ethische Entscheidungen mit wenig kognitivem Aufwand zu treffen, müssten Roboter sorgfältig programmiert werden, um dies ebenso zu vollbringen. An und für sich stellt dies, wie in Kapitel 1 erörtert, eine Herausforderung dar. Roboter verfügen über keinerlei ethische Intuition oder Gefühl und es mangelt ihnen an gesundem Menschenverstand, der notwendig ist, um einen komplexen moralischen Kontext zu interpretieren und alle Implikationen ihrer Handlungen zu erkennen. Jede Entscheidung und Handlung muss vom Roboter berechnet werden und erfordert daher, dass Entwickelnde die Bedeutung von „gut“ und „schlecht“ formal explizit machen.

Konsequentialismus und Deontologie erfordern beide, dass ein guter Roboter Schlussfolgerungsprozesse ausführen kann, die für eine korrekte ethische Entscheidung relevant sind. Dem Konsequentialismus zufolge sollte sich eine korrekte ethische Entscheidung am Verständnis des Roboters für die Handlungen orientieren, die die menschlichen Interaktionspartner als nützlich und vorteilhaft erachten können. Der Deontologie zufolge sollte sich die ethische Entscheidungsfindung vom Verständnis des Roboters dafür leiten lassen, was Menschen als respektlos oder unsicher für ihr Leben, ihre Freiheit und ihre Würde erachten. Tatsächlich stehen beide Ansätze ethischen Roboterdesigns vor strukturellen Herausforderungen, die zum einen auf die Top-Down-Natur und Abstraktheit ihrer Leitprinzipien und zum anderen auf die technologischen Einschränkungen zurückzuführen sind, die Roboter daran hindern, diese Prinzipien in realen Lebenssituationen umzusetzen. Selbst wenn sie mit sehr genauen Instruktionen und reichhaltigen Heuristiken ausgestattet sind, sind die derzeitigen Roboterplattformen nicht in der Lage, den Kontext oder die Konsequenzen ihrer Handlungen zu verstehen, was es ihnen unmöglich macht, Entscheidungen und Verhaltensweisen zu generieren, die den einschlägigen Normen des Konsequentialismus oder der Deontologie entsprechen. Für einen Roboter ist es äußerst schwierig zu berechnen, welche Auswirkungen seine Handlungen auf die Welt haben werden und wie wünschenswert die Folgen für alle betroffenen Menschen wären.

Angesichts dieser Unzulänglichkeiten schlagen wir vor, die ethische Rolle von sozialen Robotern auf eine ganz andere Art und Weise zu verstehen, nämlich in einer

Weise, die sich an der Tugendethik orientiert. Dieser Ansatz, der als „Tugendhafte Robotik“ bezeichnet wird, wird systematisch in der wissenschaftlichen Arbeit „*Can robots make us better humans? Virtuous Robotics and the good life with artificial agents*“ (Cappuccio et al., 2020) und in der Sonderausgabe des *International Journal of Social Robotics*, in der diese veröffentlicht wurde, systematisch untersucht. Nach diesem Ansatz ist die ethische Gestaltung von sozialen Robotern auf der Grundlage einer Tugendethik aus einem wesentlichen Grund vielversprechender: Einen Roboter so zu programmieren, dass er dem Menschen bei der Entwicklung seines eigenen Charakters hilft, ist einfacher, als einen Roboter so zu programmieren, dass er Entscheidungen über den Nutzen oder die persönlichen Rechte trifft.

Virtuelle Robotik beruht eher auf dem Wunsch des Nutzenden nach Selbstverbeserung als auf der Fähigkeit der Roboter, angemessene Entscheidungen zu treffen. Roboter können einem Menschen helfen, seine Tugenden zu entwickeln oder zu festigen, indem sie ihm helfen, seine eigenen Unzulänglichkeiten und Fehler zu erkennen und aktiv an ihnen zu arbeiten (Cappuccio et al., 2020). Dies ist rechnerisch nicht anspruchsvoll und erfordert keine unrealistischen Mengen an strukturierten Informationen, da die kognitive Belastung vollständig beim Menschen liegt. Der Roboter ist lediglich ein Vermittler und ein Förderer der Selbstfindung und Selbstregulation. Roboter-Lehrassistenten, die nach dem Paradigma der „Tugendhaften Robotik“ entwickelt wurden, könnten eingesetzt werden, um gute Gewohnheiten zu kultivieren, Lernenden zu helfen, mit negativen Emotionen wie Ärger und Neid umzugehen, bei einer Prüfung nicht zu schummeln (Mubin et al., 2020) und positives Verhalten gegenüber anderen, wie Respekt, Fürsorge und Freundlichkeit, einzuführen (Vallor, 2016). Roboter können Menschen darauf hinweisen, wenn sie schlechten Gewohnheiten wie Rauchen, exzessivem Alkoholkonsum oder missbräuchlichem Verhalten nachgeben. Roboter können ihnen bewusstmachen, dass ihre Manieren und ihre Sprache vulgär oder beleidigend sind, oder sie vor den Auswirkungen ihres Verhaltens warnen, z.B. wie ihr antisoziales Verhalten ihre Mitmenschen abschrecken könnte.

Rollen von Robotern bei der Kultivierung von Tugenden

Ein Roboter kann verschiedene Rollen einnehmen, um verantwortungsbewusste Reaktionen beim Menschen hervorzurufen und ihn auf den Pfad der Tugendkultivierung und Charakterbildung zu führen. Im Folgenden listen wir einige Beispiele auf:

Vertrauensperson: Der Roboter lädt den menschlichen Benutzer ein, seine Alltagserfahrungen zu erzählen, was die Selbstreflexion fördert. Mithilfe von Gefühlsanalyse-Techniken kann der Roboter die relevantesten Fragen auswählen, um dem Benutzer zu helfen, Trends und Muster auf seinem eigenen Weg zur moralischen Entwicklung zu erkennen. Der Roboter könnte Korrekturen vorschlagen oder Ermutigungen aussprechen.

Assistent und Motivator: Nach einem personalisierten, vordefinierten Zeitplan erinnert der Roboter den Benutzer an tägliche Routinen. Der Roboter überwacht die Ausführung der erforderlichen Aktivitäten, die physischer, intellektueller oder sozialer Natur sein können. Der Roboter bewertet die Leistung des Benutzers auf der Grundlage von Echtzeit-Feedback und passt die Interventionen entsprechend den aktuellen Bedürfnissen des Benutzers an.

Umgekehrtes Rollenmodell: Roboter können Lernende anregen, sich zu weiterzuentwickeln, indem sie sie einladen, die Rolle von Lehrenden und Tutoren zu übernehmen. In diesem Fall würde sich der Roboter „dumm stellen“ und den Menschen dazu bewegen, ihm Sachverhalte zu erklären oder ihn anzuleiten. Dies regt zum Nachdenken über die Werte an, die notwendig sind, um sich korrekt zu verhalten und dürfte Lernenden helfen, Verantwortungsbewusstsein zu entwickeln.

Zusammengenommen verdeutlichen diese Beispiele das Potenzial von Robotern als Kultivatoren von tugendhaftem Verhalten, indem sie Einfluss auf die moralische Entwicklung ihrer menschlichen Interaktionspartner ausüben.

■ 10.3 Ethische Bedenken im Klassenzimmer

Die zuvor diskutierten ethischen Fragen setzen grundlegende Grenzen an unsere Erwartungen an Roboter. Es gibt jedoch noch weitere, eher spekulative ethische Fragen, die sich ergeben könnten, wenn Roboter im Klassenzimmer eingesetzt werden. Sharkey und Sharkey (2010) argumentierten, dass, obwohl es derzeit keine Pläne für einen dauerhaften Ersatz von menschlichen Lehrpersonen durch Roboter gibt, dies „durchaus absehbar“ sei. Die wichtigsten ethischen Bedenken, die vorgebracht wurden, sind nachstehend aufgeführt.

Datenschutz: Roboter könnten die in Artikel 16 und 40 der UN-Kinderrechtskonvention gewährten Rechte auf Privatsphäre verletzen. Die Unterscheidung zwischen privaten und öffentlichen Informationen erfordert ein gewisses Maß an gesundem Menschenverstand und Verständnis für gesellschaftliche Normen, was Robotern jedoch standardmäßig fehlt.

Festhalten: Es könnte erforderlich sein, dass ein Roboter ein Kind festhalten muss, um es vor Selbst- und Fremdschaden zu bewahren. Das Festhalten eines Menschen erfordert ein beträchtliches Maß an ethischem Denkvermögen und motorischer Kontrolle. Roboter könnten beides nicht haben. Erschwerend kommt hinzu – das sagen wir voraus –, dass ein Roboter Mühe haben wird, zwischen rauem Spiel und Mobbing zu unterscheiden. Daher wäre der Roboter nicht einmal in der Lage, eine menschliche Lehrperson zu alarmieren und um Hilfe zu bitten.

Täuschung: Ein Roboter, der Gefühle ausdrückt, ohne Emotionen zu empfinden, könnte als Täuschung angesehen werden und den Lernenden zu der Annahme verleiten, dass die Art ihrer Beziehung tatsächlich persönlich sei. Auf dieses Problem der unangemessenen Beziehung gehen wir weiter unten ausführlicher ein.

Verantwortlichkeit: Aufsichtspersonen haben eine rechtliche Verantwortung für die ihnen anvertrauten Kinder. Wenn ein Roboter mit einer Gruppe von Schulkindern allein gelassen wird, dann ist unklar, wer für sie verantwortlich ist. Ist es der Hersteller des Roboters, die Organisation, der der Roboter gehört, oder der Roboter selbst? Wir gehen zurzeit davon aus, dass der Roboter nur als Assistent einer Lehrkraft eingesetzt wird und die Verantwortung daher bei den menschlichen Lehrpersonen bleibt.

Psychologischer Schaden: Die Verwendung eines Roboters zur Unterstützung von Kindern mit besonderen Bedürfnissen könnte sich als schädlich erweisen, da der Roboter nicht in der Lage wäre, eine angemessene Betreuung zu gewährleisten. Sharkey und Sharkey (2010) räumten ein, dass, wenn überhaupt, nur sehr wenige empirische Studien vorliegen, die diese wichtigen Fragen beleuchten, da die Forschung in diesem Bereich mit einer Vielzahl von forschungsethischen Herausforderungen verbunden ist.

Ergänzend zu den von Sharkey und Sharkey (2010) aufgeworfenen Fragen erfordern die folgenden Aspekte sorgfältige ethische Überlegungen.

Autorität

Wenn man Robotern Autorität und Macht zugesteht, würde dies vielen Nutzenden Unbehagen bereiten (Zlotowski et al., 2017). Gleichzeitig kann es Robotern aufgrund ihrer begrenzten Fähigkeiten an inhärenter Autorität mangeln, die notwendig ist, um Menschen zu disziplinieren (Brščí et al., 2015). Infolgedessen scheint ein Roboter besser geeignet zu sein, die Rolle eines Assistenten, Stellvertreters oder eines Unterstützers für den Menschen zu übernehmen, der als zentrale Autoritätsperson akzeptiert und anerkannt wird.

Bindung

Kinder könnten sich an Roboter, mit denen sie interagieren, gewöhnen. So könnten sie sogar eine soziale Beziehung zu ihnen und daran verknüpfte Erwartungen entwickeln. Aufgrund der allgemeinen empathischen Einschränkungen von Robotern würde eine solche Bindung einseitig bleiben (Scheutz, 2011; Sharkey und Sharkey, 2010). Auch Huber et al. (2016) identifizierten Bindung als einen der Hauptkritikpunkte in der Mensch-Roboter-Interaktion. Eine der potenziellen Gefahren besteht darin, dass die Bindung zwischen einem Menschen und einem Roboter zu Auswirkungen führen könnte, die nicht im Interesse des Menschen liegen, sei es durch Zufall oder indem der Roboter die Bindung ausnutzt.

Identität

Ein Roboter ist möglicherweise nicht in der Lage, die soziokulturelle Besonderheit der Lernenden und ihres persönlichen Hintergrunds, wie z.B. ihre ethnische Zugehörigkeit, ihr Geschlecht, ihre Tradition oder Religion, angemessen zu erkennen und zu bewerten. Dies könnte, abgesehen davon, dass es bei den Lernenden Frustration und Enttäuschung hervorruft, zu Missverständnissen und Konflikten führen. Die Lernenden oder ihre Familien könnten Grund zu der Annahme haben, dass dieses Fehlverhalten beleidigend oder respektlos war.

Desozialisierung

Selbst wenn Roboter in der Lage wären, die intellektuellen Aktivitäten und die Lernprozesse der Lernenden im Klassenzimmer perfekt zu koordinieren, könnten sie möglicherweise nicht in der Lage sein, soziale Aktivitäten zu koordinieren. Die Anwesenheit von Robotern könnte die sozialen Fähigkeiten von Lernenden beeinträchtigen, sie daran hindern mit anderen Kindern zusammenzuarbeiten sowie ihre normale Entwicklung von sozialen Eigenschaften wie Empathie und Mitgefühl einschränken. Ein umgekehrtes Risiko, ist ebenfalls möglich: Der Roboter könnte die Lernenden, wenn sie ihn als Spielzeug oder unterhaltsame Attraktion wahrnehmen, ablenken und Störungen verursachen (z.B. Schüler, die mit dem Roboter spielen, sich unterhalten, etc.).

Dequalifizierung

In einer Welt, in der Maschinen zunehmend Aufgaben von Menschen übernehmen, könnten Menschen wesentliche Fähigkeiten verlieren. Dies gilt auch für den Bildungskontext. Ein Roboter, der bestimmte Aufgaben übernimmt, könnte bewirken, dass Lehrpersonen zunehmend die Übung in diesen spezifischen Aufgaben verlieren. Das schlimmste Szenario wäre, dass die Rolle der Lehrkräfte sozusagen auf das Finden des Ein-/Ausschalters des Bildungsroboters reduziert würde. Da wir den Roboter als Assistenten und nicht als Ersatz für die Lehrperson betrachten, können wir jedoch davon ausgehen, dass ein solches Szenario wohl kaum Realität werden dürfte. Aber nicht nur Lehrpersonen könnten Fähigkeiten verlieren, sondern auch die Lernenden könnten an Kompetenzen einbüßen. Die Möglichkeit, dem Roboter eine beliebige Frage zu stellen und, zumindest für einfache Sachinformationen, eine direkte Antwort zu erhalten, hemmt zentrale Forschungsfähigkeiten. Die Lernenden könnten die von dem Roboter bereitgestellten Informationen stets als richtig erachten und verschiedene Quellen und ihre jeweilige Richtigkeit nicht hinterfragen. Dieses potenzielle Risiko betrifft jedoch alle digitalen Technologien und ist nicht spezifisch für interaktive Roboter.

Mangel an affektiver Intelligenz

Roboter sind nicht in der Lage, tatsächliche Emotionen zu empfinden. Dies hat Auswirkungen auf die Kommunikation und die soziale Bindung im Allgemeinen. Zur Veranschaulichung: Lernende können nicht effektiv koordiniert oder angeleitet werden, wenn die mentalen Zustände des Roboters undurchsichtig sind. Die Vermittlung von Empathie, Mitgefühl und Respekt erfordert viel Sensibilität für emotionale Zustände und persönliche Motivationen, die den Robotern zwangsläufig fehlt.

Wenn ein Roboter gleichzeitig in der Lage ist, synthetisierte Emotionen wahrzunehmen (Zhang et al., 2013), zu verarbeiten (Paiva et al., 2014) und auszudrücken (Bartneck und Reichenbach, 2005), ist es dann überhaupt noch von Bedeutung, ob er Emotionen auf die gleiche Weise wie Menschen erlebt? Ist es notwendig, dass ein Roboter tatsächlich Emotionen erlebt, um emotional kompetent zu sein? Und daraus folgend: Wie könnte ein ethischer Roboter die Tugend des Mitgefühls lernen, wenn er keine Emotionen empfinden kann? Dieses Problem gilt nicht nur für Emotionen, sondern auch für andere Fähigkeiten des Roboters, die ein Ich-Bewusstsein mit den qualitativen Details des bewussten Erlebens voraussetzen.

Diese moralischen Bedenken bauen auf der Annahme auf, dass die Unfähigkeit des Roboters, das Gefühlsleben anderer zu erfahren, moralische Inkompetenz impliziert. Moralische Kompetenz erfordert nämlich die Fähigkeit, vorherzusagen und zu erklären, welche Emotionen oder Gefühle andere fühlende Wesen in der einen oder anderen Situation wahrscheinlich erfahren werden (einschließlich dessen, was sie als vorteilhaft, nachteilig und beleidigend empfinden). Das Erklären oder Vorhersagen der gelebten Erfahrung eines anderen wiederum kann nicht allein durch schlussfolgernde oder intellektuelle Prozesse erfolgen, weil es strikt voraussetzt, entweder ähnliche Erfahrungen in ähnlichen Situationen gemacht zu haben oder Interpretationsfähigkeiten zu besitzen, die nur durch die Teilhabe an inter-subjektiven Erfahrungen entwickelt werden können, die sich eng auf eine ähnliche Situation beziehen (Gallagher, 2012).

Um zum Beispiel vorherzusagen oder zu erklären, was andere Menschen empfinden, wenn sie in einer peinlichen Situation sind (einschließlich ihrer qualitativen und moralischen Aspekte), muss man selbst eine ähnliche Situation erlebt haben oder man muss intensiv an ähnlichen Situationen, die von anderen Personen erlebt wurden, teilgenommen haben, um sich in sie einzufühlen. Roboter sind sich der qualitativen Komponente dieses Gefühls (einschließlich der Nuancen von Scham, Erniedrigung, Entwürdigung, Demütigung usw.) oder der Situationen, in denen Menschen dieses Gefühl erleben, nicht bewusst, weil sie überhaupt keine bewusste Erfahrung haben. Roboter bleiben inkompotent in Bezug auf die moralischen Implikationen, die mit Verlegenheit, Scham, Erniedrigung usw. verbunden sind, weil sie, selbst wenn ihnen sehr reichhaltige Beschreibungen der objektiven Tatsachen, die mit einer peinlichen Situation verbunden sind, gegeben werden, die

damit verbundenen moralischen und erfahrungsgemäßen Implikationen nicht einfach rational ableiten können.

■ 10.4 Ausblick

In der Regel sehen Bildungsrobotiker Roboter nicht als Ersatz für menschliche Lehrpersonen an. Wenn dem jedoch so wäre, dann könnten viele der in diesem Kapitel erörterten Bedenken nicht direkt auf den Bildungskontext zutreffen, denn solche Bedenken sind nur dann relevant, wenn der Roboter allein und unbeaufsichtigt mit Lernenden interagieren kann. Nichtsdestotrotz stärkt die Diskussion dieser Bedenken unser präventives Bewusstsein für die potenziellen ethischen Herausforderungen, die sich aus dem massiven Einsatz von Robotern in der Gesellschaft ergeben. Sie gibt den Entwicklern darüber hinaus nützliche Hinweise für die Entwicklung besserer und technisch ausgereifterer Roboter.

In diesem Abschnitt schlagen wir eine Reihe von heuristischen Strategien vor, um die oben genannten Probleme zu bewältigen sowie mögliche Belastungen für Lernende und unerwünschte Verpflichtungen für Lehrende und ihre Institutionen zu minimieren.

1. Die Menge des Vertrauens, die einem Roboter entgegengebracht werden kann, sollte auf einer realistischen Einschätzung seiner Eigenschaften und Fähigkeiten beruhen. Die Schulleitung und die Lehrkräfte müssen sich gleichermaßen der Grenzen des Roboters in Bezug auf Aufgaben, die von einem Menschen als Routine angesehen werden, bewusst sein. Sie sollten ihre Erwartungen entsprechend dieses Bewusstsein zuschneiden. Heutzutage können Roboter Emotionen bei menschlichen Benutzern sowie bestimmte zielorientierte Verhaltenskategorien erkennen. Roboter haben jedoch nicht die Fähigkeit, einfach auf mentale Zustände, einschließlich Wünsche und Motivationen, zu schließen oder komplexe soziale Situationen zu interpretieren. Dadurch sind sie nur bedingt in der Lage, sozial und moralisch akzeptable Entscheidungen zu treffen. Es ist daher unwahrscheinlich, dass sie kompetent mit potenziell umstrittenen „Etikette“-Fragen umgehen können.
2. Jede moralisch bedeutsame Entscheidung sollte dem Lehrenden überlassen werden, da dieser der einzige moralisch Handelnde ist, der für den erzieherischen Wert des Unterrichts verantwortlich ist. Natürlich sollte die Lehrkraft sicherstellen, dass die Entscheidungen zu jeder Zeit den deontologischen Standards des Berufsstandes oder den Richtlinien der Institution entsprechen. Im Klassenzimmer eingesetzte Roboter und ihre spezifischen Fähigkeiten sollten bei solchen Entscheidungen berücksichtigt werden. Wenn der Roboter bei-

spielsweise Hilfsfunktionen wie Beaufsichtigung und Konfliktmanagement bietet, sollten diese Funktionen in jedem Szenario, in dem sie möglicherweise nützlich werden könnten, in berücksichtigt werden. Trotz solcher Funktionalitäten sollte die Lehrkraft jedoch nicht zu der Annahme verleitet werden, dass der Roboter mit einer problematischen Unterrichtssituation selbstständig umgehen könnte. Eine Lehrperson sollte daher immer zusammen mit dem Roboter im Klassenzimmer anwesend sein, insbesondere wenn moralisch sensible Fragen auftauchen könnten. Denn Roboter gelten nicht als haftbar für die negativen Folgen ihrer Handlungen – letztlich könnte der Lehrende in Haftung genommen werden.

3. Die Rolle, die ein Roboter im Klassenzimmer spielt, sollte mit der wahrgenommenen Autorität des Roboters vereinbar sein. Robotermerkmale wie Größe, (menschenähnliches) Aussehen, Tonfall oder Gesichtsausdruck gehören zu den Faktoren, die die wahrgenommene Autorität des Roboters beeinflussen. Angenommen der Roboter verfügte über genügend Autorität, um die ihm zugesetzten Aufgaben erfolgreich auszuführen, so stellt sich die Frage, welche psychosozialen, kulturellen und rechtlichen Auswirkungen die Ausübung von Autorität durch einen Roboter hat.
4. Roboter müssen mit ihren Kameras und Mikrofonen jederzeit auf Lernende reagieren und daher möglicherweise den Klassenraum kontinuierlich aufzeichnen. Dies könnte die Privatsphäre der Lehrenden und Lernenden beeinträchtigen. Die Aufzeichnung und der Austausch von Informationen muss den lokalen rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechen, wie z.B. der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) in der EU. Die Einholung der Zustimmung von Eltern und Lehrpersonen für den Einsatz von Robotern im Klassenzimmer ist unerlässlich und sollte die vollständige Offenlegung der Art und Weise beinhalten, wie die Daten aufgezeichnet, verarbeitet, gespeichert und weitergegeben werden. Der Roboter sollte auch deutlich anzeigen, wann er aufzeichnet, z.B. durch ein rotes Blinklicht.



Diskussionsfragen

- Was ist der Unterschied zwischen Konsequentialismus und Deontologie? Wie ist er auf die Bildungsrobotik anwendbar? Warum ist die Umsetzung der tugendhaften Robotik praktischer?
- Wie könnte man den ethischen Bedenken, die hinsichtlich einer Implementierung von Robotern im Klassenzimmer erwähnt wurden, durch die Gestaltung von Interaktions- und Lernszenarien begegnen? Zeigen Sie Beispiele dafür.
- Geben Sie Beispiele für verschiedene Anwendungen von tugendhaften Robotern im Klassenzimmer, die sich auf verschiedene Rollen und Aufgaben beziehen, die ein Roboter im Klassenzimmer übernehmen kann.
- Was sind einige der moralischen Grenzen eines Roboters, die eine menschliche Lehrkraft überwachen sollte?



Weiterführende Literatur

- Massimiliano Cappuccio, Eduardo Benitez Sandoval, Omar Mubin, Mohammad Obaid, und Mari Velonaki. Can Robots Make us Better Humans? Virtuous Robotics and the Good Life with Artificial Agents. International Journal of Social Robotics, 2020.

Forschungsmethoden in der Bildungsrobotik

„Science is magic that works.“

- Kurt Vonnegut, *Cat's Cradle*



Was wird in diesem Kapitel behandelt:

- unterschiedliche Methoden für unterschiedliche Forschungsfragen,
- auf dem langen Weg der wissenschaftlichen Forschung: Schritte und Herausforderungen,
- neue Antworten führen zu weiteren Fragen: Publikation als Ausgangspunkt.

Das Forschungsgebiet der Mensch-Roboter-Interaktion hat mit der Etablierung der sogenannten „Human-Robot Interaction“-Konferenz im Jahr 2006 zunehmend an Bedeutung gewonnen und ist dennoch ein relativ junges Forschungsfeld. Mensch-Roboter-Interaktion ist eng mit der Mensch-Computer-Interaktion verzahnt. Bei den meisten in diesen Bereichen publizierten Arbeiten handelt es sich um empirische Forschung, bei der Nutzerstudien mit Robotern oder anderen Technologien durchgeführt werden (Bethel und Murphy, 2010). Andere Arten von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Robotik können Modelle, Programmiergerüste oder Software-Implementierungen umfassen (Mubin et al., 2017). Um jedoch den menschlichen Benutzer in die Perspektive zu integrieren, sind empirische Nutzerstudien erforderlich (Bartneck, 2011). Solche Nutzerstudien können empirische Antworten auf Forschungsfragen bezüglich des Einsatzes und der Effizienz von Robotersystemen in Lehrszenarien geben und durch systematische Evaluation Erkenntnisse liefern. Zur Veranschaulichung: Potenzielle Endnutzer, wie z.B. Lehrpersonen, könnten sich fragen, welche spezifischen Rollen der Roboter im Lernkontext spielt, in welchem Bereich ein Roboter nützlich sein könnte und welche spezifischen Verhaltensweisen er zeigen sollte. Sollte beispielsweise der Roboter als Begleiter des Lernenden oder als Assistent des Lehrenden dienen, um optimale Lernergebnisse zu ermitteln? Sollte er in den MINT-Fächern oder in den Geisteswissenschaften Unterstützung bieten und dies durch freundliches, konstruktives Feedback oder vielmehr durch die Anwendung einfacher „Nachsprechen und Auswendiglernen“-Regeln tun?

Die Antworten auf diese Forschungsfragen werden idealerweise durch empirische Untersuchungen ermittelt. Dabei handelt es sich um Forschung auf der Grundlage

von Daten, die durch die Beobachtung und/oder durch den Selbstbericht menschlicher Versuchspersonen gesammelt wurden. Diese Versuchspersonen können Kinder, Erwachsene, Lehrende oder Lernende, Eltern oder Gleichaltrige gleichermaßen sein. Quantitative Daten werden in der Regel durch Fragebögen, Umfragen, durch Beobachtung des Verhaltens der Versuchspersonen in Laborexperimenten, oder durch Beobachtungen vor Ort, z.B. in der Schule oder in der Familie, erhoben. Daten können auch durch einen qualitativen Ansatz gewonnen werden, d.h. durch das Sammeln von Antworten mittels offener Fragen, z.B. in Fokusgruppen, in Interview-Settings oder durch den Einsatz anderer qualitativer Methoden. Qualitative Methoden haben das Potenzial, eine quantitative Sichtweise zu ergänzen, indem sie Einblicke in tiefgreifende Diskussionen und Befragungen gewähren, wie Serholt et al. (2014) gezeigt haben. Hier wurden Lehrkräfte befragt, um ihre Ansichten über die weiteren Implikationen von Robotern in der Bildung zu verstehen. Solche auf qualitativen Daten basierenden Erkenntnisse können als Grundlage für die Hypothesenbildung und -prüfung verwendet werden, die für die üblicherweise quantitativen Laborstudien charakteristisch ist.

■ 11.1 Kurz- und Langzeit-Untersuchungen

Je nach Fragestellung können empirische Studien in Bezug auf Komplexität und zeitliche Dauer stark variieren. Während Forschungsfragen einerseits durch eine kurze Online-Befragung oder Laborexperimente gezielt bearbeitet werden können, handelt es sich bei anderen Forschungsvorhaben um jahrzehntelange Längsschnittstudien, die eine bestimmte Personengruppe im Zeitverlauf untersuchen (wie z.B. Gonnella et al., 2004). Ob eine bestimmte Intervention, z.B. eine Lehrmethode, wirksam ist, um die Qualität des Unterrichts, die Leistung, oder die Motivation der Lernenden zu verbessern, wird möglicherweise erst nach anhaltender und nachhaltiger Exposition sichtbar. Kritisch ist eine zunehmend zu beobachtende Saturiertheit im Kontext von Mensch-Roboter-Interaktionen mit Bildungsrobotern. Das heißt, Lernende berichten bereits nach wenigen Sitzungen mit Lernrobotern über Langeweile (Kanda et al., 2004). Daher sind Längsschnittstudien, wenn möglich empfehlenswert, um den Erfolg eines implementierten Systems oder einer spezifischen Manipulation zu überprüfen. Lernende sollten idealerweise einer neuen Lehrmethode wiederholt ausgesetzt werden, bevor Unterschiede beobachtet werden können. Zu diesem Zweck können longitudinale Forschungsstudien über längere Zeiträume laufen, die von mehreren Sitzungen bis hin zu mehreren Wochen, Monaten oder sogar Jahren reichen können. Solche Studien testen oft die Auswirkungen einer Intervention, indem Einstellungen und Verhaltensweisen derselben Gruppe von Versuchspersonen über die gesamte Studiendauer

mehrfach gemessen werden. Darüber hinaus sind Längsschnittstudien wichtig, um Unterschiede in der Reaktion oder im Verhalten der Versuchspersonen in Abhängigkeit vom Alter aufzuzeigen und so die zugrundeliegenden psychologischen Mechanismen zu explorieren, die in bestimmten Phasen der intellektuellen Reifung eine Rolle spielen können. Bei Kurzzeitstudien werden Messungen nur in einem einzigen Fall oder an einem einzigen Datenpunkt erhoben. Sowohl bei Kurz- als auch bei Langzeitstudien muss der Lernerfolg mit einer Kontrollgruppe verglichen werden, d.h. mit einer Gruppe von Versuchspersonen, die nicht der Intervention ausgesetzt war.

Logistische Anforderungen, wie sie in Kapitel 7 erwähnt werden, bestimmen, was im Hinblick auf den Versuchsaufbau möglich ist, und was nicht. Die Verfügbarkeit von und der Zugang zu Versuchspersonen stellt einen Schlüsselaspekt dar. Zum Beispiel kann die Durchführung von Experimenten in Bildungseinrichtungen (d.h. Feldstudien) eine lange Reihe von Genehmigungen der Regierung, der Ministerien, der Schulleitung, der Lehrkräfte und der Erziehungsberechtigten erfordern, wenn die Schulkinder nicht volljährig sind. Darüber hinaus könnten Schulverwaltungen Bedenken haben, ihre Schüler an der Forschung teilnehmen zu lassen, aus Angst, dass die Forschungsaktivitäten den Lehrplan und den Lernprozess der Schüler stören könnten. Dies sind nur einige wenige Beispiele für Probleme, mit denen man konfrontiert wird, wenn man experimentelle Studien mit Lernenden in Bildungseinrichtungen durchführen möchte, unabhängig von der tatsächlichen Nutzung von Robotern in diesem Kontext. Der Einsatz von Robotern in der Mensch-Roboter-Interaktionsforschung bringt zusätzliche Herausforderungen mit sich (d.h. es braucht verlässliche Robotertechnologien, die einen ganzen Tag im Laborbetrieb ohne technisches Versagen überstehen können), insbesondere bei Längsschnittstudien. Die Aufrechterhaltung des Forschungsaufbaus, einschließlich des Roboters und des Experimentieraums, und die Erlangung eines langfristigen Engagements der Versuchspersonen ist eine weitere Herausforderung in der Längsschnittforschung. Eine hohe Abbruchquote im Verlauf eines Feldexperiments könnte es schwierig machen, eine Forschungsstudie mit einer angemessenen Stichprobengröße abzuschließen. Diese praktischen Herausforderungen bei der Durchführung von Längsschnittforschung tragen auch dazu bei, dass es nur wenige Längsschnittstudien gibt, die sich auf die Erforschung und die Evaluation von roboterunterstütztem Lehren und Lernen in Einzel- und Gruppensettings konzentrieren (Kanda et al., 2007; Tanaka und Ghosh, 2011).

■ 11.2 Forschungsprozess

Der häufigste Ansatz von Forschern in der sozialen Robotik und insbesondere in der Bildungsrobotik sind Forschungsstudien, die typischerweise in der Laborumgebung stattfinden. In einem solchen Kontext sind die Forschungsteilnehmer einem Lehr- und Lernszenario ausgesetzt, das möglicherweise dyadische Face-to-Face-Interaktionen zwischen einem Menschen und dem Roboter beinhaltet. Typischerweise beinhaltet ein Laborexperiment in der Bildungsrobotik die Rekrutierung, die Einholung der Zustimmung, die Erklärung des Verfahrens, die Durchführung des Experiments mit dem Teilnehmer, der mit dem Roboter interagiert, ein Element der Nachbesprechung und schließlich das Verlassen der Umgebung.

Das Spektrum der Forschungsmethoden im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion im Allgemeinen und der Bildung ist umfangreich und es würde den Rahmen dieses Buches sprengen, einen vollständigen Überblick zu geben. Der interessierte Leser kann spezielle Literatur konsultieren, wie z.B. Check und Schutt (2011), Wiersma (2008) oder Bethel and Murphy (2010). Wir werden daher nur kurz den Forschungsprozess für die empirische Untersuchung von Forschungsfragen in der Bildungsrobotik skizzieren:

1. Literaturübersicht
2. Definition der Forschungsfragen
3. Definition der Methode
4. Ethische Zulassung und Studienregistrierung
5. Datenerhebung
6. Analyse
7. Niederschrift der Ergebnisse
8. Veröffentlichung.

11.2.1 Literaturübersicht

Eine der Grundlagen innovativer Forschung ist Originalität. Die Beantwortung einer Forschungsfrage, deren Antwort bereits bekannt ist, trägt wenig zum Wissenszuwachs bei. Es kann dennoch nützlich sein, bestehende Forschung zu wiederholen und zu erweitern, um frühere Ergebnisse zu validieren. Bemerkenswert ist, dass der Status von Replikationsstudien mit dem Auftreten der *Replikationskrise* dramatisch zugenommen hat (Makel und Plucker, 2014).



Die Replikationskrise bezeichnet das Problem, dass viele Studien nicht erfolgreich repliziert werden können. Das bedeutet, dass bei der Wiederholung eines Experiments nach den im Methodenteil der ursprünglichen Studie verfügbaren Anweisungen unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Die Open Science Collaboration schätzt, dass nur ein Drittel bis zu einer Hälfte der Studien im Bereich der Psychologie Ergebnisse liefern, die replizierbar sind. Diese Problematik ist aber nicht auf die Psychologie allein begrenzt, sondern wurde in dieser Disziplin lediglich verstärkt adressiert.

Vor der Durchführung eines Experiments sollte die ständig wachsende Forschungsliteratur gesichtet werden. Eine gute Literaturübersicht wird zusammenfassen, welche Arbeiten in dem betreffenden Gebiet bereits durchgeführt wurden und welche Wissenslücken bestehen könnten. Insbesondere bei der Erforschung von Bildungsrobotern sollte auch die Literatur zu Bildungstechnologien untersucht werden, um die Lücken in Techniken zu ermitteln, die keine Roboter beinhalten, aber andere intelligente Artefakte nutzen. Aktuelle Arbeiten auf dem Gebiet der Bildungsrobotik werden beispielsweise auf wissenschaftlichen Fachtagungen (z. B. Human-Robot Interaction, RO-MAN, *Human-Agent-Interaction*, *International Conference of Social Robotics*) präsentiert. Zu den populären Zeitschriften, in denen Forschungsarbeiten im Gebiet der Bildungsrobotik veröffentlicht werden können, gehören das *International Journal of Social Robotics* und eine Reihe von Fachzeitschriften aus dem Bereich der Bildungstechnologien, wie z. B. das hochrangige *British Journal of Educational Technology*, das *Journal of Computers in Education* oder die Zeitschrift *Computers in Human Behavior*. Für den Zugriff auf Beiträge von Konferenzen und Zeitschriften ist meist ein kostenpflichtiges Abonnement erforderlich, aber Zugang wird auch über Universitätsbibliotheken ermöglicht. Durch Kontaktaufnahme mit den Autoren selbst oder durch Suchen von Beiträgen in spezialisierten Suchmaschinen wie Google Scholar, kann dem interessierten Leser häufig eine kostenlose PDF-Datei zur Verfügung gestellt werden.

11.2.2 Definition der Forschungsfragen und Hypothesen

Die Definition neuer und interessanter Forschungsfragen und die Ableitung von Hypothesen aus der bestehenden Literatur ist eine der schwierigsten Aufgaben in der Forschung, zumal die ständig wachsende Menge an wissenschaftlicher Literatur es immer schwerer macht, tatsächlich neuartige Forschungsfragen zu identifizieren.

Fragen, auf die eine Antwort sicher erscheint, könnten als trivial betrachtet werden. Nur in den seltenen Fällen, in denen ein weit verbreiteter Glaube widerlegt wird (oder das Gegenteil), entfalten diese potenziell trivialen Fragen ihren Wert. Schließlich haben diese Art von Fragen die *Replikationskrise* ausgelöst. Im Idealfall

wird die experimentelle Forschung repliziert, d.h. von anderen Forschenden wiederholt, um sicherzustellen, dass bestimmte Ergebnisse über die Mauern eines bestimmten Forschungslabors hinaus und nicht nur in einem bestimmten räumlichen oder kulturellen Kontext Gültigkeit haben. Eine Hypothese im Lehr-Lernkontext könnte beispielsweise lauten, dass eine bestimmte Intervention mit einem Bildungsroboter zu einem erhöhten sozialen Engagement und/oder besseren Testergebnissen führt. Diese Hypothese gilt es anschließend empirisch zu überprüfen.

11.2.3 Definition der Methode

Eine geeignete Forschungsmethode dient dazu, gültige Antworten auf Forschungsfragen zu geben. Im Falle einer nicht schlüssigen Evidenz, die zum Beispiel auf einer unangemessenen Operationalisierung der gemessenen Konstrukte oder anderen Fehlern im Forschungsdesign beruht, kann eine Hypothese nicht als belegt gelten. Das Forschungsvorgehen hängt u.a. stark von der Art der gestellten Forschungsfrage ab: etwa ob wir eine Längsschnittstudie oder Querschnittsstudien durchführen, qualitative oder quantitative Daten erheben wollen. Typischerweise umfasst eine Darstellung der Forschungsmethodik in der HRI im Allgemeinen oder im Bereich Bildungsroboter im Speziellen eine Beschreibung

1. der Manipulation,
2. der Messungen,
3. der Versuchspersonen,
4. des Versuchsaufbaus sowie
5. dem Ablauf des Experiments.

Manipulation

Durch Manipulation eines Faktors im Experiment ist es möglich, einen potenziellen Kausalzusammenhang zwischen der Manipulation und den nachfolgenden Messungen zu berücksichtigen. Um zu veranschaulichen, dass die Höhe eines Roboters einen Einfluss darauf hat, wie viel Autorität ein Lernender ihm zuschreibt, ist es notwendig, die Versuchspersonen Robotern unterschiedlicher Größe auszusetzen. Die Versuchspersonen würden in Gruppen aufgeteilt und jede Gruppe würde mit einem Roboter von nur einer Größe interagieren. In ähnlicher Weise könnten wir in einer Lernroboterumgebung zwei Varianten von Lernszenarien einsetzen und evaluieren, welche davon dem Zweck besser dient.

In der experimentellen Forschung werden die Versuchspersonen zufällig einer Experimentalgruppe oder einer sogenannten Kontrollgruppe zugewiesen. Beispielsweise würde eine Experimentalgruppe einem Roboter ausgesetzt werden, der ein bestimmtes Verhalten zeigt, während die Versuchspersonen in der Kontrollgruppe

mit einem Roboter interagieren, der dieses spezifische Verhalten nicht zeigt. Zum Beispiel manipulierten Ahmad et al. (2019), adaptives Verhalten eines Roboters. In der Experimentalgruppe waren die Versuchspersonen daher mit einem Roboter konfrontiert, der sein Verhalten anpassen konnte, während der Roboter derlei Verhaltensweisen gegenüber den Personen in der Kontrollgruppe nicht zeigte.

Im Rahmen eines korrelativen Ansatzes werden lediglich statistische Zusammenhänge zwischen Konstrukten untersucht. Mittels einer korrelativen Untersuchung können wir zum Beispiel das Alter einer Versuchsperson, die Studienleistungen und die Einstellungen gegenüber Robotern messen und in einen statistischen Zusammenhang stellen. Korrelative Forschung bringt jedoch gewisse Einschränkungen mit sich. Die größte Einschränkung betrifft die Tatsache, dass korrelative Forschung keine Kausalschlüsse zulässt, sondern lediglich statistische Zusammenhänge zwischen Variablen und deren Richtung aufzeigen kann. Beispielsweise können Korrelationsanalysen zu Umfragedaten zeigen, dass die Bereitschaft, einen Roboter in einem Bildungsumfeld einzusetzen, mäßig positiv mit der Einstellung zur Technologie im Allgemeinen korreliert. Das heißt, je positiver die Befragten „Technologie“ im Allgemeinen gegenüberstehen, desto eher neigen sie dazu, Roboter in Bildungseinrichtungen einzusetzen und umgekehrt.

Messungen

Empirische Forschung zu betreiben bedeutet, verschiedene Arten von Daten von Versuchspersonen zu sammeln. Hierzu gehören Daten auf Basis von objektiven oder subjektiven Messungen. Objektive Daten sind messbare Daten, die keiner persönlichen Interpretation oder Verzerrung unterliegen, wie z.B. physiologische Daten wie Hautleitfähigkeit oder Herzfrequenz. Subjektive Daten umfassen persönliche Meinungen, die häufig im Selbstbericht erhoben werden (Bethel und Murphy 2010).

Zusammenfassend kann man sagen, dass empirische Daten, die bei den Versuchspersonen erhoben werden, als subjektiv oder objektiv betrachtet werden, was auch als qualitativ bzw. quantitativ bezeichnet werden kann. So kann z.B. die Anzahl der Male, die ein Student eine korrekte Antwort auf die Frage eines Lehrers gibt, objektiv gezählt werden. Dies setzt voraus, dass eine richtige Antwort leicht definiert werden kann. Andererseits würde ein Interview mit dem Lernenden darüber, warum er/sie diese bestimmte Antwort gewählt hat, umfangreiche unstrukturierte Daten liefern, die in Bezug auf ihre Analyse und Interpretationen komplexer sind. Sie können nicht leicht objektiv gezählt werden und werden immer vom Experimentator interpretiert werden müssen. Viele statistische Methoden, die es Forschern ermöglichen, Daten zusammenzufassen und Schlussfolgerungen aus ihnen zu ziehen, erfordern quantitative Daten. Qualitative Daten können auch durch eine Vielzahl von Techniken analysiert werden, die sich auf die Kategorisierung von Gefühlen und Wahrnehmungen stützen, die sich aus den Daten ergeben. Dazu ge-

hört eine fundierte Theorie oder Inhaltsanalyse. Die Herausforderung bei der Analyse qualitativer Daten besteht darin, dass solche Daten potenziell einer Verzerrung unterliegen. Wenn man sich bei der Interpretation qualitativer Daten auf die Einschätzung von zwei oder mehr Forschenden stützt, kann man derartige Verzerrungen weitestgehend kontrollieren.

Die meisten Studien zu Bildungsrobotern untersuchen Kinder in Lehr-Lernkontexten. Es ist zu erwarten, dass Kinder komplexe Fragebögen nicht zuverlässig und genau ausfüllen können. Eine Möglichkeit, trotzdem valide Selbstberichtdaten von Kindern zu erhalten, sind maßgeschneiderte und spezifisch entworfene Selbstauskünfte für Kinder, wie z.B. Kartensortierung. Oft wird für eine interessante Fallstudie das nonverbale Verhalten von Kindern durch Videoanalyse als Mittel zur Beantwortung der Forschungsfragen analysiert. Soziales Engagement oder das Auftreten besonderer Emotionen, wie Überraschung oder Angst, können durch das Betrachten der Videoaufzeichnung gezählt werden. Auch hier gilt, dass Videodaten zwar quantitativer Natur sein können, aber durch eine qualitative Interpretation von Video-Kodierern initiiert werden, d.h. von Mitgliedern des Forschungsteams, die das Video manuell durchgehen und Punkte markieren, an denen bestimmte Schlüsselereignisse auftreten. Wie bereits erwähnt, kann die Einbeziehung mehrerer Kodierer die Zuverlässigkeit der Datenverarbeitung erhöhen und dazu beitragen, durch Einzelne verursachte Verzerrungen zu vermeiden. Darüber hinaus können psychologische Messwerte (z.B., Intelligenzquotient, Sprach- oder Lesefähigkeit) berücksichtigt und mit Verhaltensreaktionen verbunden werden, um die Ergebnisse mit erklärenden Quellen anzureichern.

Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Datenerhebungsansätze sind ein ständiger Diskussionspunkt zwischen Forschern. Die Debatte kann bisweilen hitzig werden. Wir werden von einer Parteinahme absehen und unter Berücksichtigung logistischer Zwänge eine Mischung aus quantitativer und qualitativer Datenerhebung und -analyse empfehlen. Die Nutzung der beiden Ansätze scheint ein fruchtbare Weg zu sein, um valides und relevantes Wissen zu erlangen. Die Antworten aller Versuchspersonen werden, sobald sie gemessen wurden, in der Regel elektronisch in Datenbanken oder Tabellenkalkulationen gespeichert.

Versuchspersonen

Es ist für die Interpretation der Ergebnisse wichtig, die Charakteristika der Versuchspersonen zu berücksichtigen. Das Alter der Versuchspersonen wird aufgrund der Entwicklungsunterschiede in den Altersgruppen der Kinder wohl eine der größten Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Bildungsforschungsstudie haben. Es ist daher notwendig, genau zu definieren, wer an der Studie teilnehmen wird. Dies wird automatisch die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse einschränken. Eine Studie, die mit 10- bis 12-Jährigen durchgeführt wurde, wird nur Erkenntnisse über Kinder in dieser speziellen Altersgruppe liefern. Um die Auswirkungen

von zufälligen Verzerrungen zu minimieren, ist es sinnvoll, eine hinreichend große Stichprobe von Versuchspersonen zu erheben. Die frei verfügbare Software *G*Power*¹ ermöglicht es Experimentatoren, die Anzahl der Versuchspersonen zu schätzen, die sie bei einer erwarteten Effektgröße benötigen um einen vorhandenen Effekt tatsächlich zu finden. Eine Erhöhung der Anzahl der Beobachtungen wird dadurch belohnt, dass sich die gemessenen zufälligen Störungen gegenseitig aufheben. Viele Zeitschriften erwarten von akzeptierten Arbeiten, dass sie die *Power-Analyse* ihrer Studien zeigen, d.h. wie viele Versuchspersonen erforderlich sind, um den erwarteten Effekt statistisch aufzudecken.

Versuchsaufbau

Oft werden Experimente in einem Labor durchgeführt, um möglichst viele zufällige Verzerrungen ausschließen zu können. Die Versuchsanordnung im Labor besteht aus einer simulierten und künstlichen Realität, die manchmal verschieden von einer realistischen Umgebung zu sein scheint, der wir normalerweise im Schulalltag begegnen. Das heißt, der Versuchsablauf ist standardisiert und kontrolliert und ist – bis auf die Manipulation – für alle Versuchspersonen identisch. Dies gewährleistet interne Validität, das heißt es ermöglicht den Forschern, festzustellen, dass nur Veränderungen in einer Variable Unterschiede auf der Ebene einer anderen Variable verursachen. Gleichzeitig schränkt dies die Generalisierbarkeit der experimentellen Ergebnisse ein. Diese Einschränkung wird oft als ökologische Validität bezeichnet. Entsprechend haben die Befunde aus einer Laborstudie, die auf einem ganz spezifischen Versuchsaufbau basieren nur eingeschränkte Gültigkeit und sind nicht direkt auf andere Kontexte und Zielgruppen übertragbar. Die Durchführung von Feldexperimenten in einer realen Lehr- und Lernumgebung verbessert zwar die ökologische Validität einer Studie, geht aber in der Regel mit Konfundierungen einher. Während der Datenerhebung im Rahmen einer Studie können zum Beispiel Ereignisse eintreten, die nichts mit der Studie selbst zu tun haben, aber dennoch die Messungen beeinflussen, wie zum Beispiel eine Feuerwehrübung oder die schlechte Stimmung einer Versuchsperson.

Logistisch gesehen haben beide Ansätze, das Labor und das Feldexperiment, ihre eigenen Herausforderungen. Wie wir zu Beginn dieses Kapitels erläutert haben, erfordert die Durchführung von Experimenten zur Mensch-Roboter-Interaktion in einer Schule eine Reihe von Genehmigungen und eine Synchronisierung mit Schulstundenplänen, Lehrplanangelegenheiten und der Verfügbarkeit von Schülern. In ähnlicher Weise bedeutet die Durchführung von Experimenten zur Mensch-Roboter-Interaktion pädagogischer Art in einem Labor, dass die Kinder in die Umgebung des Forschungslabors begleitet und dort untergebracht werden müssen. In

¹ <https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower.html>

beiden Fällen müssen angemessene Vorkehrungen in Bezug auf Ethik und Sicherheit getroffen werden.

Der Aufwand, der notwendig ist, um einen Roboter für den Einsatz im Rahmen einer empirischen Untersuchung vorzubereiten, sollte nicht unterschätzt werden. Die Programmierung aller notwendigen Verhaltensweisen und Interaktionen erfordert einen erheblichen Aufwand durch einen kompetenten Programmierer. Dazu gehören mehrere iterative Entwicklungs- und Testzyklen. Während einige Roboter-Software-Plattformen, wie *Choregraphe* von *SoftBank Robotics*, ein visuelles Programmierparadigma verwenden, das auch Nutzende ohne Programmierkenntnisse anspricht, bleiben die grundlegenden Herausforderungen der Robotik und des Software-Engineering bestehen. Die Auswertung von Sensordaten, die Entscheidung, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, und die Ausführung der Auswahlaktionen erfordern sorgfältige Planung und Kontrolle. Es ist ratsam, mit einem Robotik-Experten zusammenzuarbeiten, um sicherzustellen, dass die Funktionen des Roboters ausreichend gut funktionieren, um das Experiment abzuschließen. Alle Beobachtungsdaten, die aufgrund von Fehlfunktionen des Roboters verlorengehen, sind zu vermeiden. Genau aus diesem Grund führen Forschende Pilotstudien, Studien mithilfe von Mock-Ups oder Proben ihrer Experimente durch, um alle unerwarteten Fehler oder Schlupflöcher zu ermitteln, die innerhalb des Versuchsaufbaus und des Roboterverhaltens auftreten können.

Manchmal benötigt der Roboter Fähigkeiten, die über das hinausgehen, was mit einem angemessenen Aufwand an Softwareentwicklung möglich ist. Wenn von einem Roboter beispielsweise erwartet wird, dass er in einem realen Klassenzimmer arbeitet, dann wird die Fähigkeit des Roboters, die Äußerungen eines bestimmten Kindes zu erkennen, durch die Umgebungsgeräusche aller anderen Kinder beeinträchtigt. Es gibt zwar einige fortschrittliche Technologien, wie z.B. in die Umgebung eingebettete Mikrofon-Arrays, die Störgeräusche herausfiltern, aber dies könnte die für das Projekt zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel übersteigen. In solchen Fällen ist es oft einfacher, eine Person in einem anderen Raum durch die Mikrofone im Roboter aus der Ferne mithören zu lassen und die entsprechenden Aktionen auszulösen. Der Roboter wäre dann zwar nicht völlig autonom, aber dieser Unterschied wäre für die Versuchspersonen des Experiments nicht sichtbar. Solche Studien werden oft als *Wizard-of-Oz*-Studien bezeichnet, benannt nach dem Film, in dem eine Person eine große Illusion hinter einem Vorhang kontrolliert (Riek, 2012). Es muss an dieser Stelle unbedingt erwähnt werden, dass die Versuchspersonen an Experimenten zur Mensch-Roboter-Interaktion von dieser Anordnung nichts wissen und im Wesentlichen getäuscht werden würden. Dies wird in der Regel von den Forschern am Ende der Experimentsitzung durch eine Nachbesprechung mit den Versuchspersonen bestätigt. Der Einsatz der Täuschung muss in den Ethikanträgen der Studie ausdrücklich erwähnt werden (siehe Abschnitt unten).

Häufig werden die Versuchspersonen für ihre Mühe der Teilnahme an wissenschaftlichen Untersuchungen belohnt. Der Umfang der Belohnung hängt in der Regel von der Dauer der Untersuchung und von der Zielgruppe der Forschung ab (z.B. werden Gutschein-Verlosungen, Versuchspersonengelder oder Süßigkeiten angeboten).

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf beschreibt die wichtigsten Schritte, die jede Versuchsperson im Rahmen einer Forschungsstudie durchläuft. Dazu gehören die Begrüßung der Versuchspersonen der Studie, die Durchführung der experimentellen Manipulation, wenn vorgesehen, die Erhebung der Messinstrumente und eine Aufklärung über den Zweck der Untersuchung nach ihrem Abschluss. Eine detaillierte Beschreibung des Versuchsablaufs ermöglicht die Replikation der Forschung durch andere Forschende. Auf diese Weise können bestehende Hypothesen überprüft und validiert werden.

Ethikvotum und Präregistrierung der Studie

In der Regel erfordert jede Studie, die Versuchspersonen einbezieht, vor ihrer Durchführung die Genehmigung durch die Ethikkommission der Institution, an der die Forschung durchgeführt wird. Durch das Einholen eines Votums der Ethikkommission kann sichergestellt werden, dass die Risiken, denen die Versuchspersonen während einer Studie ausgesetzt sind, in einem angemessenen Verhältnis zu dem erwarteten Erkenntnisgewinn stehen. Er stellt auch sicher, dass die Versuchspersonen keinen unnötigen Risiken ausgesetzt werden. Die Durchführung von Experimenten mit Minderjährigen und/oder schutzbedürftigen Gruppen erfordert äußerste Sorgfalt und wird wahrscheinlich die Einholung der Zustimmung der Erziehungsberechtigten erfordern. Die Einholung eines Ethikvotums für Studien zu Mensch-Roboter-Interaktion mit Kindern kann eine erweiterte Überprüfung erfordern, um sicherzustellen, dass die Zustimmung, die Sicherheit und das Wohlergehen der Kinder während des Experiments aufrechterhalten werden.

Es hat sich als gute Praxis erwiesen, Studien vor ihrer Durchführung präregistrieren zu lassen. Dazu gehört in der Regel die Veröffentlichung der Hypothesen, der Methode, der geplanten statistischen Analysen und der erwarteten Ergebnisse bereits vor der Datenerhebung. Dies trägt zur Transparenz im Forschungsprozess bei und reduziert Phänomene wie z.B. *p-Hacking*, eine Manipulation von Forschungsergebnissen um nachträglich statistische Signifikanz der Ergebnisse zu erhalten (Leiter et al., 2015). Präregistrierungen können auf den Webseiten des Portals *AsPredicted*² und/oder des OSF³ hochgeladen werden.

² <https://aspredicted.org/>

³ <https://www.cos.io/our-services/prereg>

11.2.4 Analyse

Die durch die Manipulation, den Prozess und die Messungen definierte Struktur des Experiments bestimmt, welche statistische Analyse angemessen ist. Das Hauptziel jeder statistischen Analyse besteht darin, die Möglichkeit auszuschließen, dass die Unterschiede in den beobachteten Messungen allein auf den Zufall zurückzuführen sind. Es steht ein breites Spektrum an statistischen Methoden zur Verfügung, und der interessierte Leser kann spezielle Bücher zu diesem Thema zu Hilfe nehmen, wie z.B. Field (2017). Für die Analyse quantitativer Daten stehen verschiedene Auswertungsprogramme zur Verfügung, z.B. *SPSS* und *R Studio*⁴. *SPSS* wird von *IBM* zur Verfügung gestellt, erfordert jedoch eine kostenpflichtige Lizenz. *R Studio* hingegen ist frei zugänglich, erfordert jedoch Programmierkenntnisse, da es auf der Programmiersprache *R* basiert. *Jamovi*⁵ ist ein Open Source-Statistikprogramm, das die Daten und den Analyseprozess vollständig transparent macht.

11.2.5 Schreiben und Publizieren

Der Austausch von Wissen gehört zum Wesen des wissenschaftlichen Fortschritts. Der Forschungsprozess wird vollendet, wenn Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die Erkenntnisse aus ihrer Forschung teilen. Dies geschieht im Rahmen von wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Es stehen verschiedene Textverarbeitungsprogramme zur Verfügung, die Wissenschaftlern bei der Erstellung von Manuskripten helfen. Dazu gehören freie Systeme wie *LaTeX*, aber auch kommerzielle Lösungen wie *Microsoft Word* und *Endnote*. Die Verwendung solcher Tools verringert den Arbeitsaufwand drastisch. Beim Abfassen von wissenschaftlicher Fachliteratur ist das Durchlaufen von mehreren Schreib- und Korrekturzyklen einzuplanen.

Der größte Teil der Berichterstattung über empirische Forschung im Bereich Mensch-Roboter-Interaktion und damit auch über Bildungsroboter ist vom Stil der Berichterstattung über Experimente der *American Psychological Association* (APA, 2020) beeinflusst. Dieser standardisierte Stil der Berichterstattung von Forschungsarbeit erleichtert sowohl die Abfassung von Fachartikeln als auch ihr Verständnis.

Ein Manuskript für einen Forschungsartikel wird bei wissenschaftlichen Zeitschriften oder Konferenzen zur Prüfung eingereicht. Es wird dann in der Regel von Experten aus dem jeweiligen Fachgebiet in einem Doppelblind- oder zumindest

⁴ <https://rstudio.com/>

⁵ <https://www.jamovi.org/>

Einfachblindverfahren begutachtet. Bei der letztgenannten Form der Begutachtung sind die Gutachter den Autoren unbekannt. Im Falle einer Doppelblind-Begutachtung wissen die Gutachter ebenfalls nicht, wer das Manuskript verfasst hat. Nach erfolgreichem Durchlaufen des Begutachtungsverfahrens wird das Manuskript veröffentlicht. Es ist wünschenswert, dass wissenschaftliche Artikel „open access“ veröffentlicht werden. Auf diese Weise wird der Inhalt des Artikels nicht durch eine Bezahlschranke blockiert und kann von einem größeren wissenschaftlichen Fachpublikum und darüber hinaus rezipiert werden.

Es hat sich auch bewährt, die im Rahmen einer empirischen Untersuchung erhobenen Daten und alle Materialien, die bei der Durchführung des Experiments verwendet wurden, anderen Forschenden zur Verfügung zu stellen. Dies kann über offene und freie Plattformen wie die *Open Science Foundation*⁶ oder *Figshare*⁷ geschehen. Dies ermöglicht es anderen Forschern, nicht nur die durchgeführten statistischen Analysen zu verifizieren, sondern die Daten auch in Metaanalysen einzubeziehen, die Befunde aus mehreren empirischen Untersuchungen miteinander in Bezug setzen um eine übergeordnete Perspektive zu einer Fragestellung zu gewinnen.



Diskussionsfragen

- Was sind die Vor- und Nachteile der Durchführung von Forschung zu Bildungsrobotern im Labor oder „im Feld“ (z. B. im Labor vs. in der Schule)?
- Welche Arten von Daten können im Rahmen von Experimenten in der Bildungsrobotik erhoben werden?
- Welche Aspekte müssen vor der Durchführung von Experimenten mit Kindern im Kontext von Bildungsrobotern berücksichtigt werden?



Weiterführende Literatur

- Cindy L. Bethel und Robin R. Murphy. Review of human studies methods in HRI and recommendations. *International Journal of Social Robotics*, 2(4):347 – 359, 2010.
- Jonathan Lazar, Jinjuan Heidi Feng, und Harry Hochheiser. *Research methods in human-computer interaction*. Morgan Kaufmann, 2017.

⁶ <https://osf.io/>

⁷ <https://figshare.com/>

Literaturverzeichnis

- Evan Ackerman. Jibo is probably totally dead now. IEEE Spectrum, 2018. URL <https://spectrum.ieee.org/automation/robotics/home-robots/jibo-is-probably-totally-dead-now>.
- Henny Admoni und Brian Scassellati. Social eye gaze in human-robot interaction: A review. *J. Hum.-Robot Interact.*, 6(1):25–63, May 2017. ISSN 2163-0364. doi: 10.5898/JHRI.6.1.Admoni. URL <https://doi.org/10.5898/JHRI.6.1.Admoni>.
- Muneeb Imtiaz Ahmad, Omar Mubin und Joanne Orlando. Children views' on social robot's adaptations in education. In: Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction, Seiten 145–149, 2016. URL <https://doi.org/10.1145/3010915.3010977>.
- Muneeb Imtiaz Ahmad, Omar Mubin, Suleman Shahid und Joanne Orlando. Robot's adaptive emotional feedback sustains children's social engagement and promotes their vocabulary learning: a long-term child-robot interaction study. *Adaptive Behavior*, 27(4):243–266, 2019. URL <https://doi.org/10.1177/1059712319844182>.
- I. Ajzen und M. Fishbein. Understanding attitudes and predicting social behaviour. Pearson, 1980.
- Maija Aksela und Outi Haatainen. Project-based learning (pbl) in practise: Active teachers' views of its' advantages and challenges. In: Integrated Education for the Real World, Seiten 9–16, Australia, 2019. Queensland University of Technology.
- Moza Alahbabí, Fatima Almazroei, Mariam Almarzoqi, Aysha Almeheri, Mariam Alkabi, A. Al Nuaimi, Massimiliano Cappuccio und Fady Alnajjar. Avatar based interaction therapy: A potential therapeutic approach for children with autism. In: International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). IEEE, Aug. 2017. doi: 10.1109/icma.2017.8015864. URL <https://doi.org/10.1109%2Ficma.2017.8015864>.
- Minoo Alemi, Ali Meghdari und Maryam Ghazisaedy. Employing humanoid robots for teaching english language in iranian junior high-schools. *International Journal of Humanoid Robotics*, 11(03):1450022, 2014. doi: <https://doi.org/10.1142/S0219843614500224>. URL <https://doi.org/10.1142/S0219843614500224>.
- Wadee Alhalabi. Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behaviour & Information Technology*, 35(11):919–925, 2016. doi: 10.1080/0144929X.2016.1212931. URL <https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1212931>.
- Dimitris Alimisis. Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1):63–71, 2013.
- Dimitris Alimisis und George Boulogaridis. Robotics in physics education: fostering graphing abilities in kinematics. In: Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education, Seiten 2–10, 2014.
- Atheer Alkalifah, Bashayer Alsalmán, Deema Alnuháit, Ohoud Meldah, Sara Aloud, Hend S Al-Khalifa und Hind M Al-Otaibi. Using nao humanoid robot in kindergarten: a proposed system. In: The 15th International Conference on Advanced Learning Technologies, Seiten 166–167. IEEE, 2015.
- Fady Alnajjar, Sumayya Khalid, Alstair Vogan, Rui Nouchi, Ryuta Kawashima, et al. Emerging cognitive intervention technologies to meet the needs of an aging population: A systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 11:291, 2019a. URL <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00291>.

- Fady Alnajjar, Massimiliano Cappuccio, Abdulrahman Renawi, Omar Mubin und Chu Kiong Loo. Personalized robot interventions for autistic children: An automated methodology for attention assessment. International Journal of Social Robotics, mar 2020. doi: 10.1007/s12369-020-00639-8. URL <https://doi.org/10.1007%2Fs12369-020-00639-8>.
- Fady S Alnajjar, Abdulrahman Majed Renawi, Massimiliano Cappuccio und Omar Mubin. A low-cost autonomous attention assessment system for robot intervention with autistic children. In: The Tenth IEEE Global Engineering Education Conference, Seiten 787–792. IEEE, 2019b. URL <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725132>.
- Patrícia Alves-Oliveira, Pedro Sequeira und Ana Paiva. The role that an educational robot plays. In: 2016 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Seiten 817–822. IEEE, 2016. URL <https://doi.org/10.1145/2909824.3020231>.
- Patrícia Alves-Oliveira, Pedro Sequeira, Francisco S. Melo, Ginevra Castellano und Ana Paiva. Empathic robot for group learning: A field study. ACM Transactions on Human-Robot Interaction, March 2019. doi: 10.1145/3300188. URL <https://doi.org/10.1145/3300188>.
- Sean Andrist, Xiang Zhi Tan, Michael Gleicher und Bilge Mutlu. Conversational gaze aversion for humanlike robots. In: Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '14, Seiten 25–32, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450326582. doi: 10.1145/2559636.2559666. URL <https://doi.org/10.1145/2559636.2559666>.
- Saira Anwar, Nicholas Alexander Bascou, Muhsin Menekse und Asefeh Kardgar. A systematic review of studies on educational robotics. Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER), 9(2):2, 2019. doi: 10.7771/2157-9288.1223. URL <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223>.
- Julie Archer-Kath, David W Johnson und Roger T Johnson. Individual versus group feedback in cooperative groups. The journal of social psychology, 134(5):681–694, 1994.
- Kai O Arras und Daniela Cerqui. Do we want to share our lives and bodies with robots? a 2000 people survey: a 2000-people survey. Technical report, 605(1), 2005. doi: 10.3929/ethz-a-010113633. URL <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010113633>.
- James Arthur, Kristján Kristjánsson, Tom Harrison, Wouter Sanderse und Daniel Wright. Teaching character and virtue in schools. Routledge, London, 2016. doi: 10.4324/9781315695013.
- Isaac Asimov. The fun they had in “boys and girls page”. NEA service Inc, 1951.
- Thibault Asselborn, Wafa Johal und Pierre Dillenbourg. Keep on moving! exploring anthropomorphic effects of motion during idle moments. In: The 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 897–902. IEEE, 2017.
- American Psychological Association. Publication Manual of the American Psychological Association. American Psychological Association, 7th edition, 2020. ISBN 9781433832161.
- Richard C Atkinson und Richard M Shiffrin. Human memory: A proposed system and its control processes. In: Kenneth W. Spence und Janet Taylor Spence, editors, Psychology of Learning and Motivation, Band 2, Seiten 89–195. Academic Press New York, 1968. doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079742108604223>.
- Ronald T Azuma. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6(4):355–385, 1997. doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355. URL <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- Uba Backonja, Amanda K Hall, Ian Painter, Laura Kneale, Amanda Lazar, Maya Cakmak, Hilaire J Thompson und George Demiris. Comfort and attitudes towards robots among young, middle-aged, and older adults: A cross-sectional study. Journal of Nursing Scholarship, 50(6):623–633, 2018. URL <https://doi.org/10.1111/jnu.12430>.
- A Baddeley. Working memory. Science, 255(5044):556–559, 1992. ISSN 0036-8075. doi: 10.1126/science.1736359. URL <https://science.scienmag.org/content/255/5044/556>.
- Ilhan Bae und Jeonghye Han. Analysis on teacher's height and authority in robot-assisted learning. Journal of Digital Contents Society, 18(8):1501–1507, 2017a. URL <http://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE07293508>.
- Ilhan Bae und Jeonghye Han. Does height affect the strictness of robot assisted teacher? In Proceedings of the Companion of the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 73–74, 2017b. URL <https://doi.org/10.1145/3029798.3038401>.

- J. Wesley Baker. The “classroom flip”: Using web course management tools to become the guide on the side. Selected Papers from the 11th International Conference on College Teaching and Learning, Seiten 9–17, 01 2000.
- Albert Bandura. Social learning theory of aggression. *Journal of communication*, 28(3):12–29, 1978.
- Albert Bandura, Dorothea Ross und Sheila A Ross. Imitation of film-mediated aggressive models. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 66(1):3, 1963a.
- Albert Bandura, Dorothea Ross und Sheila A Ross. Vicarious reinforcement and imitative learning. *The Journal of abnormal and social psychology*, 67(6):601, 1963b.
- C. Bartneck und Merel Keijsers. The morality of abusing a robot. *Paladyn Journal of Behavioral Robotics* (submitted), 2020.
- C. Bartneck, Christoph Lütge, Alan Wagner und Sean Welsh. An Introduction to Ethics in Robotics and AI. SpringerBriefs in Ethics. Springer, 2020a. ISBN 9783030511098. doi: 10.1007/978-3-030-51110-4. URL <https://www.springer.com/gp/book/9783030511098>.
- Christoph Bartneck. The end of the beginning: a reflection on the first five years of the hri conference. *Scientometrics*, 86(2):487–504, 2011. doi: 10.1007/s11192-010-0281-x. URL <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0281-x>.
- Christoph Bartneck und Juliane Reichenbach. Subtle emotional expressions of synthetic characters. *The international Journal of Human-Computer Studies*, 62(2):179–192, 2005. doi: 10.1016/j.ijhcs.2004.11.006. URL https://www.bartneck.de/publications/2005/subtleEmotionalExpressionsSyntheticCharacters/bartneckReichenbach_IJHCS2005.pdf.
- Christoph Bartneck, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro und Norihiro Hagita. Is the uncanny valley an uncanny cliff? In The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 368–373. IEEE, 2007a. doi: 10.1109/ROMAN.2007.4415111.
- Christoph Bartneck, Tomohiro Suzuki, Takayuki Kanda und Tatsuya Nomura. The influence of people’s culture and prior experiences with aibo on their attitude towards robots. *Ai & Society*, 21(1-2):217–230, 2007b. doi: 10.1007/s00146-006-0052-7. URL <https://doi.org/10.1007/s00146-006-0052-7>.
- Christoph Bartneck, Tony Belpaeme, Friederike Eyssel, Takayuki Kanda, Merel Keijsers und Selma Šabanović. Human-Robot Interaction: An Introduction. Cambridge University Press, Cambridge, 2020b. URL <https://doi.org/10.1017/978108676649>.
- Paul Baxter, Emily Ashurst, Robin Read, James Kennedy und Tony Belpaeme. Robot Education Peers in a Situated Primary School Study: Personalisation Promotes Child Learning. *PLOS ONE*, 12(5):e0178126, 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0178126. URL <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0178126>.
- Jenay M Beer, Arthur D Fisk und Wendy A Rogers. Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction. *Journal of humanrobot interaction*, 3(2):74–99, 2014. doi: 10.5898/JHRI.3.2.Beer. URL <https://doi.org/10.5898/JHRI.3.2.Beer>.
- John Bell, William Cain, Amy Peterson und Cui Cheng. From 2d to kubi to doubles: Designs for student telepresence in synchronous hybrid classrooms. *International Journal of Designs for Learning*, 7(3):19–33, 2016. URL <https://www.learntechlib.org/p/209594/>.
- Tony Belpaeme, Paul Baxter, Robin Read, Rachel Wood, Heriberto Cuayahuitl, Bernd Kiefer, Stefania Racioppa, Ivana Kruijff-Korabayová, Georgios Athanasopoulos, Valentin Enescu, et al. Multimodal childrobot interaction: Building social bonds. *Journal of Human-Robot Interaction*, 1(2):33–53, 2013. doi:10.5555/3109688.3109691. URL <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3109688.3109691>.
- Tony Belpaeme, James Kennedy, Aditi Ramachandran, Brian Scassellati und Fumihide Tanaka. Social robots for education: A review. *Science robotics*, 3(21):eaat5954, 2018a.
- Tony Belpaeme, Paul Vogt, Rianne Van den Berghe, Kirsten Bergmann, Tilbe Göksun, Mirjam De Haas, Junko Kanero, James Kennedy, Aylin C Küntay, Ora Oudgenoeg-Paz, et al. Guidelines for designing social robots as second language tutors. *International Journal of Social Robotics*, 10 (3):325–341, 2018b. doi: 10.1007/s12369-018-0467-6. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-018-0467-6>.
- Fabiane Barreto Vavassori Benitti. Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58 (3):978–988, 2012. doi: 10.1016/j.compedu.2011.10.006. URL <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>.
- Cindy L Bethel und Robin R Murphy. Review of human studies methods in hri and recommendations. *International Journal of Social Robotics*, 2 (4):347–359, 2010. doi: 10.1007/s12369-010-0064-9. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-010-0064-9>.

- Frank Biocca. Communication within virtual reality: Creating a space for research. *Journal of communication*, 42(4):5–22, 1992. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00810.x. URL <https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00810.x>.
- Christopher M Bishop. Pattern recognition and machine learning. Springer, 2006. ISBN 0387310738.
- Olivier Blanson-Henkemans, Vera Hoondert, Femke Schrama-Groot, Rosemarijn Looije, Laurence Alpay und Mark Neerincx. “I just have diabetes”: children’s need for diabetes self-management support and how a social robot can accommodate their needs. *Patient Intelligence*, 4:51–61, 2012. doi: 10.2147/PI.S30847.
- Benjamin S Bloom. The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational researcher*, 13 (6):4–16, 1984. doi: 10.3102/0013189X013006004. URL <https://doi.org/10.3102/0013189X013006004>.
- Jason Borenstein und Ronald C Arkin. Nudging for good: robots and the ethical appropriateness of nurturing empathy and charitable behavior. *Ai & Society*, 32(4):499–507, 2017. doi: 10.1007/s00146-016-0684-1. URL <https://doi.org/10.1007/s00146-016-0684-1>.
- Sofiane Boucenna, David Cohen undrew N Meltzoff, Philippe Gaussier und Mohamed Chetouani. Robots learn to recognize individuals from imitative encounters with people and avatars. *Scientific reports*, 6:19908, 2016.
- Matt Bower, Cathie Howe, Nerida McCredie, Austin Robinson und David Grover. Augmented reality in education-cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1):1–15, 2014. doi: 10.1080/09523987.2014.889400. URL <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>.
- Neil A Bradbury. Attention span during lectures: 8 seconds, 10 minutes, or more? *Adv Physiol Educ*, 40:509–513, 2016.
- J. Brandstetter, P. Rácz, C. Beckner, E. B. Sandoval, J. Hay und C. Bartneck. A peer pressure experiment: Recreation of the asch conformity experiment with robots. In: *The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Seiten 1335–1340, Sep. 2014. doi: 10.1109/IROS.2014.6942730.
- Cynthia Breazeal. Socially intelligent robots. *interactions*, 12(2):19–22, 2005.
- John Bridgeland, Mary Bruce und Arya Hariharan. The missing piece: A national teacher survey on how social and emotional learning can empower children and transform schools. a report for casel. Civic Enterprises, 2013.
- Dražen Brščiundefined, Hiroyuki Kidokoro, Yoshitaka Suehiro und Takayuki Kanda. Escaping from children’s abuse of social robots. In: *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI ’15, Seiten 59–66, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450328838. doi: 10.1145/2696454.2696468. URL <https://doi.org/10.1145/2696454.2696468>.
- George Butterworth. Principles of developmental psychology: An introduction. Psychology Press, 2014.
- Elizabeth Campbell. Professional ethics in teaching: Towards the development of a code of practice. *Cambridge Journal of Education*, 30(2): 203–221, 2000. doi: 10.1080/03057640050075198. URL <https://doi.org/10.1080/03057640050075198>.
- Angelo Cangelosi und Matthew Schlesinger. From Babies to Robots: The Contribution of Developmental Robotics to developmental psychology. *Child Development Perspectives*, 12(3):183–188, 2018. doi: 10.1111/cdep.12282. URL <https://srcd.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cdep.12282>.
- Massimiliano Cappuccio, Eduardo Benitez Sandoval, Omar Munibin, Mohammad Obaid und Mari Velonaki. Virtuous robots: artificial agent and good life. Special Issue in the *International Journal of Social Robotics Under Review*, 2020.
- Massimiliano L Cappuccio und Stephen V Shepherd. 13 pointing hand: Joint attention and embodied symbols. The hand, an organ of the mind: What the manual tells the mental, Seite 303, 2013.
- Massimiliano L. Cappuccio, Anco Peeters und William McDonald. Sympathy for dolores: Moral consideration for robots based on virtue and recognition. *Philosophy and Technology*, 33(1):9–31, 2019. doi: 10.1007/s13347-019-0341-y.
- Julie Carpenter, Matt Eliot und Daniel Schultheis. Machine or friend: Understanding users’ preferences for and expectations of a humanoid robot companion. In: *Proceedings of the 5th Conference on Design and Emotion 2006*, 2006. ISBN 9197507954.

- Stefano Carpin, Mike Lewis, Jijun Wang, Stephen Balakirsky und Chris Scrapper. Usarsim: a robot simulator for research and education. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seiten 1400–1405. IEEE, 2007. doi: 10.1109/ROBOT.2007.363180. URL <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2007.363180>.
- David Carr. Professionalism and ethics in teaching. Routledge, London, 2005.
- David Carr und Jan Steutel. Virtue ethics and moral education. Routledge, London, 2005.
- Jonathan Casas, Bahar Irfan, Emmanuel Senft, Luisa Gutiérrez, Monica Rincon-Roncancio, Marcela Munera, Tony Belpaeme und Carlos A Cifuentes. Social assistive robot for cardiac rehabilitation: A pilot study with patients with angioplasty. In: Companion of the 13th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 79–80. Association for Computing Machinery, 2018. doi: 10.1145/3173386.3177052. URL <https://doi.org/10.1145/3173386.3177052>.
- Chris Caswell und Sean Neill. Body language for competent teachers. Routledge, 2003.
- Albert Causo, Giang Truong Vo, I-Ming Chen und Song Huat Yeo. Design of robots used as education companion and tutor. In: Robotics and mechatronics, Seiten 75–84. Springer, 2016.
- Elizabeth Cha, Samantha Chen und Maja J Mataric. Designing telepresence robots for k-12 education. In: Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 683–688. IEEE, 2017. doi: 10.1109/ROMAN.2017.8172377. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8172377>.
- Chih-Wei Chang, Jih-Hsien Lee, Po-Yao Chao, Chin-Yeh Wang und GwoDong Chen. Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school. Journal of Educational Technology & Society, 13(2):13–24, 2010. URL <https://www.learntechlib.org/p/75345/>.
- Blessing Chapfika. The role of integrity in higher education. International Journal for Educational Integrity, 4(1), 2008.
- Catherine C Chase, Doris B Chin, Marily A Oppezzo und Daniel L Schwartz. Teachable agents and the protégé effect: Increasing the effort towards learning. Journal of Science Education and Technology, 18(4):334–352, 2009. doi: 10.1007/s10956-009-9180-4. URL <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9180-4>.
- Vidushi Chaudhary, Vishnu Agrawal, Pragya Sureka und Ashish Sureka. An experience report on teaching programming and computational thinking to elementary level children using lego robotics education kit. In: The Eighth International Conference on Technology for Education (T4E), Seiten 38–41. IEEE, 2016. URL <https://doi.org/10.1109/T4E.2016.016>.
- Joseph Check und Russell K Schutt. Research methods in education. Sage Publications, 2011.
- Selene Chew, Willie Tay, Danielle Smit und Christoph Bartneck. Do social robots walk or roll? In Shuzhi Sam Ge, Haizhou Li, John-John Cabibihan und Yeow Kee Tan, editors, Social Robotics, Seiten 355–361, Berlin, Heidelberg, 2010. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-17248-9. doi: 10.1007/978-3-642-17248-9_37. URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-17248-9_37.
- HSU Chincheng, Alexander SCHMITZ, Kosuke KUSAYANAGI und Shigeki SUGANO. Continuous sensing ability of robot finger joints with tactile sensors. In: Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Seiten 1440–1444. IEEE, 2019.
- Jong-Hong Choi, Jong-Yun Lee und Jeong-Hye Han. Comparison of cultural acceptability for educational robots between europe and korea. Journal of Information Processing Systems, 4(3):97–102, 2008. doi: 10.3745/JIPS.2008.4.3.97. URL <https://doi.org/10.3745/JIPS.2008.4.3.97>.
- Alexandre Coninx, Paul Baxter, Elettra Oleari, Sara Bellini, Bert Bierman, Olivier Blanson Henkemans, Lola Canamero, Piero Cosi, Valentin Enescu, Raquel Ros Espinoza, Antoine Hiolle, Remi Humbert, Bernd Kiefer, Ivana Kruijff-korbayova, Rosemarijn Looije, Marco Mosconi, Mark Neerincx, Giulio Paci, Georgios Patsis, Clara Pozzi, Francesca Sacchitelli, Hichem Sahli, Alberto Sanna, Giacomo Sommavilla, Fabio Tesser, Yiannis Demiris und Tony Belpaeme. Towards Long-Term Social ChildRobot Interaction: Using Multi-Activity Switching to Engage Young Users. Journal of Human-Robot Interaction, 5(1):32–67, 2016. doi: 10.5898/JHRI.5.1. Coninx.
- Carolina Cruz-Neira, Daniel J Sandin, Thomas A DeFanti, Robert V Kenyon und John C Hart. The cave: audio visual experience automatic virtual environment. Communications of the ACM, 35(6):64–73, 1992. doi: 10.1145/129888.129892. URL <https://doi.org/10.1145/129888.129892>.

- Adam Csapo, Emer Gilmartin, Jonathan Grizou, JingGuang Han, Raveesh Meena, Dimitra Anastasiou, Kristiina Jokinen und Graham Wilcock. Multimodal conversational interaction with a humanoid robot. In: The 3rd IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), Seiten 667–672. IEEE, 2012.
- William Damon. Peer education: The untapped potential. *Journal of applied developmental psychology*, 5(4):331–343, 1984.
- Chandan Datta, Chandimal Jayawardena, I Han Kuo und Bruce A MacDonald. Robostudio: A visual programming environment for rapid authoring and customization of complex services on a personal service robot. In: The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Seiten 2352–2357. IEEE, 2012. URL <https://doi.org/10.1109/IROS.2012.6386105>.
- Kerstin Dautenhahn und Iain Werry. Towards interactive robots in autism therapy: Background, motivation and challenges. *Pragmatics & Cognition*, 12(1):1–35, 2004. doi: 10.1075/pc.12.1.03dau. URL <https://doi.org/10.1075/pc.12.1.03dau>.
- Daniel O. David, Cristina A. Costescu, Silviu Matu, Aurora Szentagotai und Anca Dobrean. Developing joint attention for children with autism in robot-enhanced therapy. *International Journal of Social Robotics*, 10 (5):595–605, Nov 2018. ISSN 1875-4805. doi: 10.1007/s12369-017-0457-0. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0457-0>.
- E Roy Davies. Computer vision: principles, algorithms, applications, learning. Academic Press, 2017. ISBN 978-0-12-809284-2.
- Maartje de Graaf, Somaya Allouch und Jan A. G. M. Van Dijk. Why would i use this in my home?: A model of domestic social robot acceptance. *Human-Computer Interaction*, 04 2017. doi: 10.1080/07370024.2017.1312406.
- Maartje MA De Graaf und Somaya Ben Allouch. Exploring influencing variables for the acceptance of social robots. *Robotics and autonomous systems*, 61(12):1476–1486, 2013. doi: 10.1016/j.robot.2013.07.007. URL <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.07.007>.
- Hanne De Jaegher. Social understanding through direct perception? yes, by interacting. *Consciousness and cognition*, 18(2):535–542, 2009. ISSN 1053-8100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.10.007>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053810008001438>.
- Hanne De Jaegher, Ezequiel Di Paolo und Shaun Gallagher. Can social interaction constitute social cognition? *Trends in cognitive sciences*, 14 (10):441–447, 2010. ISSN 1364-6613. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.06.009>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364661310001464>.
- Jean Decety. The neural pathways, development and functions of empathy. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 3:1–6, 2015. ISSN 23521546. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2014.12.001>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352154614000321>.
- Dennis J Delprato und Bryan D Midgley. Some fundamentals of bf skinner's behaviorism. *American psychologist*, 47(11):1507–1520, 1992. doi: 10.1037/0003-066X.47.11.1507. URL <https://doi.org/10.1037/0003-066X.47.11.1507>.
- Peter J Denning und Matti Tedre. Computational thinking. MIT Press Ltd, Cambridge, Massachusetts, 2019.
- Mark D'Esposito. From cognitive to neural models of working memory. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 362(1481):761–72, may 2007. ISSN 0962-8436. doi: 10.1098/rstb.2007.2086. URL <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2429995&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Morton Deutsch. A theory of co-operation and competition. *Human relations*, 2(2):129–152, 1949. doi: 10.1177/001872674900200204. URL <https://doi.org/10.1177/001872674900200204>.
- Morton Deutsch. Cooperation and trust: Some theoretical notes. In: M. R. Jones, editor, Nebraska Symposium on Motivation, Seiten 275–320. University of Nebraska Press, 1962. URL <https://psycnet.apa.org/record/196401869-002>.
- Giuseppe Di Cesare, Giancarlo Valente, Cinzia Di Dio, Emanuele Ruffaldi, Massimo Bergamasco, Rainer Goebel und Giacomo Rizzolatti. Vitality forms processing in the insula during action observation: a multivoxel pattern analysis. *Frontiers in human neuroscience*, 10:267, 2016. doi: 10.3389/fnhum.2016.00267. URL <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00267>.
- Cinzia Di Dio, Sara Isernia, Chiara Ceolaro, Antonella Marchetti und Davide Massaro. Growing up thinking of god's beliefs: theory of mind and ontological knowledge. *Sage Open*, 8(4):2158244018809874, 2018. doi: 10.1177/2158244018809874. URL <https://doi.org/10.1177/2158244018809874>.

- Cinzia Di Dio, Federico Manzi, S Itakura, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Davide Massaro und Antonella Marchetti. It does not matter who you are: Fairness in pre-schoolers interacting with human and robotic partners. *International Journal of Social Robotics*, Seiten 1–15, 2019. doi: 10.1007/s12369-019-00528-9. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00528-9>.
- Cinzia Di Dio, Federico Manzi, Giulia Peretti, Angelo Cangelosi, Paul L Harris, Davide Massaro und Antonella Marchetti. How children think about the robot's mind. the role of attachment and theory of mind in the attribution of mental states to a robotic agent. *Sistemi Intelligenti*, 1: 41–56, 2020a.
- Cinzia Di Dio, Federico Manzi, Giulia Peretti, Angelo Cangelosi, Paul L Harris, Davide Massaro und Antonella Marchetti. Shall I trust you? from child–robot interaction to trusting relationships. *Frontiers in Psychology*, 11:469, 2020b. URL <https://doi.org/10.1177/2158244018809874>.
- A. Diamond. Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64:135–168, 2013. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- David Didau und Nick Rose. *What Every Teacher Needs to Know about ... Psychology*. John Catt Educational Limited, Melton, Woodbridge, 2016.
- Pierre Dillenbourg. What do you mean by collaborative learning?, 1999.
- James Diprose, Bruce MacDonald, John Hosking und Beryl Plimmer. Designing an api at an appropriate abstraction level for programming social robot applications. *Journal of Visual Languages & Computing*, 39:22–40, 2017. URL <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2016.07.005>.
- Carl F DiSalvo, Francine Gemperle, Jodi Forlizzi und Sara Kiesler. All robots are not created equal: the design and perception of humanoid robot heads. In: Proceedings of the 4th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods und techniques, Seiten 321–326, 2002. doi: 10.1145/778712.778756. URL <https://doi.org/10.1145/778712.778756>.
- Brian R Duffy. Anthropomorphism and the social robot. *Robotics and autonomous systems*, 42(3-4):177–190, 2003. ISSN 0921-8890. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00374-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00374-3). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889002003743>.
- Hugh Durrant-Whyte und Tim Bailey. Simultaneous localization and mapping: part i. *IEEE robotics & automation magazine*, 13(2):99–110, 2006. doi: 10.1109/MRA.2006.1638022. URL <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.1638022>.
- Thierry Dutoit. An introduction to text-to-speech synthesis, Band 3. Springer Science & Business Media, 1997. doi: 10.1007/978-94-011-5730-8. URL <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-5730-8>.
- Chad Edwards, Autumn Edwards, Patric R Spence und Xialing Lin. I, teacher: using artificial intelligence (ai) and social robots in communication and instruction. *Communication Education*, 67(4):473–480, 2018.
- David Efron. Gesture and environment. King's Crown Press, 1941.
- Amy Eguchi. Educational robotics theories and practice: Tips for how to do it right. In: *Robots in K-12 education: A new technology for learning*, Seiten 1–30. IGI Global, 2012. doi: 10.4018/978-1-4666-0182-6.
- P. Ekman und W. V. Friesen. Facial Action Coding System (FACS): Manual. Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1978.
- Paul Ekman. Unmasking the face. Prentice Hall., 1975.
- Paul Ekman und Wallace V Friesen. The repertoire of nonverbal behavior: Categories, origins, usage und coding. *Semiotica*, 1(1):49–98, 1969.
- Nicholas Epley, Adam Waytz und John T Cacioppo. On seeing human: a three-factor theory of anthropomorphism. *Psychological review*, 114(4): 864, 2007. URL <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.864>.
- Peggy A Ertmer und Timothy J Newby. Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance improvement quarterly*, 6(4):50–72, 1993a. URL <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.1993.tb00605.x>.
- Peggy A Ertmer und Timothy J Newby. Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance improvement quarterly*, 26(2):43–71, 1993b. doi: 10.1111/j.1937-8327.1993.tb00605.x. URL <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.1993.tb00605.x>.
- Special Eurobarometer. Public attitudes towards robots. European Commission, 2012. URL https://www.eurobarometersurveys.org/files/ardb/evt/Public_attitudes_toward_robots_2012.pdf.

- Informatics Europe. Female students in informatics bachelor's programs. https://www.informatics-europe.org/data/higher-education/statistics/bachelor_all_semesters_percentage.html, 2020. Accessed: 2020-02-01.
- Friederike Eyssel und Frank Hegel. (s) he's got the look: Gender stereotyping of robots 1. *Journal of Applied Social Psychology*, 42(9):2213–2230, 2012.
- Francesco Ferrari und Friederike Eyssel. Toward a hybrid society. In: Arvin Agah, John-John Cabibihan, Ayanna M. Howard, Miguel A. Salichs und Hongsheng He, editors, *Social Robotics*, Seiten 909–918, Cham, 2016. Springer International Publishing.
- Norma D Feshbach. Studies on empathic behavior in children. *Progress in Experimental Personality Research*, Seiten 1–47, 1978.
- Andy Field. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics (5th Edition)*. Sage, 2017.
- Julia Fink. Anthropomorphism and human likeness in the design of robots and human-robot interaction. In: Shuzhi Sam Ge, Oussama Khatib, John Cabibihan, Reid Simmons und Mary-Anne Williams, editors, *International Conference on Social Robotics*, Seiten 199–208, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-34103-8_20. URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-34103-8_20.
- Aaron J Fischer, Bradley S Bloomfield, Racheal R Clark, Amelia L McClelland und William P Erchul. Increasing student compliance with teacher instructions using telepresence robot problem-solving teleconsultation. *International Journal of School & Educational Psychology*, 7 (supl):158–172, 2019. doi: 10.1080/21683603.2018.1470948. URL <https://doi.org/10.1080/21683603.2018.1470948>.
- Susan T Fiske. Stereotyping, prejudice und discrimination. *The handbook of social psychology*, 2(4):357–411, 1998.
- Naomi T Fitter, Nisha Raghunath, Elizabeth Cha, Christopher A Sanchez, Leila Takayama und Maja J Matarić. Are we there yet? comparing remote learning technologies in the university classroom. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2):2706–2713, 2020. doi: 10.1109/LRA.2020.2970939. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8978487/>.
- Priska Flandorfer. Population ageing and socially assistive robots for elderly persons: the importance of sociodemographic factors for user acceptance. *International Journal of Population Research*, 2012, 2012.
- Terrence Fong, Illah Nourbakhsh und Kerstin Dautenhahn. A survey of socially interactive robots. *Robotics and autonomous systems*, 42(3-4):143–166, 2003. doi:10.1016/S0921-8890(02)00372-X. URL [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00372-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00372-X).
- Edgar Z. Friedenberg. Toward a theory of instruction by jerome s. bruner. cambridge: Belknap press, 1966. 177 pp. \$3.95. *The bulletin of the National Association of Secondary School Principals*, 50(309):304–312, 1966. doi: 10.1177/019263656605030929. URL <https://doi.org/10.1177/019263656605030929>.
- Joaquin M Fuster. Network memory. *Trends in neurosciences*, 20(10):451–459, 1997.
- Shaun Gallagher. Understanding others: embodied social cognition. In: Paco Calvo und Antoni Gomila, editors, *Handbook of cognitive science*, Seiten 437–452. Elsevier, San Diego, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-046616-3.00022-0>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080466163000220>.
- Shaun Gallagher. Social Cognition, the Chinese Room und the Robot Replies, Seiten 83–97. Palgrave Macmillan UK, London, 2012. ISBN 9780-230-36806-4. doi: 10.1057/9780230368064_5. URL https://doi.org/10.1057/9780230368064_5.
- Shaun Gallagher und Daniel Schmicking. *Handbook of phenomenology and cognitive science*. Springer Netherlands, 2010. doi: 10.1007/978-90-481-2646-0.
- Vittorio Gallese. Embodied simulation: From mirror neuron systems to interpersonal relations. In: *Empathy and Fairness*, Seiten 3–19. John Wiley & Sons, Ltd, 2008. ISBN 9780470030585. doi: 10.1002/9780470030585.ch2. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470030585.ch2>.
- Vittorio Gallese. Mirror neurons, embodied simulation and a second-person approach to mindreading. *Cortex*, 49(10):2954–2956, 2013. ISSN 00109452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.09.008>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010945213002414>.
- Y. Gao, W. Barendregt, M. Obaid und G. Castellano. When robot personalisation does not help: Insights from a robot-supported learning study. In: The 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 705–712. IEEE, Aug 2018. doi: 10.1109/ROMAN.2018.8525832.

- Alberto Giaretta, Michele De Donno und Nicola Dragoni. Adding salt to pepper: A structured security assessment over a humanoid robot. In: Proceedings of the 13th International Conference on Availability, Reliability and Security, Seiten 1–8, 08 2018. ISBN 978-1-4503-6448-5. doi: 10.1145/3230833.3232807. URL <http://dx.doi.org/10.1145/3230833.3232807>.
- Pablo Gomez Esteban, Paul Baxter, Tony Belpaeme, Erik Billing, Haibin Cai, Hoang-Long Cao, Mark Coeckelbergh, Cristina Costescu, Daniel David, Albert De Beir, Yinfeng Fang, Zhaojie Ju, James Kennedy, Honghai Liu, Alexandre Mazel, Amit Pandey, Kathleen Richardson, Emmanuel Senft, Serge Thill, Greet Van De Perre, Bram Vanderborght, David Vernon, Yu Hui und Tom Ziemke. How to Build a Supervised Autonomous System for Robot-Enhanced Therapy for Children with Autism Spectrum Disorder. *Paladyn Journal of Behavioral Robotics*, 8(1):18–38, 2017. doi: 10.1515/pjbr-2017-0002. URL <https://www.degruyter.com/view/j/pjbr.2017.8.issue-1/pjbr-2017-0002/pjbr-2017-0002.xml?format=INT>.
- Joseph S Gonnella, James B Erdmann und Mohammadreza Hojat. An empirical study of the predictive validity of number grades in medical school using 3 decades of longitudinal data: implications for a grading system. *Medical Education*, 38(4):425–434, 2004. doi: 10.1111/j.1365-2923.2004.01774.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2923.2004.01774.x>.
- Goren Gordon, Samuel Spaulding, Jacqueline Kory Westlund, Jin Joo Lee, Luke Plummer, Marayna Martinez, Madhurima Das und Cynthia Breazeal. Affective personalization of a social robot tutor for children's second language skills. In: Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2016.
- Michal Gordon, Edith Ackermann und Cynthia Breazeal. Social robot toolkit: Tangible programming for young children. In: Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts, HRI'15 Extended Abstracts, Seiten 67–68, New York, NY, USA, 2015a. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450333184. doi: 10.1145/2701973.2702001. URL <https://doi.org/10.1145/2701973.2702001>.
- Michal Gordon, Eileen Rivera, Edith Ackermann und Cynthia Breazeal. Designing a relational social robot toolkit for preschool children to explore computational concepts. In: Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children, IDC '15, Seiten 355–358, New York, NY, USA, 2015b. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450335904. doi: 10.1145/2771839.2771915. URL <https://doi.org/10.1145/2771839.2771915>.
- Javi F Gorostiza und Miguel A Salichs. End-user programming of a social robot by dialog. *Robotics and Autonomous Systems*, 59(12):1102–1114, 2011. URL <https://doi.org/10.1016/j.robot.2011.07.009>.
- Gordon Graham. Eight theories of ethics. Routledge, London, 2004.
- Raffaele Grandi, Riccardo Falconi und Claudio Melchiorri. Robotic competitions: Teaching robotics and real-time programming with lego mindstorms. *IFAC Proceedings Bands*, 47(3):10598–10603, 2014. ISSN 1474-6670. doi: <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00222>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016432970>. 19th IFAC World Congress.
- Jillian Greczek, Katelyn Swift-Spong und Maja Matarić. Using eye shape to improve affect recognition on a humanoid robot with limited expression. Technical Report, 2011.
- Edward T. Hall. The Hidden Dimension. Doubleday, 1966.
- Jaap Ham und Cees JH Midden. A persuasive robot to stimulate energy conservation: the influence of positive and negative social feedback and task similarity on energy-consumption behavior. *International Journal of Social Robotics*, 6(2):163–171, 2014. doi: 10.1007/s12369-013-0205-z. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0205-z>.
- Jaap Ham und Andreas Spahn. Shall i show you some other shirts too? the psychology and ethics of persuasive robots. In: A Construction Manual for Robots' Ethical Systems, Seiten 63–81. Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-21548-8_4. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-21548-8_4.
- Jeonghye Han. Emerging technologies: Robot assisted language learning. *Language Learning & Technology*, 16(3):1–9, 2012.
- Jeonghye Han, Eunja Hyun, Miryang Kim, Hyekyung Cho, Takayuki Kanda und Tatsuya Nomura. The cross-cultural acceptance of tutoring robots with augmented reality services. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 3(2):95–102, 2009.

- JingGuang Han, Nick Campbell, Kristiina Jokinen und Graham Wilcock. Investigating the use of non-verbal cues in human-robot interaction with a nao robot. In: The 3rd IEEE International Conference on Cognitive Info-communications (CogInfoCom), Seiten 679–683. IEEE, 2012.
- Jürgen Handke. 1 Gelingensbedingungen für den Inverted Classroom: Lehren und Lernen im 21.Jahrhundert, Seiten 1–14. Tectum, Baden-Baden, 01 2017. ISBN 9783828867826. doi: 10.5771/9783828867826-1. URL <http://dx.doi.org/10.5771/9783828867826-1>.
- Jürgen Handke und Peter Franke. xmoocs im virtual linguistics campus.
- Schulmeister R, Herausgeber. MOOCs-Massive Open Online Courses: Offene Bildung oder Geschäftsmodell, Seiten 101–126, 2013.
- Markus Häring, Nikolaus Bee und Elisabeth André. Creation and evaluation of emotion expression with body movement, sound and eye color for humanoid robots. In: The 20th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 204–209. IEEE, 2011.
- Mark Haselgrove. Learning: A very short introduction. Oxford University Press, Oxford, 2016.
- Megan L. Head, Luke Holman, Rob Lanfear undrew T. Kahn und Michael D. Jennions. The extent and consequences of p-hacking in science. PLOS Biology, 13(3):1–15, 03 2015. doi: 10.1371/journal.pbio.1002106. URL <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002106>.
- Fritz Heider und Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. The American journal of psychology, 57(2):243–259, 1944.
- Kate Highfield, Joanne Mulligan und John Hedberg. Early mathematics learning through exploration with programmable toys. In: Proceedings of the Joint Meeting of PME, Band 32, Seiten 169–176. Citeseer, 2008.
- Martin L Hoffman. Interaction of affect and cognition in empathy. Emotions, cognition und behavior, Seiten 103–131, 1984.
- Devayani Hollands, Fiona M.; Tirthali. Resource requirements and costs of developing and delivering moocs. International Review of Research in Open and Distributed Learning, 15(5):113–133, 2014. doi: 10.19173/irrodl.v15i5.1901.
- Deanna Hood, Séverin Lemaignan und Pierre Dillenbourg. When children teach a robot to write: An autonomous teachable humanoid which uses simulated handwriting. In: Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 83–90, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450328838. doi: 10.1145/2696454.2696479. URL <https://doi.org/10.1145/2696454.2696479>.
- Andreas Huber, Astrid Weiss und Marjo Rauhala. The ethical risk of attachment: How to identify, investigate and predict potential ethical risks in the development of social companion robots. In: The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction, HRI '16, Seiten 367–374. IEEE Press, 2016. ISBN 9781467383707.
- Carl J Hughes, Michael Beverley und Juliet Whitehead. Using precision teaching to increase the fluency of word reading with problem readers. European Journal of Behavior Analysis, 8(2):221–238, 2007. doi: 10.1080/15021149.2007.11434284. URL <https://doi.org/10.1080/15021149.2007.11434284>.
- Hiroshi Ishiguro, Tetsuo Ono, Michita Imai und Takayuki Kanda. Development of an interactive humanoid robot “robovie”—an interdisciplinary approach. In: Robotics Research, Seiten 179–191. Springer, 2003. doi: 10.1007/3-540-36460-9_12. URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36460-9_12.
- Shoji Itakura. Development of mentalizing and communication: From viewpoint of developmental cybernetics and developmental cognitive neuroscience. IEICE transactions on communications, 91(7):2109–2117, 2008. doi: 10.1093/ietcom/e91-b.7.210. URL https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e91-b_7_2109.
- Shoji Itakura, Hiraku Ishida, Takayuki Kanda, Yohko Shimada, Hiroshi Ishiguro und Kang Lee. How to build an intentional android: Infants’ imitation of a robot’s goal-directed actions. Infancy, 13(5):519–532, 2008.
- Jesin James, Catherine Inez Watson und Bruce MacDonald. Artificial empathy in social robots: An analysis of emotions in speech. In: The 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 632–637. IEEE, 2018.

- Joris B Janssen, Chrissy C van der Wal, Mark A Neerincx und Rosemarijn Looije. Motivating children to learn arithmetic with an adaptive robot game. In: Proceedings of the Third international conference on Social Robotics, ICSR'11, Seiten 153–162, Berlin, Heidelberg, 2011. SpringerVerlag. ISBN 978-3-642-25503-8. doi: 10.1007/978-3-642-25504-5_16. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25504-5/_16.
- David Johnson und Roger Johnson. An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38, 06 2009. doi: 10.3102/0013189X09339057.
- David W Johnson und Roger T Johnson. Reducing school violence through conflict resolution. ASCD, 1995.
- David W. Johnson, Roger T. Johnson, Ann E. Ortiz und Marybeth Stanne. The impact of positive goal and resource interdependence on achievement, interaction und attitudes. *The Journal of General Psychology*, 118(4): 341–347, 1991. doi: 10.1080/00221309.1991.9917795. URL <https://doi.org/10.1080/00221309.1991.9917795>.
- David W Johnson, Roger T Johnson und Karl A Smith. Cooperative learning returns to college what evidence is there that it works? *Change: the magazine of higher learning*, 30(4):26–35, 1998. doi: 10.1080/00091389809602629. URL <https://doi.org/10.1080/00091389809602629>.
- David W Johnson, Roger T Johnson und Karl Smith. The state of cooperative learning in postsecondary and professional settings. *Educational Psychology Review*, 19(1):15–29, 2007.
- David W Johnson, Roger T Johnson und Karl A Smith. Cooperative learning: Improving university instruction by basing practice on validated theory. *Journal on Excellence in University Teaching*, 25(4):1–26, 2014.
- Sung Eun Jung und Eun-sok Won. Systematic review of research trends in robotics education for young children. *Sustainability*, 10(4):905, 2018. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su10040905. URL <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/905>.
- Peter H Kahn, Nathan G Freier, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Jolina H Ruckert, Rachel L Severson und Shaun K Kane. Design patterns for sociality in human-robot interaction. In: Proceedings of the 3rd ACM/IEEE international conference on Human robot interaction, Seiten 97–104, 2008. URL <https://doi.org/10.1145/1349822.1349836>.
- Peter H Kahn Jr, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Nathan G Freier, Rachel L Severson, Brian T Gill, Jolina H Ruckert und Solace Shen. “robovie, you'll have to go into the closet now”: Children's social and moral relationships with a humanoid robot. *Developmental psychology*, 48 (2):303, 2012. URL <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0027033>.
- Hiroko Kamide, Yasushi Mae, Koji Kawabe, Satoshi Shigemi, Masato Hirose und Tatsuo Arai. New measurement of psychological safety for humanoid. In: Proceedings of the 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 49–56. IEEE, 2012. doi: 10.1145/2157689.2157698. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6249614>.
- T. Kanda, R. Sato, N. Saiwaki und H. Ishiguro. A two-month field trial in an elementary school for long-term human–robot interaction. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5):962–971, Oct 2007. ISSN 1941-0468. doi: 10.1109/TRO.2007.904904.
- Takayuki Kanda, Takayuki Hirano, Daniel Eaton und Hiroshi Ishiguro. Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial. *Human–Computer Interaction*, 19(1-2):61–84, 2004. doi: 10.1080/07370024.2004.9667340. URL <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07370024.2004.9667340>.
- Mohammad Ehsanul Karim, Séverin Lemaignan und Francesco Mondada. A review: Can robots reshape k-12 stem education? In The IEEE international workshop on Advanced robotics and its social impacts (ARSO), Seiten 1–8. IEEE, 2015. doi: 10.1109/ARSO.2015.7428217. URL <https://doi.org/10.1109/ARSO.2015.7428217>.
- Kenneth A Kavale und Mark P Mostert. Social skills interventions for individuals with learning disabilities. *Learning disability quarterly*, 27(1): 31–43, 2004. doi: 10.2307/1593630. URL <https://doi.org/10.2307/1593630>.
- Birte Keller, Janine Baleis, Christopher Starke und Frank Marcinkowski. Machine learning and artificial intelligence in higher education: A stateoftheart report on the german university landscape. In: VW Stiftung, editor, tba, chapter chapter number, Seite 31 Seiten. Springer Verlag, Berlin, 2020.
- James Kennedy, Paul Baxter und Tony Belpaeme. The Robot Who Tried Too Hard: Social Behaviour of a Robot Tutor Can Negatively Affect Child Learning. In: Proceedings of the 10th Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 67–74, Portland, Oregon, USA, 2015. ACM Press. ISBN 9781450328838. doi: 10.1145/2696454.2696457.

- James Kennedy, Paul Baxter, Emmanuel Senft und Tony Belpaeme. Social robot tutoring for child second language learning. In: Proceedings of the 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 231–238, March 2016. doi: 10.1109/HRI.2016.7451757. URL <http://dx.doi.org/10.1109/HRI.2016.7451757>.
- James Kennedy, Paul Baxter und Tony Belpaeme. Nonverbal Immediacy as a Characterisation of Social Behaviour for Human-Robot Interaction. *International Journal of Social Robotics*, 9(1):109–128, 2017a. doi: 10.1007/s12369-016-0378-3.
- James Kennedy, Paul Baxter und Tony Belpaeme. The impact of robot tutor nonverbal social behavior on child learning. *Frontiers in ICT*, 4: 6, 2017b. ISSN 2297-198X. doi: 10.3389/fict.2017.00006. URL <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fict.2017.00006>.
- James Kennedy, Séverin Lemaignan, Caroline Montassier, Pauline Lavalade, Bahar Irfan, Fotios Papadopoulos, Emmanuel Senft und Tony Belpaeme. Child speech recognition in human-robot interaction: Evaluations and recommendations. In: Proceedings of the 12th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 82–90, New York, NY, USA, 2017c. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450343367. doi: 10.1145/2909824.3020229. URL <https://doi.org/10.1145/2909824.3020229>.
- Hanan Khalil und Martin Ebner. Moocs completion rates and possible methods to improve retention-a literature review. *Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, Seiten 1236–1244, 01 2014. URL <https://www.learntechlib.org/p/147656>.
- Negar Khojasteh, Cathy Liu und Susan R Fussell. Understanding undergraduate students' experiences of telepresence robots on campus. In: Conference Companion Publication of the 2019 on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing, Seiten 241–246, 2019. doi: 10.1145/3311957.3359450. URL <https://doi.org/10.1145/3311957.3359450>.
- Alison King. From sage on the stage to guide on the side. *College Teaching*, 41(1):30–35, 1993. doi: 10.1080/8756755.1993.9926781. URL <https://doi.org/10.1080/8756755.1993.9926781>.
- Wolfgang Kohler, Kurt Koffka und Friedrich Sander. *Psicología de la forma*, 1973.
- Dimitra Kokotsaki, Victoria Menzies und Andy Wiggins. Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3):267–277, 2016. doi: 10.1177/1365480216659733. URL <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>.
- Hideki Kozima, Marek P Michalowski und Cocoro Nakagawa. Keepon. *International Journal of Social Robotics*, 1(1):3–18, 2009. doi: 10.1007/s12369-008-0009-8. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-008-0009-8>.
- Annica Kristoffersson, Silvia Coradeschi und Amy Loutfi. A review of mobile robotic telepresence. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2013:1–17, 2013. doi: 10.1155/2013/902316. URL <https://doi.org/10.1155/2013/902316>.
- Svetlana Kubilinskiene, Inga Zilinskiene, Valentina Dagiene und Vytenis Sinkevicius. Applying robotics in school education: A systematic review. *Baltic journal of modern computing*, 5(1):50–69, 2017.
- Kwon, Oh-Hun, Koo, Seong-Yong, Kim, Young-Geun und Kwon, DongSoo. Telepresence robot system for english tutoring. In: IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, Seiten 152–155. IEEE, 2010. doi: 10.1109/ARSO.2010.5679999.
- Linda la Velle und Jan Georgeson. Developing teacher confidence in robotics and computation: case studies from a collaborative european project. In: European Conference on Educational Research (ECER), August 2017. URL <http://researchspace.bathspa.ac.uk/11944/>.
- Maureen Lage, Glenn Platt und Michael Treglia. Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *Journal of Economic Education*, 31:30–43, 12 2000. doi: 10.1080/00220480009596759. URL <http://dx.doi.org/10.1080/00220480009596759>.
- Victor Lavy und Edith Sand. On the origins of gender human capital gaps: Short and long term consequences of teachers' stereotypical biases. Technical report, National Bureau of Economic Research, 2015. URL <https://www.nber.org/papers/w20909>.
- Pamela B Lawhead, Michael E Duncan, Constance G Bland, Michael Goldweber, Madeleine Schep, David J Barnes und Ralph G Hollingsworth. A road map for teaching introductory programming using lego® mindstorms robots. *Acm sigcse bulletin*, 35(2):191–201, 2002. URL <https://doi.org/10.1145/782941.783002>.

- Jonathan Lazar, Jinjuan Heidi Feng und Harry Hochheiser. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann, 2017. ISBN 9780-12-805390-4.
- Serena Lecce, Marcella Caputi und Claire Hughes. Does sensitivity to criticism mediate the relationship between theory of mind and academic achievement? *Journal of experimental child psychology*, 110(3):313–331, 2011.
- Serena Lecce, Marcella Caputi und Adriano Pagnin. Long-term effect of theory of mind on school achievement: The role of sensitivity to criticism. *European Journal of Developmental Psychology*, 11(3):305–318, 2014.
- EunKyung Lee, YoungJun Lee, Bokyung Kye und Beomseog Ko. Elementary and middle school teachers', students' and parents' perception of robot-aided education in korea. In: Proceedings of ED-MEDIA 2008 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, Seiten 175–183. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2008. URL <https://www.learntechlib.org/p/28391/>.
- Séverin Lemaignan, Alexis Jacq, Deanna Hood, Fernando Garcia, Ana Paiva und Pierre Dillenbourg. Learning by teaching a robot: The case of handwriting. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 23(2):56–66, 2016. ISSN 1558-223X. doi: 10.1109/MRA.2016.2546700.
- Mark L. Lester. Class of 1999, 1990. URL <https://www.imdb.com/title/tt0099277/>.
- Daniel Leyzberg, Aditi Ramachandran und Brian Scassellati. The effect of personalization in longer-term robot tutoring. *J. Hum.-Robot Interact.*, 7 (3), December 2018. doi: 10.1145/3283453. URL <https://doi.org/10.1145/3283453>.
- Yi-Chun Lin, Tzu-Chien Liu, Maiga Chang und Shiau-Ping Yeh. Exploring children's perceptions of the robots. In: International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, Seiten 512–517. Springer, 2009. doi: 10.1007/978-3-642-03364-3_63. URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-03364-3_63.
- Eric Zhi-Feng Liu. Early adolescents' perceptions of educational robots and learning of robotics. *British Journal of Educational Technology*, 41 (3):E44–E47, 2010. doi: 10.1111/j.1467-8535.2009.00944.x. URL <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.00944.x>.
- Angela Lumpkin. Teachers as role models teaching character and moral virtues. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 79(2):45–50, 2008. doi: 10.1080/07303084.2008.10598134. URL <https://doi.org/10.1080/07303084.2008.10598134>.
- Matthew C. Makel und Jonathan A. Plucker. Facts are more important than novelty: Replication in the education sciences. *Educational Researcher*, 43(6):304–316, 2014. doi: 10.3102/0013189X14545513. URL <https://doi.org/10.3102/0013189X14545513>.
- Guido Makransky und Lau Lilleholt. A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66(5):1141–1164, 2018. doi: 10.1007/s11423-018-9581-2. URL <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>.
- Federico Manzi, M Ishikawa, Cinzia Di Dio, S Itakura, T Kanda, H Ishiguro, Davide Massaro und Antonella Marchetti. The understanding of congruent and incongruent referential gaze in 17-month-old infants: an eyetracking study comparing human and robot. *Scientific RepoRts*, 10(1): 1–10, 2020a. URL <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69140-6>.
- Federico Manzi, Giulia Peretti, Cinzia Di Dio, Angelo Cangelosi, Shoji Itakura, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Davide Massaro und Antonella Marchetti. A robot is not worth another: Exploring children's mental state attribution to different humanoid robots. *Frontiers in Psychology*, 11:2011, 2020b.
- Antonella Marchetti, Federico Manzi, Shoji Itakura und Davide Massaro. Theory of mind and humanoid robots from a lifespan perspective. *Zeitschrift für Psychologie*, 226:98–109, 2018. URL <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000326>.
- Antonella Marchetti, Laura Miraglia und Cinzia Di Dio. Toward a sociomaterial approach to cognitive empathy in autistic spectrum disorder. *Frontiers in Psychology*, 10:2965, 2019. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02965. URL <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2016.00267/full>.
- Fred Martin, Bakhtiar Mikhak, Mitchel Resnick, Brian Silverman und Robbie Berg. To Mindstorms and beyond: Evolution of a Construction Kit for Magical Machines, Seiten 9–33. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2000. ISBN 1558605975.
- Maja J. Matarić. The robotics primer. MIT Press, Cambridge, MA, 2007. ISBN 9780262633543. URL <http://www.worldcat.org/oclc/604083625>.

- Susan McDonald und Jennifer Howell. Watching, creating and achieving: Creative technologies as a conduit for learning in the early years. *British journal of educational technology*, 43(4):641–651, 2012. doi: 10.1111/j.1467-8535.2011.01231.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8535.2011.01231.x>.
- William McDougall. An introduction to social psychology. Psychology Press, 2015.
- David McNeill. So you think gestures are nonverbal? *Psychological review*, 92(3):350, 1985.
- David McNeill. Hand and mind: What gestures reveal about thought. University of Chicago press, 1992.
- Andrew N Meltzoff. Imitation as a mechanism of social cognition: Origins of empathy, theory of mind und the representation of action. *Blackwell handbook of childhood cognitive development*, Seiten 6–25, 2002. doi: 10.1002/9780470996652.ch1. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470996652.ch1>.
- Andrew N Meltzoff und Rechele Brooks. Like me” as a building block for understanding other minds: Bodily acts, attention und intention. *Intentions and intentionality: Foundations of social cognition*, 17191, 2001.
- Andrew N Meltzoff und Jean Decety. What imitation tells us about social cognition: a rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431):491–500, 2003. doi: 10.1098/rstb.2002.1261. URL <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2002.1261>.
- Andrew N Meltzoff und M Keith Moore. Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198(4312):75–78, 1977.
- Giorgio Metta, Giulio Sandini, Lorenzo Natale, Laila Craghero und Luciano Fadiga. Understanding mirror neurons: A bio-robotic approach. *Interaction Studies: Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems*, 7(2):197–232, 2006. doi: 10.1075/is.7.2.06met.
- David P Miller und Illah Nourbakhsh. Robotics for education. In: Bruno Siciliano und Oussama Khatib, editors, *Springer handbook of robotics*, Seiten 2115–2134. Springer International Publishing, Cham, 2016. ISBN 978-3-319-32552-1. doi: 10.1007/978-3-319-32552-1_79. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_79.
- George A Miller. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2): 81–97, 1956.
- Lauren R Milne und Richard E Ladner. Blocks4all: overcoming accessibility barriers to blocks programming for children with visual impairments. In: *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Seiten 1–10, 2018. URL <https://doi.org/10.1145/3173574.3173643>.
- Rubén Mitnik, Matías Recabarren, Miguel Nussbaum und Alvaro Soto. Collaborative robotic instruction: A graph teaching experience. *Computers & Education*, 53(2):330–342, 2009. doi: 10.1016/j.compedu.2009.02.010. URL <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.02.010>.
- Masahiro Mori et al. The uncanny valley. *Energy*, 7(4):33–35, 1970.
- Yusuke Moriguchi, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Yoko Shimada und Shoji Itakura. Can young children learn words from a robot? *Interaction Studies*, 12(1):107–118, 2011.
- Omar Mubin, Christoph Bartneck, Loe Feijs, Hanneke Hoof van Huysduyzen, Jun Hu und Jerry Muelver. Improving speech recognition with the robot interaction language. *Disruptive Science and Technology*, 1(2):79–88, 2012.
- Omar Mubin, Joshua Henderson und Christoph Bartneck. Talk roila to your robot. In: *Proceedings of the 15th ACM International conference on multimodal interaction*, Seiten 317–318, 2013a. doi: 10.1145/2522848.2531752. URL <https://doi.org/10.1145/2522848.2531752>.
- Omar Mubin, Suleman Shahid und Christoph Bartneck. Robot assisted language learning through games: A comparison of two case studies. *Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems*, 13(3):9–14, 2013b.
- Omar Mubin, Catherine J Stevens, Suleman Shahid, Abdullah Al Mahmud und Jian-Jie Dong. A review of the applicability of robots in education. *Journal of Technology in Education and Learning*, 1(209-0015):13, 2013c. URL <http://dx.doi.org/10.2316/Journal.209.2013.1.209-0015>.
- Omar Mubin, Joshua Henderson und Christoph Bartneck. You just do not understand me! speech recognition in human robot interaction. In: *The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Seiten 637–642. IEEE, 2014.

- Omar Mubin, Mohammad Obaid, Philipp Jordan, Patricia Alves-Oliveria, Thommy Eriksson, Wolmet Barendregt, Daniel Sjolle, Morten Fjeld, Simeon Simoff und Mark Billinghurst. Towards an agenda for sci-fi inspired hci research. In: Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, Seiten 1–6, 2016. doi: 10.1145/3001773.3001786. URL <https://doi.org/10.1145/3001773.3001786>.
- Omar Mubin, Max Manalo, Muneeb Ahmad und Mohammad Obaid. Scientometric analysis of the hai conference. In: Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction, Seiten 45–51, 2017. doi: 10.1145/3125739.3125747. URL <https://doi.org/10.1145/3125739.3125747>.
- Omar Mubin, Mariam Alhashmi, Rama Baroud und Fady S Alnajjar. Humanoid robots as teaching assistants in an arab school. In: Proceedings of the 31st Australian Conference on Human-Computer-Interaction, Seiten 462–466, 2019a. URL <https://doi.org/10.1145/3369457.3369517>.
- Omar Mubin, Kewal Wadibhasme, Philipp Jordan und Mohammad Obaid. Reflecting on the presence of science fiction robots in computing literature. ACM Transactions on Human-Robot Interaction, 8(1):1–25, 2019b. doi: 10.1145/3303706. URL <https://doi.org/10.1145/3303706>.
- Omar Mubin, Max Cappuccio, Fady Alnajjar, Muneeb Ahmad und Shahid. Shahid. Can a robot invigilator prevent cheating? AI and Society To Appear, 2020. URL <https://doi.org/10.1007/s00146-020-00954-8>.
- Kristina Neubök, Michael Kopp und Martin Ebner. What do we know about typical mooc participants? first insights from the field. In: European MOOCs Stakeholders Summit, 05 2015.
- Veronica Ahumada Newhart und Judith S Olson. My student is a robot: How schools manage telepresence experiences for students. In: Proceedings of the CHI conference on human factors in computing systems, Seiten 342–347, 2017. doi: 10.1145/3025453.3025809. URL <https://doi.org/10.1145/3025453.3025809>.
- Veronica Ahumada Newhart, Mark Warschauer und Leonard Sender. Virtual inclusion via telepresence robots in the classroom: An exploratory case study. The International Journal of Technologies in Learning, 23(4): 9–25, 2016. URL <https://escholarship.org/uc/item/9zm4h7nf>.
- Suichi Nishio, Hiroshi Ishiguro und Norihiro Hagita. Geminoid: Teleoperated Android of an Existing Person, chapter 20. IntechOpen, Rijeka, 2007. doi: 10.5772/4876. URL <https://doi.org/10.5772/4876>.
- T Nomura und T Kanda. On proposing the concept of robot anxiety and considering measurement of it. In: Proceedings of the 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 373–378. IEEE, 2003. doi: 10.1109/ROMAN.2003.1251874. URL <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2003.1251874>.
- Tatsuya Nomura. Robots and gender. In: Marianne J. Legato, editor, Principles of Gender-Specific Medicine (Third Edition), Seiten 695–703. Academic Press, San Diego, third edition edition, 2017. ISBN 978-0-12803506-1. doi: 10.1016/B978-0-12-803506-1.00042-5. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035061000425>.
- Tatsuya Nomura, Tomohiro Suzuki, Takayuki Kanda und Kensuke Kato. Measurement of anxiety toward robots. In: The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 372–377. IEEE, 2006a. doi: 10.1109/ROMAN.2006.314462. URL <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2006.314462>.
- Tatsuya Nomura, Tomohiro Suzuki, Takayuki Kanda und Kensuke Kato. Measurement of negative attitudes toward robots. Interaction Studies, 7 (3):437–454, 2006b. doi: 10.1075/is.7.3.14nom. URL <https://doi.org/10.1075/is.7.3.14nom>.
- Tatsuya Nomura, Takayuki Kanda, Tomohiro Suzuki und Kensuke Kato. Prediction of human behavior in human–robot interaction using psychological scales for anxiety and negative attitudes toward robots. IEEE transactions on robotics, 24(2):442–451, 2008. doi: 10.1109/TRO.2007.914004. URL <https://doi.org/10.1109/TRO.2007.914004>.
- M. Obaid, E. B. Sandoval, J. Zlotowski, E. Moltchanova, C. A. Basedow und C. Bartneck. Stop! that is close enough. how body postures influence human–robot proximity. In: The 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 354–361, Aug 2016. doi: 10.1109/ROMAN.2016.7745155.
- Mohammad Obaid, Radoslaw Niewiadomski und Catherine Pelachaud. Perception of spatial relations and of coexistence with virtual agents. In: Hannes Högni Vilhjálmsson, Stefan Kopp, Stacy Marsella und Kristinn R. Thórisson, editors, Intelligent Virtual Agents, Seiten 363–369, Berlin, Heidelberg, 2011. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-23974-8. URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-23974-8_39.
- Mohammad Obaid, Felix Kistler, Markus Häring, René Bühlung und Elisabeth André. A framework for user-defined body gestures to control a humanoid robot. International Journal of Social Robotics, 6(3):383–396, 2014.

- Mohammad Obaid, Felix Kistler, Gabrielé Kasparavičiūtė, Asim Evren Yantaç und Morten Fjeld. How would you gesture navigate a drone?: a user-centered approach to control a drone. In: Proceedings of the 20th International Academic Mindtrek Conference, Seiten 113–121. ACM, 2016a.
- Mohammad Obaid, Maha Salem, Micheline Ziadee, Halim Boukaram, Elena Molchanova und Majd Sakr. Investigating effects of professional status and ethnicity in human-agent interaction. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction, HAI '16, Seiten 179–186, New York, NY, USA, 2016b. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450345088. doi: 10.1145/2974804.2974813. URL <https://doi.org/10.1145/2974804.2974813>.
- Mohammad Obaid, Yuan Gao, Wolmet Barendregt und Ginevra Castellano. Exploring users' reactions towards tangible implicit probes for measuring human-robot engagement. In: Abderrahmane Kheddar, Eiichi Yoshida, Shuzhi Sam Ge, Kenji Suzuki, John-John Cabibihan, Friederike Eyssel und Hongsheng He, editors, Social Robotics, Seiten 402–412, Cham, 2017. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-70022-9.
- Mohammad Obaid, Ruth Aylett, Wolmet Barendregt, Christina Basedow, Lee J. Corrigan, Lynne Hall, Aidan Jones, Arvid Kappas, Dennis Küster, Ana Paiva, Fotios Papadopoulos, Sofia Serholt und Ginevra Castellano. Endowing a robotic tutor with empathic qualities: Design and pilot evaluation. International Journal of Humanoid Robotics, 15(06):1850025, 2018. doi: 10.1142/S0219843618500251. URL <https://doi.org/10.1142/S0219843618500251>.
- Shotaro Okajima, Fady S Alnajjar, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Álvaro Costa García, Yasuhisa Hasegawa und Shingo Shimoda. Grasptraining robot to activate neural control loop for reflex and experimental verification. In: The IEEE International conference on robotics and automation, Seiten 1849–1854. IEEE, 2018. URL <https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8461114>.
- Open Science Collaboration. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), 2015. ISSN 0036-8075. doi: 10.1126/science.aac4716. URL <https://science.scienmag.org/content/349/6251/aac4716>.
- Ayberk Özgür, Séverin Lemaignan, Wafa Johal, Maria Beltran, Manon Briod, Léa Pereyre, Francesco Mondada und Pierre Dillenbourg. Cellulo: Versatile handheld robots for education. In: Proceedings of the 12th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 119–127, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450343367. doi: 10.1145/2909824.3020247. URL <https://doi.org/10.1145/2909824.3020247>.
- Ana Paiva, Iolanda Leite und Tiago Ribeiro. Emotion modeling for social robots. In: Rafael Calvo, Sidney D'Mello, Jonathan Gratch und Arvid Kappas, editors, *The Oxford handbook of affective computing*, Seiten 296–308. Oxford University Press, 2014. doi: 10.1093/oxfordhb/9780199942237.013.029.
- Ana Paiva, Iolanda Leite, Hana Boukricha und Ipke Wachsmuth. Empathy in Virtual Agents and Robots: A Survey. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 7(3), September 2017. ISSN 2160-6455. doi: 10.1145/2912150. URL <https://doi.org/10.1145/2912150>.
- Seymour Papert. *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. Basic Book, New York, 1980.
- Robert Ezra Park. The concept of social distance as applied to the study of racial attitudes and racial relations. *Journal of Applied Sociology*, 8: 339–344, 1924.
- Bjarke Kristian Maigaard Kjær Pedersen, Jørgen Christian Larsen und Jacob Nielsen. The effect of commercially available educational robotics: A systematic review. In: Munir Merdan, Wilfried Lepuschitz, Gottfried Koppensteiner, Richard Balogh und David Obdržálek, editors, *Robotics in Education*, Seiten 14–27, Cham, 2020. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-26945-6. doi: 10.1007/978-3-030-26945-6_2. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-26945-6_2.
- Josef Perner und Heinz Wimmer. “john thinks that mary thinks that ...” attribution of second-order beliefs by 5-to 10-year-old children. *Journal of experimental child psychology*, 39(3):437–471, 1985.
- Denis Phillips und Jonas F Soltis. *Perspectives on learning*. Teachers College Press, New York, 2015.
- Jean Piaget. *The child's conception of the world* (j. tomlinson & a. tomlinson, trans.). St. Albans: Granada, 1929.
- Jean Piaget. *The language and thought of the child* (m. gabain, trans.). New York, 1959.
- David Premack und Guy Woodruff. Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and brain sciences*, 1(4):515–526, 1978.

- Irene Rae, Leila Takayama und Bilge Mutlu. The influence of height in robot-mediated communication. ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 1–8, 2013. ISSN 21672148. doi: 10.1109/HRI.2013.6483495.
- Natasha Randall. A survey of robot-assisted language learning (rall). ACM Transactions on Human-Robot Interaction, 9(1):1–36, 2019. doi: 10.1145/3345506. URL <https://doi.org/10.1145/3345506>.
- Byron Reeves und Clifford Ivar Nass. The media equation: How people treat computers, television und new media like real people and places. Cambridge university press, 1996.
- Natalia Reich und Friederike Eyssel. Attitudes towards service robots in domestic environments: The role of personality characteristics, individual interests und demographic variables. Journal of Behavioral Robotics, 2 (2):123–130, 2013. doi: doi:10.2478/pjbr-2013-0014.
- Natalia Reich-Stiebert. Acceptance and Applicability of Educational Robots. Evaluating Factors Contributing to a Successful Introduction of Social Robots into Education. PhD thesis, Universität Bielefeld, 2019. URL <urn:nbn:de:0070-pub-29366422>.
- Natalia Reich-Stiebert und Friederike Eyssel. Learning with educational companion robots? toward attitudes on education robots, predictors of attitudes und application potentials for education robots. International Journal of Social Robotics, 7(5):875–888, 2015. doi: 10.1007/s12369-015-0308-9. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-015-0308-9>.
- Natalia Reich-Stiebert und Friederike Eyssel. Robots in the classroom: What teachers think about teaching and learning with education robots. In: International Conference on Social Robotics, Seiten 671–680. Springer, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-47437-3_66. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-47437-3_66.
- Natalia Reich-Stiebert, Friederike Eyssel und Charlotte Hohnemann. Exploring university students' preferences for educational robot design by means of a user-centered design approach. International Journal of Social Robotics, Seiten 1–11, 2019. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00554-7>.
- Daniel Reisberg. The Oxford handbook of cognitive psychology. Oxford University Press, 2013. ISBN 978-0-19-537674-6.
- A Fernando Ribeiro und Gil Lopes. Learning robotics: a review. Current Robotics Reports, Seiten 1–11, 2020. doi: 10.1007/s43154-020-00002-9. URL <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00002-9>.
- Paul Ricoeur und Gwendoline Jarczyk. Soi-même comme un autre, 1991.
- Fanny Riedo, Philippe Réturnaz, Luc Bergeron, Nathalie Nyffeler und Francesco Mondada. A two years informal learning experience using the thymio robot. In: Advances in Autonomous Mini Robots, Seiten 37–48. Springer, 2012. doi: 10.1007/978-3-642-27482-4_7. URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-27482-4_7.
- Fanny Riedo, Morgane Chevalier, Stéphane Magnenat und Francesco Mondada. Thymio ii, a robot that grows wiser with children. In: The IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, Seiten 187–193. IEEE, 2013. URL <https://doi.org/10.1109/ARSO.2013.6705527>.
- Laurel D Riek. Wizard of oz studies in hri: a systematic review and new reporting guidelines. Journal of Human-Robot Interaction, 1(1):119–136, 2012.
- Nina Riether, Frank Hegel, Britta Wrede und Gernot Horstmann. Social facilitation with social robots? In The 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 41–47. IEEE, 2012. URL <https://doi.org/10.1145/2157689.2157697>.
- Giacomo Rizzolatti, Luciano Fadiga, Vittorio Gallese und Leonardo Fogassi. Premotor cortex and the recognition of motor actions. Cognitive brain research, 3(2):131–141, 1996.
- J Jill Rogers, Marylin Lisowski und Amy A Rogers. Girls, robots und science education. Science Scope, Seite 62, 2006.
- Barbara Rogoff. Cognition as a collaborative process. John Wiley & Sons Inc, New York, 1998.
- Raquel Ros, Elettra Oleari, Clara Pozzi, Francesca Sacchitelli, Daniele Baranzini, Anahita Bagherzadhalimi, Alberto Sanna und Yiannis Demiris. A Motivational Approach to Support Healthy Habits in Longterm Child-Robot Interaction. International Journal of Social Robotics, 2016. ISSN 1875-4791. doi: 10.1007/s12369-016-0356-9. URL <http://link.springer.com/10.1007/s12369-016-0356-9>.

- Evgenia Roussou und Maria Rangoussi. On the use of robotics for the development of computational thinking in kindergarten: Educational intervention and evaluation. In: Munir Merdan, Wilfried Lepuschitz, Gottfried Koppensteiner, Richard Balogh und David Obdržálek, editors, International Conference on Robotics and Education (RiE 2017), Seiten 31–44, Cham, 2019. Springer, Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-26945-6_3. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-26945-6_3.
- Martin Saerbeck, Tom Schut, Christoph Bartneck und Maddy D Janse. Expressive robots in education: varying the degree of social supportive behavior of a robotic tutor. In: Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems, Seiten 1613–1622, 2010. doi: 10.1145/1753326.1753567. URL <https://doi.org/10.1145/1753326.1753567>.
- Eduardo Benitez Sandoval, Omar Mubin und Mohammad Obaid. Human robot interaction and fiction: A contradiction. In: International Conference on Social Robotics, Seiten 54–63. Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-11973-1_6. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-11973-1_6.
- Beatriz Sousa Santos, Paulo Dias, Angela Pimentel, Jan-Willem Baggerman, Carlos Ferreira, Samuel Silva und Joaquim Madeira. Headmounted display versus desktop for 3d navigation in virtual reality: a user study. Multimedia tools and applications, 41(1):161, 2009. doi: 10.1007/s11042-008-0223-2. URL <https://doi.org/10.1007/s11042-008-0223-2>.
- Brian Scassellati, Henny Admoni und Maja Matarić. Robots for use in autism research. Annual review of biomedical engineering, 14:275–294, 2012. doi: annurev-bioeng-071811-150036. URL <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071811-150036>.
- B. R. Schadenberg, M. A. Neerincx, F. Cnossen und R. Looije. Personalising game difficulty to keep children motivated to play with a social robot: A bayesian approach. Cognitive Systems Research, 43:222–231, 2017. ISSN 1389-0417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2016.08.003>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389041716300523>.
- Matthias Scheutz. The inherent dangers of unidirectional emotional bonds between humans and social robots. In: Patrick Lin, Keith Abney und George A. Bekey, editors, Robot ethics: The ethical and social implications of robotics, Seite 205. MIT Press, 2011.
- Marc Schröder und Jürgen Trouvain. The german text-to-speech synthesis system mary: A tool for research, development and teaching. International Journal of Speech Technology, 6(4):365–377, 2003. doi: 10.1023/A:1025708916924. URL <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1025708916924>.
- Laura Scrpanti, Lorenzo Cesaretti, Laura Marchetti, Angelica Baione, IN Natalucci und David Scaradozzi. An educational robotics activity to promote gender equality in stem education. In: Procedings of the eighteenth International Conference on Information, Communication Technologies in Education (ICICTE 2018), Seiten 336–346, 2018.
- Lucia Seminara, Paolo Gastaldo, Simon J. Watt, Kenneth F. Valyear, Fernando Zuher und Fulvio Mastrogiovanni. Active haptic perception in robots: A review. Frontiers in Neurorobotics, 13:53, 2019. ISSN 16625218. doi: 10.3389/fnbot.2019.00053. URL <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnbot.2019.00053>.
- S. Serholt, C. A. Basedow, W. Barendregt und M. Obaid. Comparing a humanoid tutor to a human tutor delivering an instructional task to children. In: The 1 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Seiten 1134–1141. IEEE, Nov 2014. doi: 10.1109/HUMANOIDS.2014.7041511.
- Sofia Serholt. Breakdowns in children's interactions with a robotic tutor: A longitudinal study. Computers in Human Behavior, 81(December):250–264, 2018. ISSN 07475632. doi: 10.1016/j.chb.2017.12.030.
- Sofia Serholt, Wolmet Barendregt, Iolanda Leite, Helen Hastie, Aidan Jones, Ana Paiva, Asimina Vasalou und Ginevra Castellano. Teachers' views on the use of empathic robotic tutors in the classroom. In: The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 955–960. IEEE, 2014. doi: 10.1109/ROMAN.2014.6926376. URL <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2014.6926376>.
- Amanda JC Sharkey. Should we welcome robot teachers? Ethics and Information Technology, 18(4):283–297, 2016. URL <https://doi.org/10.1007/s10676-016-9387-z>.
- Noel Sharkey und Amanda Sharkey. The crying shame of robot nannies: An ethical appraisal. Interaction Studies, 11(2):161–190, 2010. ISSN 15720373. doi: <https://doi.org/10.1075/is.11.2.01sha>. URL <https://www.jbe-platform.com/content/journals/10.1075/is.11.2.01sha>.

- Solace Shen, Petr Slovak und Malte F Jung. "stop. i see a conflict happening." a robot mediator for young children's interpersonal conflict resolution. In: Proceedings of the 13th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 69–77, 2018.
- S Shepherd und M Cappuccio. Sociality, attention und the mind's eyes. Joint attention: New developments in, 2011.
- Richard M Shiffrin und Robert M Nosofsky. Seven plus or minus two: a commentary on capacity limitations. *Psychological Review*, 101(2):357–361, 1994.
- Namin Shin und Sangah Kim. Learning about, from und with robots: Students' perspectives. In: The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Seiten 1040–1045. IEEE, 2007. doi: 10.1109/ROMAN.2007.4415235. URL <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2007.4415235>.
- Elaine Short, Justin Hart, Michelle Vu und Brian Scassellati. No fair!! an interaction with a cheating robot. In: Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 219–226. IEEE, 2010. doi: 10.1109/HRI.2010.5453193. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5453193>.
- Bruno Siciliano und Oussama Khatib. Springer handbook of robotics. Springer, 2016. ISBN 978-3-540-23957-4.
- Burrhus Frederic Skinner. Science and human behavior. Simon and Schuster, 1965. 92904.
- Robert E Slavin. Research on cooperative learning and achievement: What we know, what we need to know. *Contemporary educational psychology*, 21(1):43–69, 1996. doi: 10.1006/ceps.1996.0004. URL <https://doi.org/10.1006/ceps.1996.0004>.
- Softbank Robotics. Softbank robotics documentation. <http://doc.aldebaran.com/2-8/index.html>, 2020. Accessed: 2020-02-02.
- Newton Spolaôr und Fabiane B Vavassori Benitti. Robotics applications grounded in learning theories on tertiary education: A systematic review. *Computers & Education*, 112:97–107, 2017. doi: 10.1016/j.compedu.2017.05.001. URL <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.05.001>.
- Grant Sputore. I Am Mother, 2019. URL <https://www.imdb.com/title/tt6292852/>.
- Jonathan Steuer. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, 42(4):73–93, 1992. doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x. URL <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>.
- Laurie Stevahn. Integrating conflict resolution training into the curriculum. *Theory into practice*, 43(1):50–58, 2004.
- Laurie Stevahn, David W Johnson, Roger T Johnson, Katie Oberle und Leslie Wahl. Effects of conflict resolution training integrated into a kindergarten curriculum. *Child development*, 71(3):772–784, 2000.
- Jeff Stone, Christian I Lynch, Mike Sjomeling und John M Darley. Stereotype threat effects on black and white athletic performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(6):1213, 1999. URL <https://doi.org/10.1037/0022-3514.77.6.1213>.
- Amanda Sullivan und Marina Umaschi Bers. Gender differences in kindergarteners' robotics and programming achievement. *International journal of technology and design education*, 23(3):691–702, 2013. doi: 10.1007/s10798-012-9210-z. URL <https://doi.org/10.1007/s10798-012-9210-z>.
- Fumihide Tanaka und Madhumita Ghosh. The implementation of carereceiving robot at an english learning school for children. In: Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '11, Seiten 265–266, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450305617. doi: 10.1145/1957656.1957763. URL <https://doi.org/10.1145/1957656.1957763>.
- Fumihide Tanaka, Toshimitsu Takahashi, Shizuko Matsuzoe, Nao Tazawa und Masahiko Morita. Telepresence robot helps children in communicating with teachers who speak a different language. In: Proceedings of the 9th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, Seiten 399–406. ACM, 2014. doi: 10.1145/2559636.2559654. URL <https://doi.org/10.1145/2559636.2559654>.
- Fumihide Tanaka, Kyosuke Isshiki, Fumiki Takahashi, Manabu Uekusa, Rumiko Sei und Kaname Hayashi. Pepper learns together with children: Development of an educational application. In: The 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), Seiten 270–275. IEEE-RAS, 2015.
- C.Tannenbaum, R.P.Ellis, F.Eyssel, J.Zou und L.Schiebinger. Sex and gender analysis improves science and engineering. *Nature*, 575:137–146, Nov 2019. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1657-6>. URL <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1657-6>.

- Serge Thill, Cristina A Pop, Tony Belpaeme, Tom Ziemke und Bram Vanderborght. Robot-assisted therapy for autism spectrum disorders with (partially) autonomous control: Challenges and outlook. *Paladyn*, 3(4):209–217, 2012. doi: 10.2478/s13230-013-0107-7. URL <https://doi.org/10.2478/s13230-013-0107-7>.
- Gary Thomas. *Education: A very short introduction*. Oxford University Press, Oxford, 2013.
- Lai Poh Emily Toh, Albert Causo, Pei-Wen Tzuo, I-Ming Chen und Song Huat Yeo. A review on the use of robots in education and young children. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(2):148–163, 2016. URL <https://www.jstor.org/stable/jedtechsoc.19.2.148>.
- Keith J Topping. Trends in peer learning. *Educational psychology*, 25(6): 631–645, 2005.
- Colwyn Trevarthen. Communication and cooperation in early infancy: A description of primary intersubjectivity. *Before speech: The beginning of interpersonal communication*, 1:530–571, 1979.
- Endel Tulving und Donald M Thomson. Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological review*, 80(5):352, 1973. doi: 10.1037/h0020071. URL <https://doi.org/10.1037/h0020071>.
- Shannon Vallor. *Technology and the virtues: A philosophical guide to a future worth wanting*. Oxford University Press, 2016.
- Kurt VanLehn. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems und other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4):197–221, 2011. doi: 10.1080/00461520.2011.611369. URL <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>.
- Viswanath Venkatesh und Hillol Bala. Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2):273–315, 2008. doi: 10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>.
- Samuele Vinanzi, Massimiliano Patacchiola, Antonio Chella und Angelo Cangelosi. Would a robot trust you? developmental robotics model of trust and theory of mind. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1771):20180032, 2019. doi: 10.1098/rstb.2018.0032. URL <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0032>.
- Alistair A Vogan, Fady Alnajjar, Munkhjargal Gochoo und Sumayya Khalid. Robots, ai und cognitive training in an era of mass age-related cognitive decline: A systematic review. *IEEE Access*, 8:18284–18304, 2020. URL <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966819>.
- P. Vogt, R. van den Berghe, M. de Haas, L. Hoffman, J. Kanero, E. Mamus, J. Montanier, C. Oranç, O. Oudgenoeg-Paz, D. H. García, F. Papadopoulos, T. Schodde, J. Verhagen, C. D. Wallbridge, B. Willemsen, J. de Wit, T. Belpaeme, T. Goksun, S. Kopp, E. Krahmer, A. C. Kuntay, P. Leseman und A. K. Pandey. Second language tutoring using social robots: A large-scale study. In: Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 497–505, March 2019. doi: 10.1109/HRI.2019.8673077. URL <http://dx.doi.org/10.1109/HRI.2019.8673077>.
- Paul Vogt, Rianne van den Berghe, Mirjam de Haas, Laura Hoffman, Junko Kanero, Ezgi Mamus, Jean-Marc Montanier, Cansu Oranç, Ora Oudgenoeg-Paz, Daniel Hernández García, et al. Second language tutoring using social robots: a large-scale study. In: Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Seiten 497–505. IEEE, 2019. URL <https://doi.org/10.1109/HRI.2019.8673077>.
- Anna-Lisa Vollmer, Robin Read, Dries Trippas und Tony Belpaeme. Children conform, adults resist: A robot group induced peer pressure on normative social conformity. *Science Robotics*, 3(21):eaat7111, 2018. doi: 10.1126/scirobotics.aat7111.
- Eleni Vrochidou, Aouatif Najoua, Chris Lytridis, Michail Salomidis, Vassilios Ferelis und George A Papakostas. Social robot nao as a self-regulating didactic mediator: a case study of teaching/learning numeracy. In: Proceedings of the 26th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), Seiten 1–5. IEEE, 2018. doi: 0.23919/SOFTCOM.2018.8555764. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/8555764>.
- Lev S. Vygotsky. Thought and language (Eugenia Hanfmann & Gertrude Vakar, translation). MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1962.
- LS Vygotsky. *Socio-cultural theory*. Mind in society, 1978.
- Ying Wang, Yun-Hee Park, Shoji Itakura, Annette Margaret Elizabeth Henderson, Takayuki Kanda, Naoki Furuhata und Hiroshi Ishiguro. Infants' perceptions of cooperation between a human and robot. *Infant and Child Development*, 29(2):e2161, 2020.
- Gerard Way und Gabriel Ba. *The Umbrella Academy*. Dark Horse Books, 2008. ISBN 9781593079789.

- Patrice L Tamar Weiss, Carolynn P Whiteley, Jutta Treviranus und Deborah I Fels. Pebbles: A personal technology for meeting educational, social and emotional needs of hospitalised children. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5(3):157–168, 2001. doi: 10.1007/s007790170006. URL <https://doi.org/10.1007/s007790170006>.
- Henry M Wellman. Theory of mind: The state of the art. *European Journal of Developmental Psychology*, 15(6):728–755, 2018.
- Henry M Wellman, David Cross und Julianne Watson. Meta-analysis of theory-of-mind development: The truth about false belief. *Child development*, 72(3):655–684, 2001.
- Fred A Westall, R Denis Johnston und Alwyn V Lewis. Speech technology for telecommunications. Springer US, 1998. ISBN 9780412790805.
- John White und John Gardner. The classroom x-factor: the power of body language and non-verbal communication in teaching. Routledge, 2013.
- William Wiersma. Research methods in education: An introduction (9th Edition). Pearson, 2008.
- Janie H Wilson und Lawrence Locker Jr. Immediacy scale represents four factors: Nonverbal and verbal components predict student outcomes. *The Journal of Classroom Interaction*, Seiten 4–10, 2007. URL www.jstor.org/stable/23869788.
- Karen Wilson und James H Korn. Attention during lectures: Beyond ten minutes. *Teaching of Psychology*, 34(2):85–89, 2007.
- Heinz Wimmer und Josef Perner. Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13(1):103–128, 1983.
- Jeannette M. Wing. Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3):33–35, mar 2006. ISSN 0001-0782. doi: 10.1145/1118178.1118215. URL <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>.
- Paul L Witt, Lawrence R Wheless und Mike Allen. A metaanalytical review of the relationship between teacher immediacy and student learning. *Communication Monographs*, 71(2):184–207, 2004. doi: 10.1080/036452042000228054. URL <https://doi.org/10.1080/036452042000228054>.
- David Wood und Heather Wood. Vygotsky, tutoring and learning. *Oxford review of Education*, 22(1):5–16, 1996. URL <https://doi.org/10.1080/0305498960220101>.
- Luke J. Wood, Abolfazl Zaraki, Ben Robins und Kerstin Dautenhahn. Developing kaspar: A humanoid robot for children with autism. *International Journal of Social Robotics*, Jul 2019. ISSN 1875-4805. doi: 10.1007/s12369-019-00563-6. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00563-6>.
- Rachel Wood, Paul Baxter und Tony Belpaeme. A Review of long-term memory in natural and synthetic systems. *Adaptive Behavior*, 20(2):81–103, 2012.
- Hsin-Kai Wu, Silvia Wen-Yu Lee, Hsin-Yi Chang und Jyh-Chong Liang. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, 62:41–49, 2013. URL <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>.
- Agnieszka Wykowska, Thierry Chaminade und Gordon Cheng. Embodied artificial agents for understanding human social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1693):20150375, 2016. doi: 10.1098/rstb.2015.0375. URL <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0375>.
- Satoshi Yamamoto, Toshiro Tetsui, Mitsuru Naganuma und Ryuhei Kimura. Trial of using robotic pet as human interface of multimedia education system for pre-school aged child in kindergarten. In: *Proceedings of the SICE-ICASE International Joint Conference*, Seiten 3398–3403, Oct 2006. doi: 10.1109/SICE.2006.315079. URL <http://dx.doi.org/10.1109/SICE.2006.315079>.
- Cristina Zaga, Manja Lohse, Khiet P. Truong und Vanessa Evers. The effect of a robot's social character on children's task engagement: Peer versus tutor. In: Adriana Tapus, Elisabeth André, Jean-Claude Martin, François Ferland und Mehdi Ammi, editors, *Social Robotics*, Seiten 704–713, Cham, 2015. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-25554-5.
- Dan Zahavi. Empathy, embodiment and interpersonal understanding: From lipps to schutz. *Inquiry*, 53(3):285–306, 2010. URL <https://doi.org/10.1080/00201741003784663>.
- Dan Zahavi. Empathy and mirroring: Husserl and gallesse. In: Roland Breeur und Ullrich Melle, editors, *Life, subjectivity & art*, Seiten 217–254. Springer Netherlands, Dordrecht, 2012. ISBN 978-94-007-2211-8. doi: 10.1007/978-94-007-2211-8_9. URL https://doi.org/10.1007/978-94-007-2211-8_9.

- Sabrina Zeaiter und Patrick Heinsch. Roboprax – teaching and learning with humanoid robots. In: 12th annual International Conference of Education, Research and Innovation, Seiten 918–925, 11 2019. doi: 10.21125/iceri.2019.0287.
- Li Zhang, Ming Jiang, Dewan Farid und M. A. Hossain. Intelligent facial emotion recognition and semantic-based topic detection for a humanoid robot. *Expert Systems with Applications*, 40(13):5160–5168, 2013. ISSN 0957-4174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.03.016>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413001668>.
- Mingshao Zhang, Pengji Duan, Zhou Zhang und Sven Esche. Development of telepresence teaching robots with social capabilities. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Band 52064, Seite V005T07A017. American Society of Mechanical Engineers, 2018. doi: 10.1115/IMECE2018-86686. URL <https://doi.org/10.1115/IMECE2018-86686>.
- Ning-Ning Zhou und Yu-Long Deng. Virtual reality: A state-of-the-art survey. *International Journal of Automation and Computing*, 6(4):319–325, 2009. doi: 10.1007/s11633-009-0319-9. URL <https://doi.org/10.1007/s11633-009-0319-9>.
- Jakub Zlotowski, Diane Proudfoot und Christoph Bartneck. More human than human: Does the uncanny curve really matter? In HRI2013 Workshop on Design of Humanlikeness in HRI from uncanny valley to minimal design, Seiten 7–13, 2013. URL <http://www.geminoid.jp/ws/Humanlikeness/index.php?plugin=attach&refer=Home&openfile=HL2013Proceedings.pdf>.
- Jakub Zlotowski, Hidenobu Sumioka, Shuichi Nishio, Dylan Glas, Christoph Bartneck und Hiroshi Ishiguro. Persistence of the uncanny valley: the influence of repeated interactions and a robot's attitude on its perception. *Frontiers in Psychology*, 6:883, 2015. ISSN 1664-1078. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00883. URL <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2015.00883>.
- Jakub Zlotowski, Kumar Yogeeswaran und Christoph Bartneck. Can we control it? autonomous robots threaten human identity, uniqueness, safety und resources. *International Journal of Human-Computer Studies*, 100:48–54, 2017. ISSN 1071-5819. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.12.008>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581916301768>.
- Jakub Zlotowski, Hidenobu Suminokar, Shuichi Nishio, C. Bartneck, Friederike Eyssel und Hiroshi Ishiguro. Model of dual anthropomorphism: The relationship between the media equation effect and implicit anthropomorphism. *International Journal Of Social Robotics*, 10(5):701–714, 2018. doi: 10.1007/s12369-018-0476-5.

Index

Symbolle

3D-Druck 83, 116
21st Century Skills 1

A

affektive Intelligenz 164
Aibo 8, 79
Akkommodation 18
Aktoren 51
Algorithmen 57, 64
ALIZ-E 136
Alter 47
Animismus 42
Anthropomorphismus 42
Anwendungen 127
Anwendungspakete 140
Äquivalenz 38
Asimov, Isaac 10
Assimilation 18
Assistent 102
Audio 61
Aufmerksamkeit 31
Aufmerksamkeitsgrad 63
Aufsichtsperson 105
Augen 62
Augmented Reality 3
Ausgabe 52, 60
Auswahl 113
autonomes Verhalten 8, 53
Autonomiestufen 53
Avatar-Robot-System 134

B

Batteriebetrieb 54
Baukästen 80
Beam 9
Behaviorismus 16
berufliche Weiterbildung 89
Berührung 59
Berührungssensoren 59
Bewertung 147
Bildungsroboter 6
Bindung 162
Blickverhalten 45
Blockly 77
Bobo 22
BuSaif 117

C

Cellulo 129
Charakterbildung 160
Choregraphe 64, 78, 124
Chunking 33
Classroom Application Package 103, 140
Cloud-Computing 91
Community 123
Computer Vision 57

D

Datenerhebung 175
Datenverarbeitung 52
Demografische Daten 46
Deontologie 157

Dequalifizierung 163
 Desozialisierung 163
 digitale Wende 2
 Digitalisierung 1
 Double 110

E

Einfühlungsvermögen 36
 Eingaben 51, 56
 einsatzbereite Roboter 78
 Elektronik 55
 Embodiment 39
 EMOTE 38, 132
 Emotionsdarstellung 44
 Emotionssynthese 44
 Empathie 36
 enaktives Wissen 16
 Entwicklung sozialer Fähigkeiten 133
 Entwicklungspsychologie 29, 50
 Entwicklungsumfeld 124
 Ethik 155
 Ethikvotum 179
 ethische Bedenken 161
 Ethnizität 47
 exekutive Funktionen 34
 explizites Gedächtnis 33

F

Feedback 143
 Fernunterricht 109
 Fertigkeiten erlernen 130
 Flipped Classroom 124
 Forschungsmethoden 169
 Forschungsprozess 172
 Fremdsprachen-Tutoring 97

G

Gebrauchsvorbereitung 121
 Gedächtnis 32
 Geminoid 9
 Geschlecht 46
 Gesichtsausdrücke 44

Gesten 45
 Gruppenprozess-Reflexion 25

H

Handschriftenerkennung 68
 haptisches Feedback 61
 Hardware 54
 Hautleitfähigkeitssensor 59
 H.E.A.R.T. 144
 Hello Barbie 11
 humanoide Roboter 7, 52

I

IBM Watson 70
 Imitation 38
 implizites Gedächtnis 33
 informatisches Denken 76
 Infrarotsensoren 58
 Infrastruktur 118
 Inhibition 34
 Inkompatibilität 67
 inMoov 84
 Input 51, 56
 Installation 124
 Intentionsverständnis 39
 Interaktion 35
 Interaktionskontext 56
 Internetzugang 122
 Intersubjektivität 36

K

Kartierung 67
 KeepOn 106, 133
 Kodierungsspezifität 32
 Kognitionspsychologie 30
 Kognitionswissenschaft 30
 kognitive Flexibilität 35
 kognitive Grundlagen 30
 kognitive Spiegelung 134
 Kognitivismus 17
 kollaboratives Lernen 24
 Kommunikationsinfrastruktur 65

Kommunikationsmuster 95
 Konfliktlösung 105
 Konsequentialismus 157
 Konstruktion 80
 Konstruktionismus 20
 Konstruktivismus 17
 kooperatives Lernen 24
 Koppelnavigation 68
 Körperhaltung 45
 Korrelationsanalysen 175
 Kosten 116
 künstliche Intelligenz 68
 Kurzzeitgedächtnis 33

L

L2TOR 23, 97
 Längsschnittstudien 170
 Langzeitgedächtnis 32
 Laufzeit 122
 Lautsprecher 61
 Learning-by-Doing 75
 Learn through Play 130
 Leasing 116
 LEGO Mindstorms 6, 20, 64 f., 78, 81, 87, 92, 130
 Lehrersatz 112
 Lehrplan 89
 Lehrvideos 123
 Lernanalytik 108, 143
 Lernbegleiter 6
 Lernberater 108
 Lernmanagementsystem 3
 Lerntheorien 15
 Linienfolger 91
 Logo 20, 73
 Logo Brick 6
 Lokalisierung 67

M

Makerspace 118
 MaryTTS 57
 maschinelles Lernen 69
 Maschinenbau 78

Massive-Open-Online-Kurse 3
 mBot 82
 Mediator 105
 menschenähnliche Merkmale 43
 menschliches Lernen 30
 Mensch-Roboter-Interaktion 94
 Mensch-Roboter-Interaktionsforschung 148
 Middleware 65
 Mikrocontroller 54
 Mikrophon 56
 MINT 74, 128
 Mobilität 60
 Modelllernen 22
 MOOC 3
 Moravec-Paradoxon 111
 Morphologie 51
 Motor 54, 60
 mTiny 80
 Multi-Store-Modell 32

N

Nachahmung 22, 38
 Näherungssensoren 58
 NAO 7, 48, 56 ff., 62 ff., 67, 78, 86, 92, 98, 102, 114, 132
 nonverbale Kommunikation 44
 Novize 101
 Nutzergruppe 113

O

Odometrie 68
 Offline-Lernen 70
 Online-Lernen 3, 70
 Opsoro 91
 Output 52, 60
 Ozobot 1, 80

P

Pareidolie 43
 Peer 99

Pepper 1, 7, 56 ff., 62 ff., 78, 103, 108, 114, 119, 124
 Personalisierung des Sozialverhal- tens 96
 physiologische Sensoren 59
 physische Interaktion 61
 Präsenzunterricht 3
 Präzisionsunterricht 16
 Privatsphäre 166
 problembasiertes Lernen 26
 Programmieren lernen 130
 Programmierung 64, 76, 85
 projektbasiertes Lernen 26
 Protegé-Effekt 101
 Proxemik 45
 Prüfer 104
 Prüfinstanz 142

Q

Q-Sensor 60

R

Raspberry Pi 6, 66, 81 ff.
 Rechenleistung 55
 Red Brick 6
 Rehabilitation 133
 Replikationskrise 172
 RoboBase 124
 RoboPraX 123, 132
 Roboterprogrammierung 122
 Roboterrollen 94
 Robotertypen 52
 Roboterunterstütztes Sprachenler- nen 137
 Robotikweiterbildung 89
 Robot Operating System (ROS) 83
 Robovie 49
 ROILA 26

S

Science-Fiction 10
 Scratch 77

Sensoren 51, 56
 sensorisches Gedächtnis 33
 Simulation 86
 Software 85
 Sonarsensoren 58
 soziale Akteure 5
 soziale Interaktionspartner 27
 soziale Interdependenz 25
 soziale Kognition 35
 soziale Roboter 48, 91 ff.
 soziales Lernen 22
 sozial-kognitive Grundlagen 35
 Sozialkonstruktivismus 17
 Sozialpsychologie 29
 Spiegelneuronen 38
 Spracherkennung 56
 Sprachsynthese 57
 Sprachverarbeitung 56, 66
 Sprachverstärkung 121
 stellvertretendes Lernen 22
 Steuerung 54
 Stromversorgung 54
 Studien 170
 synthetische Stimme 61

T

Technologieakzeptanz 147
 Teleoperation 53
 Telepräsenz 109
 Telepräsenzroboter 9
 Testumgebung 118
 Text-to-Speech-System 57
 Theory of Mind 40
 Thymio 129
 Tiefenwahrnehmung 57
 ToM 40
 Transport 119
 Tugendethik 158
 tugendhafte Robotik 160
 Tugendkultivierung 160
 TurtleBot 83
 Tutor 95
 Tutoring 23

U

Uncanny Valley 43
Unterrichtsinhalt 74

V

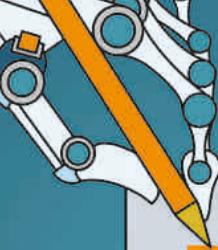
Verarbeitungssoftware 63
Verhalten 94
Verhaltensänderung 136
Verhaltensintention 148
Verhaltenskontrolle 148
Verkörperung 93
Versicherung 118
Vertrauen 88
Virtual Reality 3
visuelle Programmierung 77

W

Wartung 117
WeGoSTEM 74
Werkzeug 5, 73
Wettbewerbe 87
Wirksamkeit 90
Wissen aufbauen 128
Wizard-of-Oz-Methode 8, 178

Z

Zone of Proximal Development, ZPD 18
zoomorphe Roboter 8, 52



Der Bildungsbereich verändert sich durch die Einführung digitaler Technologien. Roboter sind die Brücke zwischen der digitalen und der physischen Welt und daher ein wesentliches Thema in der Bildung. Dies hat einen direkten Einfluss darauf, wie und was wir den Lernenden beibringen.

Dieses Buch bietet eine Einführung für den Einsatz von Robotern in der Bildung:

- › Grundlagen der Robotik und unterstützende Technologien für ihre Bereitstellung,
- › Beziehungen von Schülern und Lehrern gegenüber Robotern,
- › ethische Auswirkungen der Einführung von Robotern auf das Bildungswesen,
- › Untersuchung verschiedener Anwendungsszenarien,
- › relevante Forschungsmethoden für die Erweiterung unseres Wissens über Roboter in der Bildung.

Das Buch hilft Forschern, geeignete Soft- und Hardware zu entwickeln. Lehrer und Trainer erfahren, wie sie Roboter in ihrer Arbeit mit Schülern und Studenten einsetzen können. Es bietet eine Einführung in die einschlägigen Lehr- und Lerntheorien im Zusammenhang mit dem veränderten Lernen sowie praktische Ratschläge zum Einsatz von Robotern als Teil eines Lehrplans.



€ 29,99 [D] | € 30,90 [A]

ISBN 978-3-446-46695-1



9 783446 466951