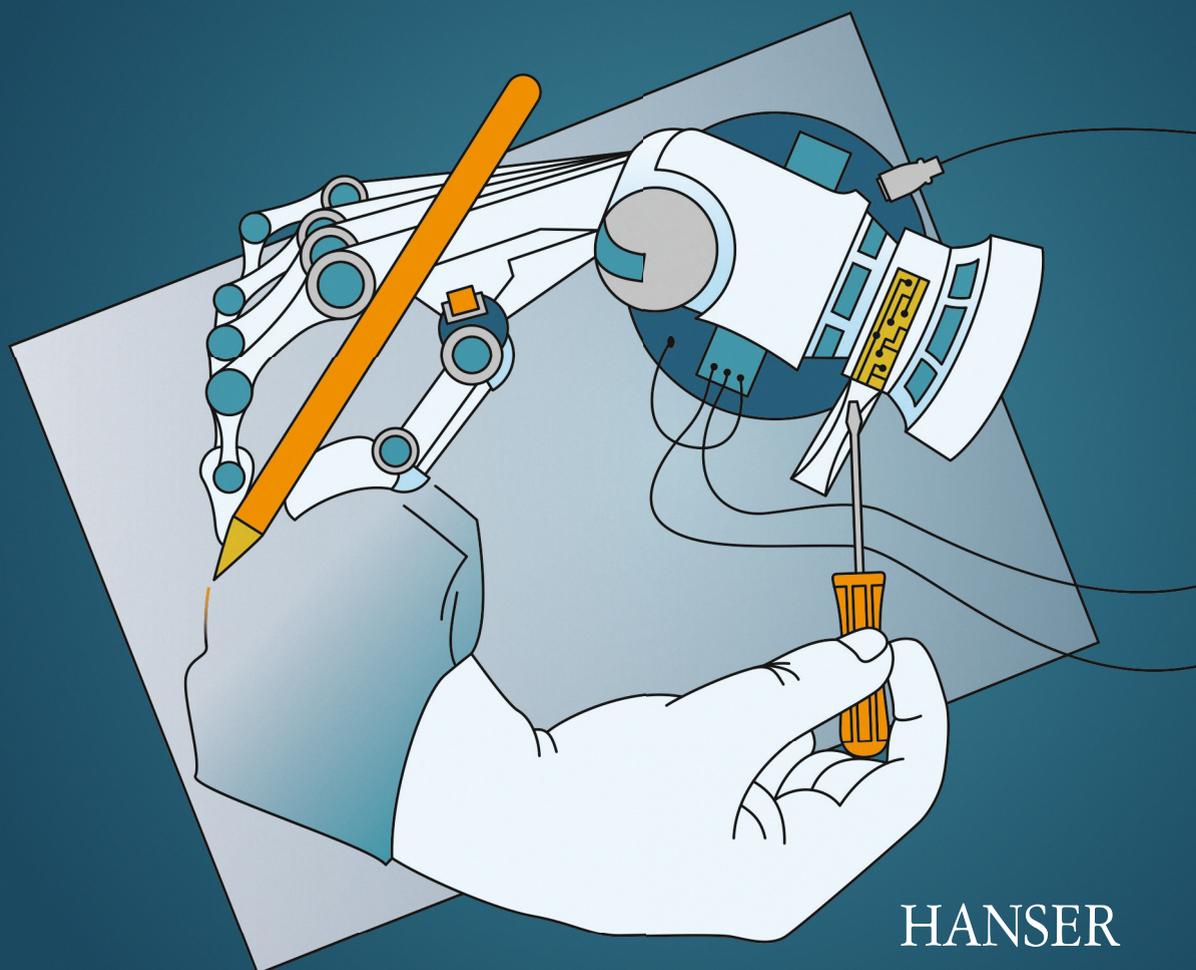


- › F. Alnajjar
- › T. Belpaeme
- › F. Eyszel
- › M. Obaid
- › C. Bartneck
- › M. Cappuccio
- › J. Handke
- › N. Reich-Stiebert
- › P. Baxter
- › C. Di Dio
- › O. Mubin

ROBOTER IN DER BILDUNG

Wie Robotik das Lernen im
digitalen Zeitalter bereichern kann



HANSER

Alnajjar / Bartneck / Baxter / Belpaeme / Cappuccio / Dio / Eyszel /
Handke / Mubin / Obaid / Reich-Stiebert

Roboter in der Bildung



Blieben 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. Cappuccio

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

HANSER

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 Eyszel, 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 dürften.

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	Beruhungssensoren	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 Pokémon 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 Betroffenen 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 Präsenzunterrichtsphase, 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 begehbare 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* (HDM, 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 inhaltsspezifische, 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.

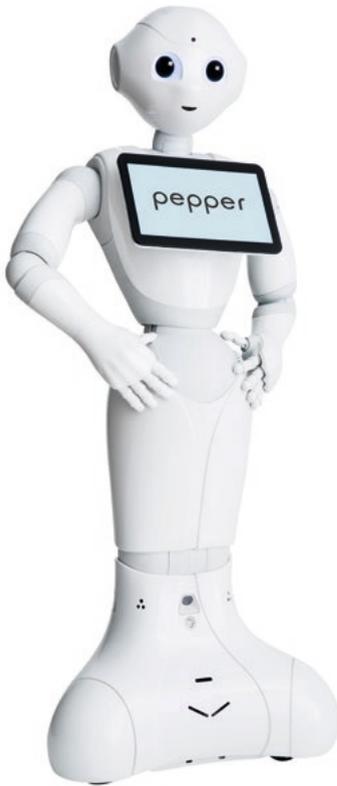


Bild 1.3

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 porträtieren, 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