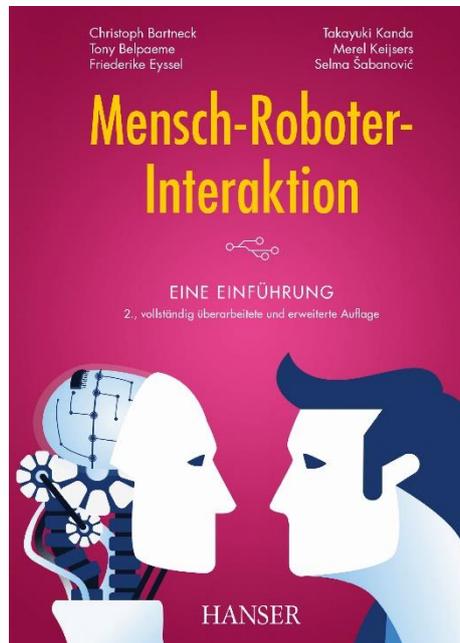


HANSER



Leseprobe

zu

Mensch-Roboter-Interaktion

von Christoph Bartneck, Tony Belpaeme, Friederike Eyszel, Takayuki Kanda, Merel Keijsers und Selma Šabanović

Print-ISBN: 978-3-446-47768-1

E-Book-ISBN: 978-3-446-47859-6

Epub-ISBN: 978-3-446-48132-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446477681>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Die Rolle von Robotern in der Gesellschaft erweitert und verändert sich ständig und bringt eine Reihe von Fragen zu der Beziehung zwischen Roboter und Mensch mit sich. Diese Einführung in die Mensch-Roboter-Interaktion (Human-Robot Interaction, HRI), die von führenden Forschern auf diesem sich entwickelnden Gebiet verfasst wurde, ist die erste, die einen breiten Überblick über die multidisziplinären Themen bietet, die für die moderne HRI-Forschung von zentraler Bedeutung sind. Studenten und Forscher aus den Bereichen Robotik, künstliche Intelligenz, Psychologie, Soziologie und Design finden darin einen prägnanten und zugänglichen Leitfaden zum aktuellen Stand des Fachgebiets.

Das vorliegende Buch wurde für Studierende mit unterschiedlichem Vorwissen geschrieben. Es stellt relevante Hintergrundkonzepte vor, beschreibt, wie Roboter funktionieren, wie sie entworfen werden und wie ihre Leistung bewertet werden kann. In eigenständigen Kapiteln wird ein breites Spektrum von Themen diskutiert, darunter die verschiedenen Kommunikationsmodalitäten wie Sprache und Sprechen, nonverbale Kommunikation und die Verarbeitung von Emotionen sowie ethische Fragen rund um den Einsatz von Robotern heute und im Kontext unserer zukünftigen Gesellschaft.

Anmerkungen zur zweiten Auflage

Wie viele andere Bereiche mit Bezug zu neuen Technologien, verändert und entwickelt sich HRI weiter, während neue technologische Möglichkeiten für das Design und die Implementierung von Robotern und die Untersuchung von Menschen, die mit ihnen interagieren, verfügbar werden. Damit dieses Buch auch weiterhin relevant bleibt, haben wir es 2023 überarbeitet, um neue technische Möglichkeiten sowie neue theoretische und methodische Entwicklungen auf diesem Gebiet zu berücksichtigen. Zudem wollten wir mehr Diskussionen über Inklusion, gesellschaftliche Relevanz und Auswirkungen und ethische Überlegungen zu HRI in den ursprünglichen Text aufnehmen. Unsere erste Ausgabe konzentrierte sich weitgehend auf die soziale Robotik als Hauptbereich der HRI. Dabei vernachlässigten wir die Interaktionen zwischen Menschen und Robotern in Kontexten wie Fabri-

ken, in denen Menschen und Roboter bei der Erledigung verschiedener Aufgaben zusammenarbeiten, der Katastrophenhilfe, bei der Menschen mit mobilen und fliegenden Robotern interagieren, um Brände zu löschen oder Menschenleben zu retten, und sogar den Bereich autonomes Fahren. In dieser Version des Buches fassen wir unser Verständnis des sozialen Charakters der Mensch-Roboter-Interaktion neu, um die Mensch-Roboter-Interaktion und -Zusammenarbeit einzubeziehen, deren sozialer Charakter breiter gefasst ist: In gewissem Sinne können alle Roboter, die an der Seite von und mit Menschen arbeiten, als sozial verstanden werden, und alle Mensch-Roboter-Interaktionen können in den Anwendungsbereich der HRI-Forschung fallen. Ende 2022 bzw. Anfang 2023 arbeiteten wir sowohl bei persönlichen Treffen als auch aus der Ferne an der Aktualisierung des Textes und der im Buch bereitgestellten Lernübungen. Wir wünschen Ihnen viel Spaß mit den neuen Inhalten!

Christoph Bartneck

Tony Belpaeme

Friederike Eyssel

Takayuki Kanda

Merel Keijsers

Selma Šabanović

Inhalt

Vorwort	V
1 Einleitung	1
1.1 Über dieses Buch	1
1.2 Die Autor:innen	4
1.2.1 Christoph Bartneck	4
1.2.2 Tony Belpaeme	4
1.2.3 Friederike Eyssel	4
1.2.4 Takayuki Kanda	5
1.2.5 Merel Keijsers	5
1.2.6 Selma Šabanović	5
2 Was ist Mensch-Roboter-Interaktion?	7
2.1 Der Schwerpunkt dieses Buches	10
2.2 HRI als interdisziplinäres Unterfangen	11
2.3 Die Entwicklung von sozialen Robotern und HRI	14
2.4 Übungen	24
3 Wie ein Roboter funktioniert	27
3.1 Die Entstehung eines Roboters	28
3.2 Robotertypen	30
3.3 Systemarchitektur	33
3.3.1 Hardware-Ebenen	33
3.3.2 Software-Ebenen	34
3.4 Sensoren	34
3.4.1 Vision	35

3.4.2	Audio	38
3.4.3	Berührungssensoren	39
3.4.4	Andere Sensoren	40
3.5	Stellantriebe	41
3.5.1	Motoren	41
3.5.2	Pneumatische Antriebe	43
3.5.3	Lautsprecher	44
3.6	Middleware	44
3.6.1	Was ist eine Middleware?	44
3.6.2	Betriebssystem	46
3.7	Anwendungen	47
3.7.1	Verhaltensprogrammierung	50
3.7.2	Animationseditoren	53
3.8	Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen	54
3.8.1	Überwachtes Lernen	54
3.8.2	Computerbasiertes Sehen	61
3.8.3	Reinforcement Learning	62
3.8.4	Anpassung	63
3.9	Beschränkungen der Robotik für HRI	64
3.10	Schlussfolgerung	68
3.11	Übungen	69
4	Design	75
4.1	Gestaltung	78
4.1.1	Morphologie und Form des Roboters	78
4.1.2	Aktionspotenziale	80
4.1.3	Entwurfsmuster	81
4.1.4	Gestaltungsprinzipien für die Mensch-Roboter-Interaktion	82
4.2	Anthropomorphisierung	84
4.2.1	Zuschreibung menschenähnlicher Eigenschaften an Roboter ..	85
4.2.2	Design eines menschenähnlichen Erscheinungsbildes	89
4.3	Entwurfsmethoden	92
4.3.1	Technischer Designprozess	92

4.3.2	Nutzerzentrierter Entwurfsprozess	94
4.3.3	Partizipatives Design	96
4.4	Prototyping-Werkzeuge	98
4.5	Kultur im HRI-Design	99
4.6	Von Maschinen zu Menschen und dazwischen	101
4.7	Schlussfolgerung	104
4.8	Übungen	105
5	Interaktion im Raum	109
5.1	Nutzung des Raums in der menschlichen Interaktion	111
5.1.1	Proxemik	111
5.1.2	Dynamik der räumlichen Interaktion in der Gruppe	113
5.2	Räumliche Interaktion bei Robotern	115
5.2.1	Soziale Navigation	115
5.2.2	Sozialverträgliche Positionierung	117
5.2.3	Räumliche Dynamik der initiierten HRI	120
5.2.4	Informieren der Nutzer über die Absicht eines Roboters	122
5.3	Schlussfolgerung	123
5.4	Übungen	124
6	Nonverbale Interaktion	127
6.1	Funktionen von nonverbalen Hinweisen in der Interaktion	129
6.2	Arten der nonverbalen Interaktion	131
6.2.1	Blick und Augenbewegung	131
6.2.2	Gestik	134
6.2.3	Mimikry und Imitation	136
6.2.4	Berührung	138
6.2.5	Körperhaltung und Bewegung	141
6.2.6	Rhythmus und Zeitplanung der Interaktion	142
6.3	Nonverbale Interaktion bei Robotern	144
6.3.1	Verarbeitung von nonverbalen Hinweisreizen	144
6.3.2	Generieren von nonverbalen Hinweisen bei Robotern	145
6.4	Schlussfolgerung	147
6.5	Übungen	148

7	Verbale Interaktion	151
7.1	Verbale Interaktion von Mensch zu Mensch	152
7.1.1	Komponenten der Sprache	153
7.1.2	Geschriebener Text versus gesprochene Sprache	154
7.2	Spracherkennung	155
7.2.1	Grundlegende Prinzipien der Spracherkennung	156
7.2.2	Einschränkungen	158
7.2.3	Praktische Umsetzung	158
7.2.4	Erkennung der Sprechaktivität	160
7.3	Dialogmanagement	160
7.3.1	Den Sinn eines Textes herauslesen	160
7.3.2	Large Language Models	162
7.3.3	Dialogmanager	164
7.3.4	Chatbots	166
7.3.5	Praktische Umsetzung	168
7.4	Sprecherwechsel in der HRI	171
7.5	Sprachproduktion	172
7.5.1	Praktische Umsetzung	174
7.6	Schlussfolgerung	175
7.7	Übungen	176
8	Wie Menschen Roboter wahrnehmen	179
8.1	Eindrucksbildung	180
8.2	Anthropomorphismus	182
8.3	Messen von Anthropomorphisierung	186
8.3.1	Explizite Messungen	186
8.3.2	Implizite Maße	188
8.4	Auswirkungen von Anthropomorphismus	189
8.4.1	Vertrauen in Technologie	190
8.4.2	Akzeptanz von Robotern	191
8.4.3	(Un-)Wohlsein gegenüber Robotern	192
8.5	Schlussfolgerung	193
8.6	Übungen	194

9	Emotionen	197
9.1	Was sind Emotion, Stimmung und Affekt?	198
9.1.1	Emotion und Interaktion	199
9.1.2	Konzeptualisierung menschlicher Emotionen	199
9.2	Probleme der emotionalen Reaktionsfähigkeit	201
9.3	Emotionen und Roboter	203
9.3.1	Interaktionsstrategien	203
9.3.2	Wahrnehmung von Emotionen	204
9.3.3	Ausdruck von Emotionen	205
9.3.4	Emotionsmodelle	207
9.4	Herausforderungen bei affektiver HRI	209
9.5	Schlussfolgerung	211
9.6	Übungen	212
10	Forschungsmethoden	215
10.1	Definieren einer Forschungsfrage und eines Forschungsansatzes	217
10.1.1	Ist Ihre Forschung explorativ oder bestätigend?	218
10.1.2	Stellen Sie eine Korrelation oder eine Kausalität her?	220
10.2	Auswahl zwischen qualitativen, quantitativen und gemischten Methoden	222
10.2.1	Anwenderstudien	223
10.2.2	Umfrage-Studien	225
10.2.3	Systemevaluation	226
10.2.4	Beobachtungsstudien	227
10.2.5	Ethnografische Studien	229
10.2.6	Konversationsanalyse	231
10.2.7	Nutzerstudien mittels Crowdsourcing	231
10.2.8	Fallstudien	234
10.3	Auswahl von Forschungsteilnehmern und Studiendesigns	235
10.3.1	Die Repräsentativität Ihrer Stichprobe	235
10.3.2	Größe der Stichprobe	236

10.4	Den Kontext der Interaktion definieren	238
10.4.1	Setting der Studie	238
10.4.2	Zeitlicher Kontext der HRI	239
10.4.3	Soziale Ebenen der Interaktion in der HRI	239
10.5	Auswahl eines Roboters für Ihre Studie	242
10.6	Einrichten des Interaktionsmodus	243
10.6.1	Wizard-of-Oz-Technik	243
10.6.2	Reale versus simulierte Interaktion	244
10.7	Auswahl geeigneter Messinstrumente	245
10.8	Standards der statistischen Analyse	247
10.8.1	Statistiken sinnvoll nutzen	249
10.8.2	Bewährte Verfahrensweisen zur Problembewältigung bei klassischen statistischen Tests	252
10.9	Ethische Überlegungen bei HRI-Studien	254
10.10	Schlussfolgerung	256
10.11	Übungen	258
11	Anwendungen	263
11.1	Roboter im Kundenservice	266
11.1.1	Roboter als Ausstellungsführer	267
11.1.2	Roboter als Rezeptionisten	268
11.1.3	Roboter für Werbeaktionen	269
11.2	Roboter zum Lernen	270
11.3	Roboter zur Unterhaltung	271
11.3.1	Haustier- und Spielzeugroboter	271
11.3.2	Roboter für Ausstellungen	273
11.3.3	Roboter in der darstellenden Kunst	273
11.3.4	Sexroboter	274
11.4	Roboter im Gesundheitswesen und in der Therapie	275
11.4.1	Roboter für Senioren	276
11.4.2	Roboter für Menschen mit Autismus-Spektrum-Störungen	277
11.4.3	Roboter für die Rehabilitation	278
11.4.4	Roboter zur Unterstützung der psychischen Gesundheit	279

11.5	Roboter als persönliche Assistenten	280
11.6	Serviceroboter	281
11.6.1	Reinigungsroboter	281
11.6.2	Lieferroboter	282
11.7	Sicherheitsroboter	283
11.8	Kollaborative Roboter	285
11.9	Selbstfahrende Autos	286
11.10	Ferngesteuerte Roboter	291
11.10.1	Anwendungen von ferngesteuerten Robotern	291
11.10.2	Mensch-Roboter-Teams	293
11.10.3	Telepräsenzroboter und Avatar-Roboter	294
11.11	Zukünftige Anwendungen	295
11.12	Probleme der Roboteranwendung	296
11.12.1	Öffentlichkeitsarbeit	296
11.12.2	Berücksichtigung der Nutzererwartungen	297
11.12.3	Abhängigkeit	298
11.12.4	Stehlen der Aufmerksamkeit	298
11.12.5	Verlust des Interesses durch den Nutzer	299
11.12.6	Ausnutzung und Missbrauch von Robotern	299
11.13	Schlussfolgerung	301
11.14	Übungen	302
12	Roboter in der Gesellschaft	305
12.1	Roboter in populären Medien	306
12.1.1	Roboter wollen Menschen sein	308
12.1.2	Roboter als Bedrohung für die Menschheit	309
12.1.3	Überlegene Roboter sind gut	311
12.1.4	Ähnlichkeit zwischen Menschen und Roboter	311
12.1.5	Narrative der Roboterwissenschaft	313
12.2	Ethik in der HRI	315
12.2.1	Roboter in der Forschung	316
12.2.2	Roboter zur Erfüllung emotionaler Bedürfnisse	317
12.2.3	Roboter am Arbeitsplatz	322

12.2.4	Ambivalente Einstellungen gegenüber Robotern	323
12.2.5	Eine vielfältigere und integrativere HRI	323
12.3	Schlussfolgerung	327
12.4	Übungen	329
13	Die Zukunft	333
13.1	Das Wesen der Mensch-Roboter-Beziehungen	336
13.2	Fortschritt in der HRI	338
13.3	Ausblick	339
13.4	Übungen	342
14	Antworten	345
15	Literaturverzeichnis	353
	Stichwortverzeichnis	397

1

Einleitung

■ 1.1 Über dieses Buch

Seit den 1950er-Jahren lag die Vorstellung von einem alltäglichen Zusammenleben von Mensch und Roboter immer etwa 10–20 Jahre in der Zukunft. Wahrscheinlich besteht diese Prognose auch zu dem Zeitpunkt, an dem Sie dieses Buch lesen. In den frühen 2020er-Jahren, in denen wir uns während des Verfassens dieses Buches befinden, sind Roboter in den Nachrichten, auf der Kinoleinwand und natürlich in der Science-Fiction-Literatur ein sehr präsent Thema. Inzwischen sind Roboter sogar in unserem täglichen Leben, auf den Straßen der Städte, in Klassenzimmern, Cafés und Restaurants oder in Hotels anzutreffen. Haben Sie schon einmal mit einem Roboter zu tun gehabt? Etwa mit einem Staubsaugerroboter? Einem Roboterspielzeug, -haustier oder -gefährten? Wenn nicht, werden Sie dies höchstwahrscheinlich bald tun. Technologieunternehmen haben das Potenzial von persönlichen Robotern bereits im Blick, und sowohl Start-ups als auch große multinationale Unternehmen bereiten sich auf die Entwicklung heiß begehrter Roboter vor. Allerdings wird es wohl noch eine ganze Weile dauern, bis Ihr treuer Roboter-Butler Ihnen das Frühstück ans Bett bringen wird. Einer der Gründe dafür ist, dass sich die Entwicklung von Robotern, die über einen längeren Zeitraum hinweg dynamisch mit unterschiedlichen Nutzern interagieren können, als schwieriger als ursprünglich angenommen erwiesen hat. Robuste Mensch-Roboter-Interaktion (Human-Robot Interaction, HRI) ist schwierig zu entwerfen und umzusetzen.

Wie wird sich dieser Forschungsbereich weiterentwickeln? Wie wird – und wie sollte – unsere Zukunft mit Robotern aussehen? Wie werden sich Roboter künftig in unser Leben einfügen? All diese Fragen sind noch offen. Es gibt eine Reihe noch unbekannter, aber spannender Zukunftsszenarien, in denen Roboter uns unterstützen, mit uns zusammenarbeiten, uns transportieren oder uns unterhalten. Da Sie dieses Buch in die Hand genommen haben, sollten Sie neugierig darauf sein, was diese Zukunft mit sich bringen könnte. Vielleicht möchten Sie sogar selbst einen Beitrag an der Gestaltung von zukünftigen Interaktionen mit Robotern leisten.

Dafür kommt es zunächst einmal auf Sie selbst an: Was für einen Bildungshintergrund haben Sie? Rührt Ihre Neugierde für Roboter aus einem Interesse an Technik, Psychologie, Kunst oder Design? Oder haben Sie dieses Buch aufgeschlagen, weil es Ihre kindliche Faszination für Roboter neu entfacht hat? HRI ist das Bestreben, Ideen aus einer Vielzahl von Disziplinen zusammenzubringen. Einflüsse aus Technik, Informatik, Robotik, Psychologie, Linguistik, Soziologie und Design tragen ein Stück dazu bei, wie wir mit Robotern interagieren. Somit liegt HRI am Schnittpunkt dieser Disziplinen. So zahlt es sich als Informatiker aus, sich auch in Sozialpsychologie auszukennen; als Designer, profitiert man durch Kenntnisse in Soziologie.

Falls Sie einen technischen Hintergrund haben, glauben Sie, einen Roboter bauen zu können, der mit Menschen interagieren kann, indem Sie dafür nur mit anderen Ingenieuren zusammenarbeiten? Wir sind leider der Meinung, dass Sie dazu nicht in der Lage sein werden. Um Roboter zu entwerfen, mit denen Menschen interagieren wollen, benötigt man ein gutes Verständnis menschlicher sozialer Interaktionen. Um dieses Verständnis zu erlangen, braucht man Einblicke von Menschen, die in den Sozial- und Geisteswissenschaften ausgebildet wurden.

Sind Sie Designer? Denken Sie, dass Sie einen sozial interaktiven Roboter entwerfen können, ohne mit Ingenieuren und Psychologen zusammenzuarbeiten? Die Erwartungen der Menschen an Roboter und ihre Rolle im Alltag sind nicht nur hoch, sondern auch von Mensch zu Mensch sehr unterschiedlich. Manche Menschen wünschen sich einen Roboter, der für sie kocht, andere wünschen sich einen Roboter, der ihre Hausaufgaben macht und im Anschluss eine intellektuelle Unterhaltung über den neuesten Star Wars-Film führt. Die Fähigkeiten von Robotern als Assistenten sind jedoch immer noch recht begrenzt. Moravecs Paradoxon gilt auch Jahrzehnte nach seiner ersten Äußerung noch: Alles, was Menschen schwerfällt, ist für Maschinen relativ einfach, und alles, was ein kleines Kind kann, ist für eine Maschine fast unmöglich. Als Designer braucht man also ein gutes Verständnis der technischen Möglichkeiten, von der menschlichen Psychologie und von Soziologie, um einen Entwurf eines Roboters auszuarbeiten, der praktisch umsetzbar ist.

Und nicht zuletzt, diejenigen von Ihnen, die in Psychologie und Soziologie geschult sind, wollen Sie einfach nur darauf warten, dass eben beschriebene Arten von Robotern in unserer Gesellschaft auftauchen? Wäre es nicht bereits zu spät, sich erst dann mit Robotertechnologien zu befassen, wenn diese schon Teil unseres Alltags sind? Wollen Sie nicht Einfluss darauf nehmen, wie die Roboter aussehen und interagieren? Was Sie schon jetzt tun können, ist mit befreundeten Ingenieuren und Informatikern zu sprechen oder mit einem Designer Mittagessen zu gehen. Dadurch können Ihre sozialwissenschaftlichen Ideen auf dem, was technisch möglich ist, aufgebaut werden und Ihnen dabei helfen, die Bereiche zu finden, in denen Ihr Wissen den größten Einfluss haben kann.

Genau wie wir sechs Autoren dieses Buches, werden auch Sie alle zusammenarbeiten müssen. Um dabei effektiv zu sein, müssen Sie die Perspektiven von HRI-Fachleuten aus verschiedenen Disziplinen verstehen und sich des unterschiedlichen Fachwissens bewusst sein, das es für die Entwicklung erfolgreicher HRI-Projekte braucht. In diesem Buch möchten wir Ihnen einen breiten Überblick über zentrale HRI-Themen geben und Sie dazu anregen, darüber nachzudenken, wie Sie zu diesen Themen beitragen können. Wir möchten, dass Sie gemeinsam mit uns die Grenzen des Bekannten und Möglichen erweitern. Die Technologie ist inzwischen so weit fortgeschritten, dass es möglich ist, mit geringem Kostenaufwand seinen eigenen Roboter zu bauen und zu programmieren. Roboter werden Teil unserer Zukunft sein, also nutzen Sie Ihre Chance, sie zu gestalten.

Das Autorenteam besteht aus einer Gruppe von weltweit führenden Experten aus dem breiten Spektrum der Disziplinen, die zur HRI beitragen. Unser aller Herz schlägt für die Verbesserung der Interaktion zwischen Menschen und Robotern. Darüber hinaus wollen wir sicherstellen, dass Roboter auf eine der Gesellschaft und den Menschen, die sie nutzen und durch sie beeinflusst werden, dienliche Art eingesetzt werden.



Bild 1.1 Die Autoren dieses Buches trafen sich im Januar 2018 in Westport, Neuseeland, um das Manuskript während eines einwöchigen „Buchsprints“ zu beginnen. Das Schreiben und Redigieren wurde in den folgenden anderthalb Jahren durch Zusammenarbeit aus der Ferne fortgesetzt mit vielen langen Videokonferenzen und zahlreichen E-Mails.

■ 1.2 Die Autor:innen

1.2.1 Christoph Bartneck

Christoph Bartneck ist Professor im Fachbereich Informatik und Softwaretechnik an der Universität Canterbury, Neuseeland. Er hat einen Werdegang in Industriedesign und Mensch-Computer-Interaktion. Seine Projekte und Studien werden in führenden Zeitschriften, Zeitungen und Konferenzen veröffentlicht. Seine Interessen liegen in den Bereichen Mensch-Computer Interaktion, Naturwissenschaft und Technologie, sowie visuelles Design. Insbesondere beschäftigt Christoph sich mit den Auswirkungen von Anthropomorphismus auf HRI. Als sekundäres Forschungsinteresse arbeitet er an Projekten im Bereich der Sporttechnologie und der kritischen Untersuchung von Prozessen und Richtlinien in der Wissenschaft. Im Bereich Design beschäftigt sich Christoph mit der Geschichte des Produktdesigns, Mosaiken und Fotografie.

1.2.2 Tony Belpaeme

Tony Belpaeme ist Professor an der Universität Gent, Belgien, und war zuvor Professor für Robotik und kognitive Systeme an der Universität Plymouth, Großbritannien. Er promovierte in künstlicher Intelligenz an der Vrije Universiteit Brussel (VUB). Ausgehend von der Prämisse, dass Intelligenz in sozialer Interaktion verwurzelt ist, versuchen Tony und sein Forschungsteam, die künstliche Intelligenz sozialer Roboter zu fördern. Dieser Ansatz führt zu einer Reihe an Ergebnissen, die von theoretischen Erkenntnissen bis zu praktischen Anwendungen reicht. Er ist an groß angelegten Projekten beteiligt, in denen untersucht wird, wie Roboter zur Unterstützung von Kindern in der Bildung eingesetzt werden können. Er untersucht, wie kurze Interaktionen mit Robotern zu langfristigen werden können und wie Roboter in der Therapie eingesetzt werden können.

1.2.3 Friederike Eyssel

Friederike Eyssel ist Professorin für Angewandte Sozialpsychologie und Geschlechterforschung am Zentrum für Kognitive Interaktionstechnologie der Universität Bielefeld. Friederike interessiert sich für verschiedene Forschungsthemen, die von sozialer Robotik, sozialen Agenten und Ambient Intelligenz bis hin zu Einstellungsänderungen, Vorurteilsabbau und der sexuellen Objektivierung von Frauen reichen. Friederike hat zahlreiche Publikationen in den Bereichen Sozialpsychologie, Human-Agent Interaction (HAI) und soziale Robotik veröffentlicht.

1.2.4 Takayuki Kanda

Takayuki Kanda ist Professor für Informatik an der Universität Kyoto, Japan. Außerdem ist er Gastgruppenleiter bei Advanced Telecommunications Research (ATR), Interaction Science Laboratories, Kyoto, Japan. Er erhielt seinen Bachelor in Ingenieurwesen, seinen Master in Ingenieurwesen und seinen Dokortitel in Informatik von der Universität Kyoto, in den Jahren 1998, 2000 bzw. 2003. Er ist eines der Gründungsmitglieder des Kommunikationsroboter-Projekts am Advanced Telecommunications Research (ATR) in Kyoto. Er hat den Kommunikationsroboter Robovie entwickelt und ihn in alltäglichen Situationen eingesetzt, z.B. als Nachhilfelehrer in einer Grundschule und Ausstellungsführer in einem Museum. Zu seinen Forschungsinteressen gehören Human Agent Interaction, interaktive humanoide Roboter und Feldversuche.

1.2.5 Merel Keijsers

Merel Keijsers ist Assistenzprofessorin für Psychologie an der John Cabot University in Rom. Sie hat einen Abschluss in Sozialpsychologie und Statistik und promovierte an der Universität Canterbury, über das Thema „Roboter-Mobbing“. In ihrer Doktorarbeit untersuchte sie, welche bewussten und unbewussten psychologischen Prozesse Menschen dazu veranlassen, Roboter zu missbrauchen und zu schikanieren. In jüngster Zeit interessiert sie sich dafür, wie Roboter beeinflussen, auf welche Art Menschen sich selbst sehen. Da sie aus dem Bereich der Sozialpsychologie kommt, interessiert sie sich vor allem für die Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Umgang von Menschen mit Robotern im Vergleich zu anderen Menschen.

1.2.6 Selma Šabanović

Selma Šabanović ist Professorin für Informatik und Kognitionswissenschaften an der Indiana University, Bloomington, USA, wo sie als Gründerin das R-House Human-Robot Interaction Lab leitet. Ihre Forschungsarbeit umfasst Studien zu Design, Nutzung und Folgen von sozial interaktiven und assistierenden Robotern in verschiedenen sozialen und kulturellen Kontexten, darunter Gesundheitseinrichtungen, Haushalten und verschiedene Länder. Sie befasst sich auch mit der kritischen Untersuchung der gesellschaftlichen Bedeutung und der potenziellen Auswirkungen der Entwicklung und des Einsatzes von Robotern in Kontext auf den Alltag. Sie promovierte 2007 in Wissenschafts- und Technologiestudien am Rensselaer Polytechnic Institute mit einer Dissertation über die kulturübergrei-

fende Untersuchung der sozialen Robotik in Japan und den Vereinigten Staaten. Von 2017 bis 2023 war sie Chefredakteurin der Zeitschrift *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*.

2

Was ist Mensch-Roboter-Interaktion?



Was in diesem Kapitel behandelt wird

- Akademische Disziplinen, die auf dem Gebiet der Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) zusammenkommen.
- Barrieren, die durch die unterschiedlichen Paradigmen der Disziplinen entstehen, und wie man sie umgehen kann.
- Geschichte und Entwicklung der HRI als Wissenschaft.
- Wegweisende Roboter in der Geschichte der HRI.

Die Interaktion zwischen Mensch und Roboter (Human-Robot Interaction, HRI) wird allgemein als ein neues und aufstrebendes Gebiet bezeichnet, die Idee der menschlichen Interaktion mit Robotern ist aber schon so alt wie die Idee der Roboter selbst. Isaac Asimov, der in den 1940er-Jahren den Begriff der „Robotik“ prägte, schrieb seine Geschichten um Fragen, welche die Beziehung zwischen Menschen und Robotern als Hauptteil der Analyse betrachten: „Wie sehr werden die Menschen Robotern vertrauen?“; „Welche Art von Beziehung kann ein Mensch zu einem Roboter haben?“; „Wie verändern sich unsere Vorstellungen davon, was menschlich ist, wenn wir Maschinen haben, die menschenähnliche Dinge in unserer Mitte tun?“ (siehe S. 315 für mehr über Asimov). Vor Jahrzehnten waren diese Ideen noch Science-Fiction, aber heute sind viele dieser Fragen real, in der heutigen Gesellschaft präsent und zu zentralen Forschungsfragen im Bereich der HRI geworden.

Dieses Kapitel soll den Rahmen für das vorliegende Buch abstecken. Da die HRI ein überaus vielfältiges Gebiet ist, werden in Abschnitt 2.1 die Hauptthemen dieses Buches hervorgehoben und erläutert. Abschnitt 2.2 befasst sich mit dem interdisziplinären Charakter dieses Fachgebiets und dessen Konsequenzen für die Forschung und das Roboterdesign. Schließlich bietet Abschnitt 2.3 einen zeitlichen Ablauf der Entwicklung von (sozialen) Robotern und liefert einen Überblick über die in der HRI am häufigsten eingesetzten Roboter.



Unterscheidung zwischen physischer und sozialer Interaktion

Die Robotik im Allgemeinen befasst sich traditionell mit der Entwicklung von physischen Robotern und der Art und Weise, wie diese Roboter die physische Welt beeinflussen. HRI ergänzt die Robotik und befasst sich mit der Vorgehensweise, wie Roboter mit Menschen als Teil ihrer sozialen Welt interagieren, und wie Menschen auf die Anwesenheit von Robotern reagieren. Wenn ein Roboter zum Beispiel eine Kiste in einem leeren Lagerhaus aufhebt oder ein Bürogebäude nach Feierabend reinigt, nimmt er die physische Welt wahr und handelt allein aufgrund der physikalischen Gegebenheiten seines eigenen Körpers und seiner Umgebung. Wenn der Roboter jedoch die Kiste zu einem Lagerarbeiter bringt, der sie mit den entsprechenden Materialien befüllen muss, oder einem Kunden in einem Café einen Kaffee serviert, oder mit Kindern in einem Innenhof Fangen spielt, muss er sich nicht nur mit den für diese Aktionen erforderlichen physischen Bewegungen auseinandersetzen, sondern auch mit den sozialen Aspekten seiner Umgebung. So muss er beispielsweise berücksichtigen, wo sich die Kinder, Kunden oder Büroangestellten aufhalten, wie er sich ihnen in einer Weise nähern kann, die sicher ist und die sie für angemessen halten, und wie er die entsprechenden sozialen Regeln der Interaktion befolgen kann. Solche sozialen Regeln, wie z. B. die Anwesenheit anderer anzuerkennen, oder zu wissen, wer bei einem Fangenspiel „dran“ ist, und mit „Gern geschehen“ zu antworten, wenn jemand „Danke“ sagt, mögen für Menschen selbstverständlich sein. Für einen Roboter sind all diese sozialen Regeln und Normen jedoch unbekannt und erfordern die Aufmerksamkeit des Roboterentwicklers. Dadurch werden in der HRI andere Fragen gestellt als in der Robotik.

Als Disziplin ist die HRI mit der Mensch-Computer-Interaktion (HCI), der Robotik, der künstlichen Intelligenz, der Technikphilosophie, der Psychologie und dem Design verbunden. Die in diesen Disziplinen sachkundigen Wissenschaftler haben gemeinsam an der Entwicklung von HRI gearbeitet und dabei Methoden und Strukturen aus ihren Heimatdisziplinen mitgebracht. Zudem haben sie neue Konzepte, Forschungsfragen und HRI-spezifische Wege zur Untersuchung und Entwicklung von Robotern, die mit Menschen interagieren, entwickelt.

Was macht HRI einzigartig? Im Mittelpunkt dieses Forschungsgebiets steht eindeutig die Interaktion von Menschen mit Robotern. Diese Interaktionen beinhalten in der Regel physisch verkörperte Roboter, und ihre Verkörperung unterscheidet sie von anderen Computertechnologien. Darüber hinaus werden soziale Roboter oft als soziale Akteure wahrgenommen, die eine kulturelle Bedeutung haben und einen starken Einfluss auf die heutige und zukünftige Gesellschaft ausüben. Wenn wir sagen, ein Roboter ist verkörpert, ist er kein Computer, der einfach auf Beinen oder Rädern steht. Stattdessen müssen wir verstehen, wie diese Verkörperung zu gestalten ist, sowohl in Bezug auf Software und Hardware, wie es in der Robotik üblich ist, als auch in Bezug auf ihre Auswirkung auf die Menschen und die Art von Interaktion, die sie mit einem solchen Roboter haben können.

Die Verkörperung eines Roboters setzt zwar physische Beschränkungen für die Art und Weise, wie er die Welt wahrnehmen und in ihr agieren kann, aber sie schafft auch Möglichkeiten für die Interaktion mit Menschen. Die physische Beschaffenheit des Roboters veranlasst Menschen dazu, auf ähnliche Weise auf den Roboter zu reagieren, wie sie mit Menschen interagieren. Wenn ein Roboter Augen hat, gehen die Menschen davon aus, dass der Roboter sie sehen kann. Wenn der Roboter einen Mund hat, wird davon ausgegangen, dass er sprechen kann. Menschen können durch Ähnlichkeit des Roboters zu ihnen, ihre Erfahrungen von zwischenmenschlicher Interaktion nutzen, um die Interaktion zwischen Mensch und Roboter zu verstehen und daran teilzunehmen. Diese Erfahrungen können sehr nützlich sein, um eine Interaktion zu gestalten, aber sie können auch zu Frustration führen, wenn der Roboter den Erwartungen der Nutzer nicht gerecht werden kann (dies wird in Kapitel 8 näher erläutert).

HRI konzentriert sich auf die Entwicklung von Robotern, die mit Menschen in verschiedenen Alltagsumgebungen interagieren können. Dies führt zu technischen Herausforderungen, die sich aus der Dynamik und Komplexität des Menschen und des sozialen Umfelds ergeben. Dadurch entstehen auch neue Herausforderungen für die Gestaltung des Aussehens, Verhaltens und der Wahrnehmungsfähigkeiten von Robotern, um die Interaktion anzuregen und zu steuern. Aus psychologischer Sicht bietet HRI die einzigartige Möglichkeit, menschliches Wirken, Wahrnehmungen und Verhalten zu untersuchen, wenn sie mit anderen sozialen Agenten als Menschen in Kontakt kommen. Soziale Roboter können in diesem Zusammenhang als Forschungsinstrumente für die Untersuchung psychologischer Mechanismen und Theorien dienen.

Schon bei der ersten Erwähnung des Begriffs „Roboter“ in Karel Čapeks Stück *Rossums Universal Robots* konzentrierte sich unsere Vision des idealen Roboters auf die Nachahmung menschenähnlicher Fähigkeiten, die oft durch eine humanoide Form repräsentiert werden, entweder als ganzer Körper wie bei Hondas Asimo (siehe Bild 2.1) oder in Teilen, wie bei den Roboterarmen oder ihrer eher anthropomorphen Darstellung bei den Sawyer-Robotern. Wenn wir uns den aktuellen Stand der Technik im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion ansehen, erkennen wir jedoch, dass die Verkörperungen von Robotern deutlich vielfältiger sind: Kugelförmige Roboter können herumrollen und mit Kindern interagieren (z. B. Sphero, Roball), Roboter können in der Luft fliegen (z. B. Drohnen), oder unter Wasser gehen (z. B. OceanOneK), Roboter, die Tiere imitieren und so tierähnliche Interaktionen mit Menschen fördern (z. B. Paro), oder sogar mit ihren biologischen Gegenständen in der Natur interagieren können (z. B. Eichhörnchen-Roboter) und Roboter, die wie Gegenstände (z. B. Koffer, Mülleimer, Kisten) oder alltägliche Geräte wie Busse und Autos sowie viele andere Formen aussehen. Das Spannende an der HRI ist, dass sie unsere Vorstellungen davon, wie Roboter und unsere Interaktionen mit ihnen aussehen könnten, über die bekannten anthropomorphen Vorstellungen hinaus erweitern kann.

**Bild 2.1**

Honda hat den Roboter Asimo von 2000 bis 2018 entwickelt (Quelle: Honda)

Wenn Roboter nicht nur Werkzeuge, sondern auch Co-Worker, Begleiter, Tutoren und andere Arten von sozialen Interaktionspartnern sind, wirft ihre Untersuchung und Gestaltung als Teil der HRI viele verschiedene Fragen über zwischenmenschliche Beziehungen und gesellschaftliche Entwicklung sowohl in der Gegenwart als auch in der Zukunft auf. Die HRI-Forschung befasst sich mit Fragen der sozialen und physischen Gestaltung von Technologien sowie mit der gesellschaftlichen und organisatorischen Umsetzung und der kulturellen Sinnggebung auf eine Art, die sich von verwandten Disziplinen unterscheidet.

■ 2.1 Der Schwerpunkt dieses Buches

HRI ist ein großes, multidisziplinäres Gebiet, und dieses Buch liefert einen ersten Einstieg in die damit verbundenen Probleme, Prozesse und Lösungen. Dieses Buch ermöglicht es dem Leser, sich einen Überblick über das Gebiet zu verschaffen, ohne von der Komplexität all der Herausforderungen, mit denen wir konfrontiert sind, überwältigt zu werden, auch wenn wir Hinweise auf einschlägige Literatur geben, die der interessierte Leser in Ruhe recherchieren kann. Dieses Buch bietet eine dringend benötigte Einführung in das Gebiet, mit dem Ziel, dass sich Studenten, Wissenschaftler, Praktiker und politische Entscheidungsträger mit der Zukunft der Interaktion zwischen Mensch und Technik vertraut machen können. Als

Stichwortverzeichnis

A

Abhängigkeit 298
Absichtserkennung 161f.
Adaption 63
Affekt 198
Affekterkennung 204
Agent, virtuell 32
Aibo 21, 51, 263
Aktionspotenziale 80
Aktuator 41
Akzeptanz 191
Android 31, 83
Animation-Framework 145
Animationseditor 53
animatronischer Roboter 273
Annäherungsverhalten 120
Anpassung 63
Anthropomorphisierung 84
– Kontext 91
– Messung 186
Anthropomorphismus 182
– Auswirkung 189
– psychologischer 182
Anwenderstudie 223
Anwendungen 263
Arduino 99
Asimo 77, 85, 135
Asimov, Isaac 7, 315
Asimovs Gesetze 315
Assistentenzroboter 276
Astro 21
atypische Sprache 158
Aufmerksamkeitsdiebstahl 298

Augenbewegung 131
Ausstellungsführer-Roboter 267
Automatic Speech Recognition 155
automatische Spracherkennung 58, 155
autonome Fahrzeuge 286
Avatar-Roboter 294

B

Batteriekapazität 66
Baxter 20, 91
BellaBot 283
Beobachtungsstudie 227
Berührung 138
Berührungssensor 39
Betriebssystem 46
Between-Subjects-Design 236
Bewegung 141
Bewegungsbahn 122
Blick 131
Blockly 50
Blossom 22
Buddy 281

C

Care-o-bot 267
Chamäleon-Effekt 137
Chatbot 166
ChatGPT 59, 167
Chinese-Room-Experiment 66
Choregraphie 50, 146
Cimon 335

Co-Bot 285
 computerbasiertes Sehen 61
 Computersehen 35
 Computer Vision 36, 61
 Confidence Interval 252
 Convolutional Neural Network 58
 Co-Speech-Geste 135
 Cozmo 20, 206
 Crowdsourcing 231
 Customization 64

D

Datensatz 55
 Debriefing 254
 Deep Learning 58
 Deep Neural Network 58
 Dehumanisierung 187
 Design 75
 – partizipatives 96
 Designentscheidung 95
 Designprozess
 – technisch 92
 Dialogmanagement 160, 164
 Dialogmanager 164
 Distanz 111
 Disziplin 11
 Drohnen 31
 Druckschalter 39

E

ehnografische Studie 229
 Eindrucksbildung 180
 Einsamkeit 337
 Einschränkungen 64
 elicited agent knowledge 183
 ElliQ 276
 Elvis 278
 Emotion 198
 Emotionsmodelle 207
 Empfangsroboter 268
 endliche Automaten 165
 Entwurfsmethoden 92
 Entwurfsmuster 81

Entwurfsprozess
 – nutzerzentriert 94
 Erscheinungsbild 79
 Erwartungsmanagement 203
 Ethik 315
 Eye-Tracking-Technologie 131

F

Facial Action Coding System 205
 Fahrerassistenztechnologie 286
 Fallstudie 234
 Feldstudie 238
 ferngesteuerte Roboter 291
 Ferninfrarotsensor 40
 Forschung
 – bestätigend 219
 – explorativ 218
 Forschungsansatz 217
 Forschungsfrage 217
 Forschungsinstrumente 242
 Forschungsmethoden 215
 Forschungsteilnehmer 235
 Frankenstein-Ansatz 76
 Frankenstein-Komplex 309
 Freiheitsgrad 41
 Funktionsweise 27
 Furby 31
 Furhat 32

G

Gazebo 51
 Geminoid 85
 Generierung von Gesten 145
 Gesellschaft 305
 Gesichtserkennung 61
 Gestaltungsprinzipien 82
 Gestik 134
 Gleichstromservomotor 41
 Godspeed-Fragebogen 187
 Gruppendynamik 114
 Gruppeninteraktion 241

H

Haltungsmerkmal 141
Handgesten 135
Haptic Creature 139
Hardware 33
Haru 87
Haushaltsassistent 280
Haustierroboter 271
Hawking, Stephen 338
Humanoiden 31

I

iCub 30, 39, 134, 188
Imitation 136
Inertial Measurement Unit 40
Infrahumanisierung 187
InMoov 22
integrative HRI 323
Interaction Composer 51
Interaktion 120
– mit Robotern 8
– nonverbal 127
– physische 8, 138
– reale 244
– simulierte 244
– soziale 8
– verbal 151
Interaktionsabstand 118
Interaktions-Dyade 239
Interaktionsmodus 243
intuitive Erwartung 181

J

Jibo 281
Joggobot 109

K

Kamera 35
Kaspar 202, 278
Kausalität 220
Keepon 18, 30, 79, 86

Kindchenschema 16
Kismet 15
Kiwi 278
Klassifizierung 57
Knightscope K5 284
Kokoro 85
kollaborative Roboter 285
Kommunikation 151
Kompetenzmotivation 182
Konfidenzintervalle 252
konstruierte Sprachen 159
Kontingenz 90
Konversationsanalyse 231
Konzeptualisierung menschlicher
 Emotionen 199
Körperhaltung 141
Korrelation 220
kultureller Einfluss 99
künstliche Intelligenz 54
künstliche Kognition 147
Kuri 263

L

Laborstudie 238
Lächelerkennung 204
Large Language Models 162
Laserentfernungsmesser 37
Lautsprecher 44
LEGO Mindstorms 98
lernfähiger Agent 270
Lichtsensoren 40
Lieferroboter 282
Light Detection and Ranging (LiDAR) 37
Likability 193
Little Bits 98
Lively 146
Lokalisierung 115

M

maschinelles Lernen 54
mediale Darstellung 306
Mensch-Computer-Interaktion 8
mensenähnliches Erscheinungsbild 89

Mensch-Roboter-Beziehung 336
 Mensch-Roboter-Interaktion 7
 Mensch-Roboter-Team 293
 Merkmal 56
 Microsoft Kinect One 37
 Midas-Effekt 138
 Middleware 44
 Mikrobewegung 142
 Mikrofon 38
 Mimik-Feedback-Hypothese 200
 Mimikry 136
 minimalistische Roboter 79
 Missbrauch 299
 Morphologie 32, 78
 Motor 41
 Mustererkennungstechnik 144
 Muu 79

N

Nabaztag 281
 Nachahmung 136, 203
 Nao 17, 86, 139, 142, 278
 Natural Language Processing 58
 Navigation 116
 Neuheitseffekt 239, 299
 nonverbale Hinweise 129
 nonverbale Interaktion 127
 Nullhypothesen-Signifikanztest 248
 Nutzererwartung 297
 Nutzerstudie 231
 nutzerzentriertes Design 94

O

OCC-Modell 207
 Öffentlichkeitsarbeit 296
 Ommie 279
 OriHime 295

P

Packbot 292
 PAD-Emotionsmodell 209
 Papero 277

Paradigma 12
 Pareidolie 84
 Paro 18, 30, 39, 77, 83, 18
 Pepper 17, 135, 139, 153
 Perspektivenübernahme 122
 p-Hacking 251
 Phonem 153
 Pirsig, Robert M. 103
 Pleo 272
 pneumatischer Antrieb 43
 Polizeirobter 285
 PR2-Roboter 38
 Projektionsroboter 32
 Prototyping 98
 Proxemik 111
 p-Wert 248

Q

Q-Lernen 63
 Qrio 263

R

Raspberry Pi 99
 räumliche Dynamik 113, 120
 räumliche Interaktion 109
 – bei Robotern 115
 Recurrent Neural Network 58
 Reinforcement Learning 62
 Reinigungsroboter 281
 RGB 35
 Robjekte 79
 Roboter 9, 14
 Robotercafés 266
 Roboter-PR 297
 Robotertypen 30
 RoboThespian 44
 Robotik 8
 Robot Operating System (ROS) 46
 Robovie 240
 Robovie-MR2 76
 Roomba 21, 42, 91, 281

S

Satisficing 94
Scratch 50
selbstfahrende Autos 286
Semantik 65
Sense-Plan-Act-Modell 48
Sensoren 34
Serviceroboter 266, 281
Sexroboter 274
Sicherheitsroboter 283
Smart-Home-Assistent 280
Snackbot 96
Software 34, 44
Softwarearchitektur 48
soziale Analyseeinheit 239
soziale Navigation 115
sozialer Roboter 15, 30
Sozialitätsmotivation 183
sozialverträgliche Positionierung 117
Speech-to-Text 155
Spielzeugroboter 271
Sprache 151
– Komponenten 153
Spracherkennung 155
Sprache-zu-Text 155
sprachgesteuerter Assistent 280
Sprachmodell 58, 162
Sprachproduktion 172
Sprachsynthese 172
Sprechaktivität 160
Sprechaktivitätserkennung 160
Sprecherwechsel 171
Standardabweichung 248
statistische Analyse 247
Stellantrieb 41
Stichprobe 235
Stichprobengröße 247
Stimmung 198
Stimmungsanalyse 160
Subsumptionsarchitektur 48
Sympathie 192
Synchronität 143
Systemarchitektur 33
Systemevaluation 226

T

taktiler Sensor 39
Tay 167
Technologieakzeptanzmodell 191
Technologievertrauen 190
technologischer Fortschritt 338
Telenoid 139
Telepräsenzroboter 32, 266, 294
Tendenz 247
Tesla 288
Text-to-Speech 172, 174
therapeutische Roboter 277
T-HR3 293
Tiago 47
Tiefensensor 36
Trainingsdaten 55
Transfer Learning 60
Transferlernen 162
Transformer 58
Turing-Test 167
Turn-Taking 142
TurtleBot2 76
Tutor-Roboter 270

U

überwachtes Lernen 54
Umfrage 225
Uncanny Valley 88
User-centered Design 94

V

Value Sensitive Design 102
Variabilität 248
Vector 20
verbale Interaktion 151
Verbraucherdrohnen 110
Verhaltenskodizes 255
Verhaltensprogrammierung 50
Vermenschlichung 85
verstärkendes Lernen 62
Vex Robotics Design System 98
virtueller Agent 32
Voice-Activity Detection 160

W

Wakamaru *86*

Walt *91, 286*

wertorientiertes Design *102*

Within-Subjects-Design *237*

Wizard-of-Oz-Technik *243*

Z

Zeno *278*

zoomorphe Roboter *31*