

Bachelorarbeit von Sophia Lange an der Hochschule Karlsruhe

Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion:

Eine Studie zur Mimikgestaltung bei Dialogrobotern

Bachelorarbeit von Sophia Lange an der Hochschule Karlsruhe

Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion: Eine Studie zur Mikrogestaltung bei Dialogrobotern

Studierende: Sophia Lange

Matrikelnummer: 67102

E-Mail-Adresse: laso1012@h-ka.de

Herrenstr. 42

76133 Karlsruhe

Erstprüferin: Pof. Dr. Jeremias Rößler

Hochschule Karlsruhe

Kommunikation und Medienmanagement

Zweitprüfer: Prof. Dr. Martin Schober

Hochschule Karlsruhe

Kommunikation und Medienmanagement

Zeitraum: 15.05.2024 – 13.09.2024

Abgabedatum: 13.09.2024

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Ausführungen, die anderen veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, habe ich kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Fassung noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift

Sprachlicher Hinweis

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit vorwiegend das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten jedoch unabhängig vom Geschlecht und beziehen sich gleichermaßen auf alle Geschlechter (männlich, weiblich und divers). Die gewählte Formulierung dient der Vereinfachung und soll in keiner Weise diskriminierend wirken. Selbstverständlich stehen alle Begriffe für alle Menschen gleichermaßen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Theoretische Grundlagen	11
2.1	Robotik und Soziale Roboter	11
2.1.1	Definition und Klassifikation	11
2.1.2	Dialogroboter	12
2.1.3	Geschichtlicher Hintergrund und Entwicklung	12
2.1.4	Anwendungsgebiete	15
2.1.5	Technologische Grundlagen	15
2.1.6	Ethische, psychologische und soziale Aspekte	17
2.1.7	Herausforderungen und Zukunftsperspektiven	19
2.2	Mensch-Roboter-Interaktion	19
2.2.1	Definition und Grundlagen der MRI	19
2.2.2	Kognitive und emotionale Aspekte	20
2.2.3	Modelle und Theorien der MRI	21
2.2.4	Interaktions- und Kommunikationsformen	24
2.2.5	Benutzerfreundlichkeit und User Experience (UX)	25
2.2.6	Interaktionsdesign und Schnittstellengestaltung	25
2.2.7	Herausforderungen und ethische Überlegungen	25
2.3	Relevanz und Entwicklung von Mimik in der Robotik	26
2.3.1	Einführung in die Mimik und ihre Bedeutung	26
2.3.2	Relevanz der Mimik für soziale Roboter	26
2.3.3	Entwicklung der Mimik in der Robotik	26
2.3.4	Menschenähnliches oder Roboter Gesicht	28
2.3.5	Technologische Ansätze zur Implementierung von Mimik	28
2.3.6	Herausforderungen und Lösungen	28
2.4	Stand der Gestaltung virtueller Mimik für Roboter	29
2.4.1	Einführung in virtuelle Mimik	29
2.4.2	Technologien zur Erstellung virtueller Gesichtsausdrücke	29
2.4.3	Beispiele für aktuelle Anwendungen	29
2.4.4	Designprinzipien und -methoden	36
2.4.5	Benutzerstudien und Evaluation	36

2.4.6	Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen	36
2.5	Der Roboter Jarvis	37
3	Methodik	38
3.1	Design und Entwicklung der Mimik	38
3.1.1	Auswahl der Mimik	39
3.1.2	Benennung der Mimik	49
3.1.3	Entwurf der Mimik	52
3.2	Entwicklung des Prototyps	61
3.3	Experimenteller Plan des A/B-Tests	61
3.3.1	Zielsetzung	61
3.3.2	Hypothese	62
3.3.3	Bewertungskriterien	62
3.3.4	Auswertungsbögen	64
3.3.5	Skript für den A/B-Test	66
3.3.6	Ressourcen	67
4	Durchführung	68
4.1	Implementierung des Prototyps	68
4.1.1	Aufgetretene Probleme bei der Implementierung	69
4.1.2	Umgang mit den Problemen	69
4.2	A/B-Test	70
4.2.1	Durchführen der Tests mit verschiedenen Probanden	70
4.3	Sammlung von Daten durch Auswertungsbögen	72
4.3.1	Datenerfassung	73
4.3.2	Datenauswertung	73
5	Auswertung	75
5.1	Analyse durch subjektive Messungen	75
5.2	Analyse durch objektive Messungen	78
5.3	Weitere Beobachtungen	83

6	Diskussion	84
6.1	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	84
6.2	Limitationen der Studie	87
6.3	Ausblick	88
7	Fazit	90
	Abbildungsverzeichnis	93
	Anhang	95
	Literaturverzeichnis	98

1 Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) durch die Gestaltung von Mimik bei Dialogrobotern, am Beispiel des Roboters Jarvis. Jarvis wurde von Dr. Jeremias Rößler im Rahmen seiner Forschung an der Hochschule Karlsruhe entwickelt, um zu untersuchen, wie nonverbale Kommunikation – insbesondere Mimik – die Interaktion zwischen Mensch und Roboter beeinflusst. Der Roboter dient als Plattform für die Erforschung der Frage, inwieweit Mimik die emotionale Verbindung, Sympathie und das Vertrauen der Nutzer steigern kann. Ziel der Arbeit ist es, zu zeigen, ob die Integration von Mimik in soziale Roboter nicht nur die Benutzererfahrung verbessert, sondern auch zu einer natürlicheren und effektiveren Kommunikation führt.

Jarvis ist ein KI-basierter Dialogroboter, der zukünftig sowohl verbale als auch nonverbale Kommunikation einsetzt, um mit Menschen zu interagieren. Die aktuelle Zielsetzung für Jarvis liegt darin, seine Kommunikationsfähigkeiten durch Mimik auszubauen. Die Idee, Mimik in soziale Roboter zu integrieren, basiert auf der Annahme, dass nonverbale Signale, wie sie auch in der menschlichen Kommunikation verwendet werden, entscheidend für das Verständnis und die zwischenmenschliche Interaktion sind. Nonverbale Hinweise wie Gesichtsausdrücke und Augenkontakt können die emotionale Qualität eines Gesprächs erheblich beeinflussen und helfen, Missverständnisse zu vermeiden oder Emotionen klarer zu vermitteln.

Die Motivation für die Entwicklung von Jarvis liegt darin, den Einfluss der Mimik in der Robotik genauer zu erforschen, insbesondere in einem Bereich, in dem viele Roboter stark auf Hardware-Interaktionen fokussiert sind und oft wenig Wert auf Mimik gelegt wird. Es stellt sich die Frage, ob Mimik einen wesentlichen Mehrwert für die Mensch-Roboter-Interaktion bietet und ob ihre Bedeutung in der sozialen Robotik bislang unterschätzt wird. Jarvis soll daher ein Modell bieten, um durch einen A-B-Test zu ermitteln, wie das Fehlen oder Vorliegen von Mimik die Interaktionsqualität zwischen Mensch und Roboter beeinflussen kann. Dabei soll ein besonderer Fokus auf verschiedene Bewertungskriterien zur Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion liegen.

Diese Thematik ist von besonderem Interesse für den Studiengang Kommunikation und Medienmanagement an der Hochschule Karlsruhe, da sie sowohl technische als auch mediale und kommunikative Aspekte vereint. Die Integration von Mimik in Robotersysteme bietet einen praktischen Einblick in die Verbindung zwischen Technologie, Kommunikationswissenschaften und Psychologie. Für diesen Fachbereich ist es besonders spannend, solche innovativen Technologien im Kontext moderner Kommunikation zu erforschen. Jarvis dient hierbei als hervorragendes Beispiel, wie technische Entwicklungen nicht nur auf die Effizienz einer Maschine abzielen, sondern auch auf die Optimierung der zwischenmenschlichen Interaktion und den emotionalen Aspekt in der Kommunikation.

Die Arbeit greift somit zentrale Themen des Studiengangs auf und kombiniert diese mit einer praxisnahen Anwendung, um zu zeigen, wie technologische Entwicklungen die Art und Weise verändern, wie Menschen kommunizieren und interagieren – nicht nur untereinander, sondern auch mit Maschinen. Jarvis bietet eine Plattform, um diese Fragestellungen in einem realen Anwendungsszenario zu testen und liefert wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige Gestaltung von Dialogrobotern in verschiedenen sozialen Kontexten.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Robotik und Soziale Roboter

2.1.1 Definition und Klassifikation

Die Robotik ist das „Wissensgebiet der Roboter und ihrer Technik“ (Duden 2024). Sie befasst sich mit der Entwicklung, Konstruktion, Steuerung, Herstellung und dem Einsatz von Robotern (vgl. Bendel o. J.). Diese Disziplin widmet sich auch der Kreation von humanoiden oder anthropomorphen Robotern, inklusive der Anfertigung von Körperteilen und künstlicher Haut, und der Fähigkeit, über Mimik, Gestik und natürliche Sprachverarbeitung zu interagieren (vgl. Bendel o. J.). In der Robotik liegt der Fokus vor allem auf Robotern, die sowohl Hardware- als auch Softwarekomponenten integrieren. Rein softwarebasierte Roboter, auch Bots genannt, werden hauptsächlich im Bereich der Informatik entwickelt (vgl. Bendel o. J.).

Die Robotik konzentriert sich auf verschiedene Teilbereiche. Hierzu gehören vor allem die Industrierobotik, die Servicerobotik, die Medizinische Robotik, die Feldrobotik, die Militärrobotik, die Weltraumrobotik und die soziale Robotik (vgl. Bendel o. J.).

In der sozialen Robotik werden sensomotorische Maschinen entwickelt. Diese sozialen Roboter werden in fünf verschiedenen Dimensionen eingesetzt, im Fokus steht die Dimension des Nutzen für Lebewesen. Bei den weiteren Dimensionen handelt es sich um die Interaktion mit Lebewesen, die Kommunikation mit Lebewesen, die Nähe zu Lebewesen und die Abbildung von Lebewesen (vgl. Bendel 2021:6 f.).

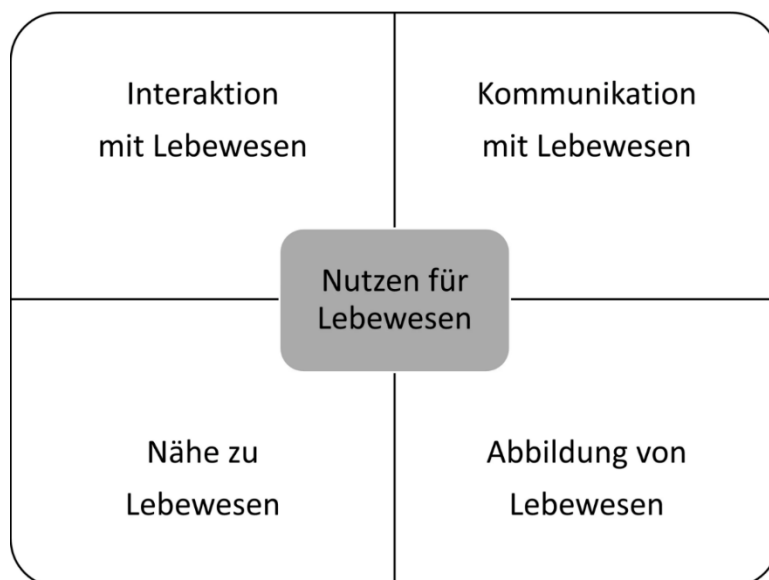


Abbildung 1: Fünf Dimensionen sozialer Roboter (Bendel 2021:6)

Zu den sozialen Robotern zählen beispielsweise Roboter für Spielzwecke, diverse Serviceroboter wie jene für Pflege- und Therapiezwecke, Sicherheitsroboter sowie Industrieroboter, die speziell für die Zusammenarbeit entwickelt wurden (vgl. Bendel 2021:6 f.). Generell kann ein Roboter als sozialer Roboter bezeichnet werden, sobald er in einem Bereich eingesetzt wird, in dem soziale Interaktionen stattfinden können (vgl. Bendel 2021:4 f.).

Auch in der sozialen Robotik werden neben Hardwarerobotern auch reine Softwareroboter, also Bots, eingesetzt. Ein Beispiel dafür sind Chatbots (vgl. Bendel 2021:6 f.).

Soziale Roboter zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, menschliche Emotionen zu erkennen und darauf zu reagieren, soziale Signale zu interpretieren und sich in verschiedene gesellschaftliche Kontexte zu integrieren (vgl. Bendel o. J.).

2.1.2 Dialogroboter

Bei Dialogrobotern handelt es sich um Computerprogramme, die durch künstliche Intelligenz und natürliche Sprachverarbeitung mit Menschen interagieren. Sie können menschliche Sprache zunehmend besser hören, verstehen, interpretieren und ausgeben (vgl. Sieber 2019:22 f.). Somit sind sie im Stande Dialoge zu führen oder aber auch "den Zugang zum Computer, seinen Informationen und Funktionalitäten (zu erleichtern)" (vgl. Braun / Glotz 2003:21).

Chatbots und Sprachassistenten sind hierbei die gängigste Form von Dialogrobotern. Sie ermöglichen dem Menschen einen einfachen Zugang zu Medien oder Informationen und automatisieren Prozesse, die vorab von menschlichen Gesprächspartnern oder eigenständiger Recherche abhängig waren (vgl. Braun / Glotz 2003:21). Dialogroboter "greifen dabei auf eine hinterlegte Wissensbasis (Knowledge-Datenbank) zu, in der sie durch das Aufspüren von Übereinstimmungen gestellter Fragen mit einem vorhandenen (...) Fragenbestand zugehörige Antworten beziehungsweise Aktionen auswählen" (vgl. Braun / Glotz 2003:21).

2.1.3 Geschichtlicher Hintergrund und Entwicklung

Die Entwicklung sozialer Roboter begann schätzungsweise in den späten 1990er Jahren mit Fortschritten in der künstlichen Intelligenz und der Robotik (vgl. Bendel o. J.). In diesem Zeitraum entwickelte Dr. Cynthia Breazeal am MIT den humanoiden Roboter Kismet (vgl. Breazeal 2000). Kismet besteht aus einem Kopf, mit menschenähnlichen Augen, Ohren, Mund und Augenbrauen und wurde für die face-to-face (von Angesicht zu Angesicht) Interaktion entwickelt (vgl. IEEE o. J.).

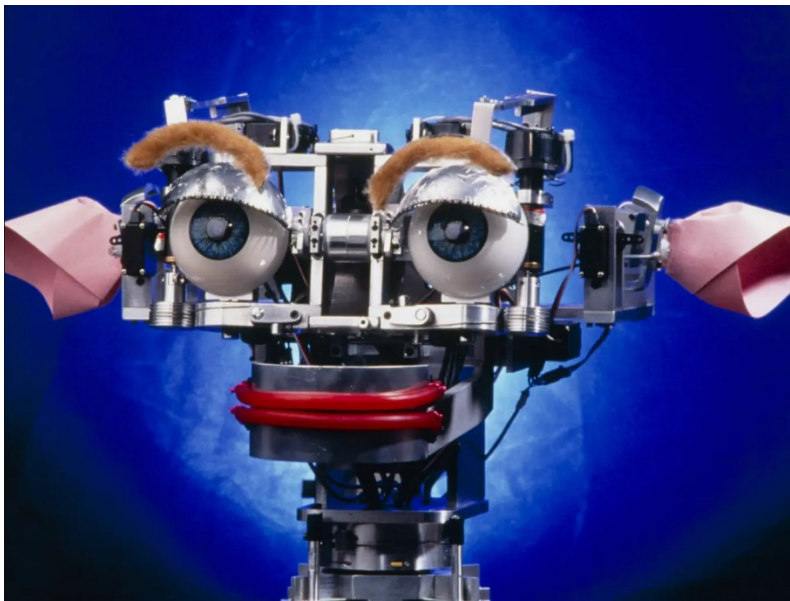


Abbildung 2: Kismet (Menzel, in AI MIT o. J.)

Für die Interaktion mit Menschen wurde Kismet mit Mimik ausgestattet, die die Zustände Freude, Ruhe, Zorn, Überraschung, Ekel, Trauer und Interesse darstellen kann (vgl. Breazeal o. J.).

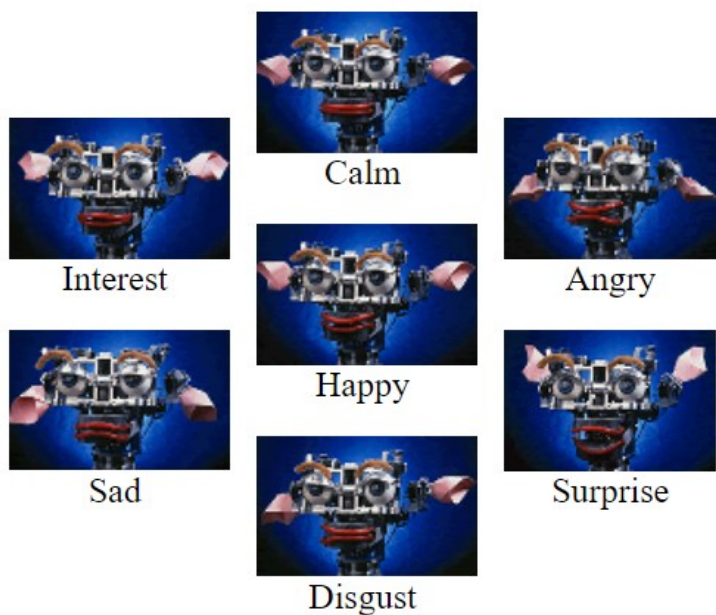


Abbildung 3: Kismet Mimik (Menzel, in AI MIT o. J.)

Ein weiterer bedeutender Meilenstein war die Einführung von AIBO, einem robotischen Hund von Sony, im Jahr 1999, der in der Lage war, auf menschliche Befehle zu reagieren und einfache soziale Interaktionen durchzuführen. Durch seine achtzehn verschiedenen Gelenke galt der Roboterhund als sehr ausdrucksstark (vgl. IEEE o. J.).



Abbildung 4: AIBO (Hulton Archive / Getty Images, in IEEE - Robots Guide o. J.)

Seither haben sich soziale Roboter kontinuierlich weiterentwickelt. Wichtige Entwicklungen umfassen die Einführung von Robotern wie ASIMO von Honda, Pepper von SoftBank Robotics, Sophia von Hanson Robotics und NAO von Aldebaran Robotics, die jeweils fortschrittlichere Interaktionsfähigkeiten und Anwendungsmöglichkeiten mit sich brachten (vgl. Bendel 2021:8 f.f.).

2.1.4 Anwendungsgebiete

Soziale Roboter finden in einer Vielzahl von Bereichen Anwendung. In der Altenpflege werden sie genutzt, um ältere Menschen emotional zu unterstützen, sie an die Einnahme von Medikamenten zu erinnern und soziale Interaktionen zu fördern (vgl. Schneiders et al. 2023:2 f.; Bleuler 2021:444 f.f.). Im Bildungswesen dienen sie als interaktive Lehrassistenten, die Lerninhalte auf ansprechende Weise vermitteln können (vgl. Seufert 2021:475 f.f.). In der Therapie unterstützen sie beispielsweise die Behandlung von Kindern mit Autismus, indem sie soziale Interaktionen fördern und emotionale Unterstützung bieten (vgl. Baisch & Kolling 2021:425 f.). An Reiseknotenpunkten, wie Bahnhöfen oder Flughäfen, in Museen und in Einkaufszentren dienen sie als Tourguides oder Reiseführer (vgl. Schneiders et al. 2021:408 f.f.). In der Arbeitswelt ermöglichen sie unvoreingenommene Einstellungsprozesse und arbeiten neue Mitarbeiter ein (vgl. Furhat Robotics o. J.). Der Einsatz von Robotern als Servicemitarbeiter, wie Kellner oder Rezeptionistin wird ebenfalls gängiger (vgl. Bendel 2021:495 f.f.). Darüber hinaus sind soziale Roboter im Kundendienst weit verbreitet, wo sie Kundenanfragen bearbeiten und grundlegende Dienstleistungen erbringen (Bendel 2021:6 f.f.). Soziale Roboter werden auch in privaten Haushalten eingesetzt. Zu den Aufgaben sozialer Roboter in Haushalten zählen das Reduzieren von Einsamkeit, das Agieren als Smart Home Assistent, das Übernehmen von Reinigungs- oder Haushaltsaufgaben sowie das Fördern sportlicher Aktivitäten (vgl. Schneiders et al. 2023:1).

2.1.5 Technologische Grundlagen

Die technischen Grundlagen sozialer Roboter umfassen eine Vielzahl von Technologien, die ihre Funktionalität und Interaktivität ermöglichen. Sensoren und Kameras erfassen Umwelteinformationen und menschliche Gesichtsausdrücke, die dann von Algorithmen der künstlichen Intelligenz verarbeitet werden, um entsprechende Reaktionen zu generieren (vgl. Biba 2024; Bartneck et al. 2020:26 f.f.). Aktuatoren „wandeln(n) elektrische Signale in physikalische Bewegungen um“ (vgl. Bartneck et al. 2020:33) und ermöglichen Bewegungen und Gesten, die für eine natürliche Interaktion erforderlich sind (vgl. Bartneck et al. 2020:33 f.f.; Janowski 2021:293 f.f.). Spracherkennung und -synthese-Technologien ermöglichen es den Robotern, gesprochene Sprache zu verstehen und darauf zu antworten, während die Verarbeitung natürlicher Sprache komplexere Dialoge und Konversationen erlaubt (vgl. Sieber 2019:42 f.f.).

Je nach Framework und Einsatzgebiet variieren die genutzten Technologien, doch da für soziale Dialogroboter die authentische verbale und nonverbale Kommunikation von Priorität ist (vgl. Bartneck et al. 2020), sind unter anderem die folgenden Technologien zu betrachten:

1. Speech-to-Text (STT)

Speech-to-Text (engl.: Sprache-zu-Text), auch als Automatic Speech Recognition (engl.: Automatische Spracherkennung) bezeichnet, ist ein maschinelles Lernmodell zur Umwandlung von gesprochener Sprache in Text. Hierbei werden akustische Signale der menschlichen Stimme analysiert und anschließend in eine Reihe von geschriebenen Worten und Sätzen umgewandelt (vgl. Bartneck et al. 2020:122 f.f.).

2. Large Language Model (LLM)

Als Large Language Model (engl.: großes Sprachmodell) werden künstliche Intelligenzen bezeichnet, die durch das Analysieren großer Mengen an Textdaten menschenähnliche Texte interpretieren und generieren können (vgl. Duden 2024; Chat OpenAI o.J.).

Eines der bekanntesten LLMs ist ChatGPT - ein Chatbot, der durch maschinelles Lernen Fragen seiner Nutzer beantwortet. Hierbei erzeugt der Chatbot geschriebene Nachrichten, Bilder oder gesprochene Antworten. Die Antworten ähneln der menschlichen Sprache. GPT steht für Generative Pre-trained Transformer (engl.: vortrainierter generativer Transformer) (vgl. Chat OpenAI o.J.).

3. Text-to-Speech (TTS)

Text-to-Speech (engl.: Text-zu-Sprache) ist eine Software, die geschriebenen Text in gesprochene Sprache umwandelt (vgl. Bartneck et al. 2020:132 f.).

4. Sprachsynthese

Sprachsynthese wird neben Text-to-Speech genutzt und dient der natürlichen und ausdrucksstarken Generierung von Sprache, die nicht nur Text vorliest, sondern auch Emotionen und Nuancen in der Stimme darstellen kann (vgl. Handke 2020:19; Bartneck et al. 2020:132 f.).

5. Natural Language Understanding (NLU)

Natural Language Understanding (engl.: Natürliches Sprachverständnis) verbessert das Verständnis der Bedeutung und des Kontexts gesprochener oder geschriebener Sprache. Dies umfasst die Erkennung von Intentionen, Entitäten und die semantische Analyse (vgl. Semaan 2012:1 f.f.).

6. Computer Vision

Computer Vision (engl. Computer-Sehfähigkeit) ermöglicht es dem Roboter, seine Umgebung visuell wahrzunehmen und zu analysieren. Dazu gehören die Objekterkennung, Tiefenerkennung und das Tracking von Bewegungen (vgl. Bartneck et al. 2020: 42 f.).

7. Gesichtserkennung und -analyse

Die Gesichtserkennung und -analyse ermöglichen das Erkennen und Analysieren von Gesichtern, um Personen zu identifizieren und ihre Gesichtsausdrücke zu interpretieren (vgl. Bartneck et al. 2020: 42 f.).

8. Emotionserkennung und Sentimentanalyse

Emotionserkennung und Sentimentanalyse ermöglichen es dem Roboter, Emotionen in der Stimme, Mimik und Körpersprache eines Menschen zu erkennen. Dies hilft dem Roboter, angemessen auf die Gefühlslage seines Gesprächspartners zu reagieren (vgl. Bartneck et al. 2020:143 f.f.).

9. Machine Learning und Künstliche Intelligenz

Mit Machine Learning (engl.: Maschinelles Lernen) und Künstliche Intelligenz werden, im Kontext der Sozialen Robotik, Algorithmen und Modelle bezeichnet, die es dem Roboter ermöglichen, aus Interaktionen zu lernen, sein Verhalten anzupassen und Entscheidungen zu treffen. Dies kann sowohl für die Spracherkennung als auch für die Interaktion mit der Umgebung genutzt werden (vgl. Bartneck et al. 2020:39 f.f.).

10. Bewegungssteuerung und Robotik

Technologien, die die physische Bewegung des Roboters in seiner Umgebung ermöglichen. Dies umfasst Sensoren und Aktuatoren für Bewegungssteuerung, Greifen und Manipulieren von Objekten (vgl. Handke 2020:22; Bartneck et al. 2020:32 f.f.).

2.1.6 Ethische, psychologische und soziale Aspekte

Die Integration von KI-gesteuerten sozialen Robotern in den Alltag wirft mehrere ethische und soziale Fragen auf.

Gerade bei sozialen Robotern muss in Betracht gezogen werden, welche psychologischen und sozialen Folgen durch die Mensch-Roboter-Interaktion aufkommen können. Durch die Interaktion mit einem sozialen Roboter können vor allem bei Menschen mit eingeschränkter Mobilität oder älteren Personen Gefühle von Verbundenheit oder Isolation beeinflusst werden (vgl. Bleuler / Caroni 2021:445 f.f.). Doch es stellt sich die Frage, inwieweit es vertretbar ist, dass eine Maschine Emotionen simuliert, die von Personen als echt und somit als Anzeichen einer Freundschaft interpretiert werden können (vgl. Bartneck et al. 2020:228 f.). Durch ein derartiges Missverständnis kann es zu unrealistischen Erwartungen an die Beziehung zwischen Mensch und Maschine kommen. Zwischenmenschlich erwartet man in einer Freundschaft assoziierte Gefühle von Treue, Geborgenheit, Vertraulichkeit, Ehrlichkeit und mehr, doch ein Roboter kann weder eine Freundschaft entwickeln noch derartige Gefühle empfinden. (vgl. Bartneck et al. 2020:229).

Soziale Roboter werden auch zu therapeutischen Zwecken eingesetzt, beispielsweise zur Förderung von sozialen Fähigkeiten oder emotionaler Unterstützung. Auch hierbei stellt sich die ethische Frage, ob die Präsenz derartiger sozialer Roboter zu emotionaler Abhängigkeit oder Erwartungen an menschliche Beziehungen führt, was wiederum negative psychologische Folgen haben kann (vgl. Baisch / Kolling 2021:433 f.f.).

Ethische Aspekte zeigen sich außerdem in der Frage der Verantwortung, wenn es zu Fehlern oder Schäden kommt. Roboter gelten nicht als natürliche oder juristische Person, doch bei lernfähigen Systemen können Entscheidungen des Roboters nicht immer auf die Hardware- oder Softwareentwickler zurückgeführt werden (vgl. Pareto Boada et al. 2021:9). Weitere Fragen betreffen die ethische Verantwortung für Entscheidungen, die Roboter treffen, insbesondere wenn diese Entscheidungen tiefgreifende Auswirkungen auf das Leben von Menschen haben (vgl. Pareto Boada et al. 2021:9).

Die Frage der Sicherheit weitet sich außerdem auch auf Daten aus. Gerade bei sozialen Robotern besteht das Risiko, dass durch Interaktionen Grenzen dessen, was als private Information gilt, verschwimmen. Da soziale Roboter für einen effizienten Einsatz Daten über Privatpersonen sammeln und speichern müssen, erhöht sich das Risiko von Datenschutzverletzungen. Somit besteht die Herausforderung, die Datenverarbeitung transparent und nachvollziehbar zu gestalten (vgl. European Data Protection Supervisor 2016:1 f.f.).

Fairness und Bias müssen bei sozialen Robotern als kritisches Thema angesehen werden. Bei der Entwicklung des Algorithmus eines sozialen Roboters besteht das Risiko, dass menschliche Vorurteile implementiert werden oder dass Datensätze zu verschiedenen Personengruppen fehlen oder unvollständig sind (vgl. Pareto Boada et al. 2021:9). Diese Bedingungen können darin resultieren, dass der Roboter spezifische Gruppen diskriminiert, vernachlässigt oder unfair behandelt. Um unerwünschtes Verhalten eines Roboters zu vermeiden, muss Fairness im Algorithmus gewährleistet werden (vgl. Pareto Boada et al. 2021:9; Londoño et al. 2023:5).

Beim Einsatz von sozialen Robotern in der Arbeitswelt stellt sich die ethische Frage, inwieweit Einfluss auf Arbeitsplätze genommen wird. Der Einsatz sozialer Roboter kann zu Effizienzsteigerungen führen, jedoch auch Arbeitsplätze reduzieren oder verändern. Schlussfolgernd liegt es in der Verantwortung von Arbeitgebern und Gesellschaften, Gegenmaßnahmen zu schaffen, wie beispielsweise Schulungsprogramme und alternative Beschäftigungsmöglichkeiten anzubieten. Des Weiteren können klare Grenzen formuliert werden, um die Verteilung von Arbeit zwischen Mensch und Roboter festzulegen (vgl. Pareto Boada et al. 2021:9).

Um diesen ethischen und sozialen Risiken entgegenzuwirken, erfordert es eindeutige technische, rechtliche und ethische Richtlinien.

2.1.7 Herausforderungen und Zukunftsperspektiven

Trotz der Fortschritte in der Entwicklung sozialer Roboter gibt es weiterhin bedeutende Herausforderungen. Dazu gehören technische Hürden wie die Verbesserung der Spracherkennung und -verarbeitung, die Gestaltung realistischer und überzeugender Gesichtsanimationen sowie die Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Roboter (vgl. Bartneck et al. 2020:240 f.). Zukünftige Forschung und Entwicklung könnten dazu beitragen, diese Herausforderungen zu überwinden und neue Anwendungsbereiche für soziale Roboter zu erschließen (vgl. Rogge / Lindenauer 2021:557 f.f.). Es wird erwartet, dass soziale Roboter in den kommenden Jahren eine immer größere Rolle in unserem Alltag spielen werden, nicht nur weil sie kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert werden, aber auch wegen der durch Science Fiction geprägten Erwartungshaltung gegenüber Robotern (vgl. Weber 2021:550 f.f.).

2.2 Mensch-Roboter-Interaktion

2.2.1 Definition und Grundlagen der MRI

Bei der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) handelt es sich um ein Forschungsgebiet, welches sich mit dem Verständnis, der Gestaltung und der Verbesserung von Interaktionen zwischen Mensch und Roboter befasst (vgl. Bartneck et al. 2020: 7).

Es umfasst diverse Disziplinen, die über die reine Robotik hinausgehen. Dazu gehören beispielsweise Ingenieurwissenschaften, aber auch Design und Sozialwissenschaften (vgl. Bartneck et al. 2020:10 f.). All diese Disziplinen sollen dazu beitragen, den Umgang mit Robotern sicherer, effizienter und intuitiver zu gestalten (vgl. Bartneck et al. 2020:9).

2.2.2 Kognitive und emotionale Aspekte

Menschen nehmen Roboter oft als soziale Akteure wahr, die emotionale Reaktionen hervorrufen können (vgl. Bartneck et al. 2020:141 f.). Diese Wahrnehmung wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, darunter das äußere Erscheinungsbild des Roboters, seine Bewegungen und die Art und Weise, wie er kommuniziert (vgl. Bartneck et al. 2020:53). Kognitive Aspekte betreffen die Art und Weise, wie Menschen die Fähigkeiten und Grenzen von Robotern verstehen und welche mentalen Modelle sie von der Funktionsweise der Roboter entwickeln (vgl. Bartneck et al. 2020:53 f.). Emotionale Aspekte hingegen betreffen die Gefühle und Reaktionen, die Roboter bei Menschen hervorrufen, wie Vertrauen, Angst oder Zuneigung (vgl. Bartneck et al. 2020:141 f.).

Für den Einsatz von Robotern, die mit Menschen interagieren, ist es also von Bedeutung, Emotionen einerseits zu identifizieren, sowie selbst Emotionen zu zeigen, auch wenn der Roboter diese nur simuliert. Um diese Simulation akkurat zu gestalten, müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden (vgl. Bartneck et al. 2020:142 f.).

Die Emotionen des Roboters sollen angemessen für die Situation oder den Kontext sein, weshalb nicht nur positive, sondern auch neutrale oder negative Emotionen simuliert werden müssen (vgl. Bartneck et al. 2020:145 f.f.). Zur Simulation dieser Emotionen werden Blickkontakt, Mimik, Gestik, Stimmlage und Lautstärke, Reaktionszeit oder sogar das Einwerfen kurzer Sätze (um Interesse oder Anteilnahme zu zeigen) benötigt (vgl. Bartneck et al. 2020:81 f.f., 97 f.f., 119 f.f.). Der Roboter soll neben eigenen Emotionen auch Empathie zeigen, weshalb es essentiell ist, dass der Zustand des Menschen (oder Tieres) identifiziert werden kann (vgl. Bartneck et al. 2020:143 f.).

Des Weiteren ist zu beachten, dass Zustände nicht nur gespiegelt werden dürfen. Ein emotional intelligenter Gesprächspartner lächelt, wenn sein Gegenüber lächelt. Doch ist das Gegenüber wütend, wird häufig eine gegenteilige Reaktion erwartet, wie Angst oder Sorge (vgl. Lesley University o.J.).

Bei Mensch-Mensch-Interaktionen sind auch demografische Unterschiede zu erkennen. Beispielsweise können Altersunterschiede oder verschiedene Hautfarben der Gesprächspartner einen Einfluss auf die Reaktionen nehmen (vgl. Londoño et al. 2023:5). Hierbei stellt sich die Frage, welche Rolle dies in Zukunft für Mensch-Roboter-Interaktionen spielen wird.

Anders als eventuell angenommen ist das Erfolgsrezept für eine gelungene Mensch-Roboter-Interaktion nicht ein vollkommen präziser und vorhersehbarer Roboter, der nur auf menschliche Befehle und Anweisungen reagiert. Stattdessen soll ein Roboter mehr Kontrolle haben, indem er vorhersieht, was sein Gegenüber wünscht und dann möglichst natürlich darauf reagiert. Selbst wenn hierbei ein Fehlerpotenzial besteht, sollte der Roboter mit seiner Vorhersage falsch liegen (vgl. Hoffman 2017).

2.2.3 Modelle und Theorien der MRI

Verschiedene Modelle und Theorien wurden entwickelt, um die Interaktion zwischen Menschen und Robotern zu erklären.

2.2.3.1 Computers Are Social Actors (CASA) Paradigma

Das MRI Paradigma "Computers Are Social Actors" (engl.: Computer sind soziale Akteure) geht davon aus, dass Menschen mit Computern und anderen digitalen Geräten auf ähnliche Weise interagieren wie mit anderen Menschen (vgl. Hultenius 2023).

Traditionell wurden Computer als reine Werkzeuge betrachtet, die dem Menschen assistieren und spezifische Aufgaben übernehmen. Mit der Entwicklung von KI-Technologien begann sich die menschliche Beziehung zu Computern zu wandeln. Im Rahmen einer Studie der Stanford University zur MRI, die fünf verschiedene Experimente umfasste, entwickelten Clifford Nass, Jonathan Steuer und Ellen R. Tauber das CASA Paradigma (vgl. Nass et al. 1994). Die Fragestellungen der fünf Experimente lauten wie folgt (mit deutscher Übersetzung):

First: Will users apply politeness norms to computers?

Erstens: Werden Nutzer Normen wie Höflichkeit auf Computer anwenden?

Second: Will users apply the notions of "self" and "other" to computers?

Zweitens: Werden Benutzer die Begriffe "Selbst" und "Anderer" auf Computer anwenden?

Third: On what basis do users distinguish computers as "self" or "other" - the voice or the box?

Drittens: Auf welcher Grundlage unterscheiden Benutzer Computer als "Selbst" oder "Anderer" - die Stimme oder das Gerät?

Fourth: Will users apply gender stereotypes to computers?

Viertens: Werden Nutzer Geschlechterstereotypen auf Computer anwenden?

Fifth: If people do respond socially to computers, is it because they feel that they are interacting with the computer or with some other agent such as the programmer? Who or what do users think of when the computer says "I"?

(Fünftens: Wenn Menschen sozial auf Computer reagieren, liegt es daran, dass sie das Gefühl haben, mit dem Computer zu interagieren oder mit einem anderen Agenten wie dem Programmierer? An wen oder was denken Benutzer, wenn der Computer "Ich" sagt?)

Die Ergebnisse der fünf Experimente ergaben, dass erfahrene Computernutzer in der Tat soziale Regeln in der Interaktion mit Computern anwenden. In allen Experimenten kam es zu Resultaten, die in der Mensch-Mensch-Interaktion zu erwarten wären. Es handelt sich hierbei um die natürliche Reaktion des Menschen auf soziale Situationen und keine psychologischen oder soziologischen Fehler. Es wurde außerdem widerlegt, dass Roboter so menschlich wie möglich gestaltet werden müssen, um soziale Interaktion mit dem Mensch zu ermöglichen (vgl. Nass et al. 1994:77).

2.2.3.2 Uncanny Valley

Japanischer Roboteringenieur Masahiro Mori stellte in den 1970ern die Theorie auf, dass Roboter (oder animierte Figuren) auf den Menschen wesentlich vertrauter wirken, je menschenähnlicher sie aussehen. Doch erreicht diese Ähnlichkeit einen gewissen Punkt, an dem nur wenige Unterschiede bestehen, hat es den gegenteiligen Effekt und der Roboter kann Unbehagen beim Betrachter auslösen. Dieser Effekt verliert seine Wirkung nur, wenn das Betrachtete keine visuellen Unterschiede zum Menschen aufweist. Stellt man diese Beobachtung grafisch dar, mit Vertrautheit als y-Achse und Menschenähnlichkeit als x-Achse, erhält man eine Kurve, die stetig steigt, bis sie drastisch abfällt und anschließend wieder ebenso drastisch steigt. Diese Unregelmäßigkeit in der Kurve ist Namensgeber für das Phänomen und wird als das "Uncanny Valley" (engl.: unheimliches Tal) bezeichnet. Mori hat seine Theorie nie bewiesen, weshalb sie als vage angesehen wird (vgl. Mori 1970).

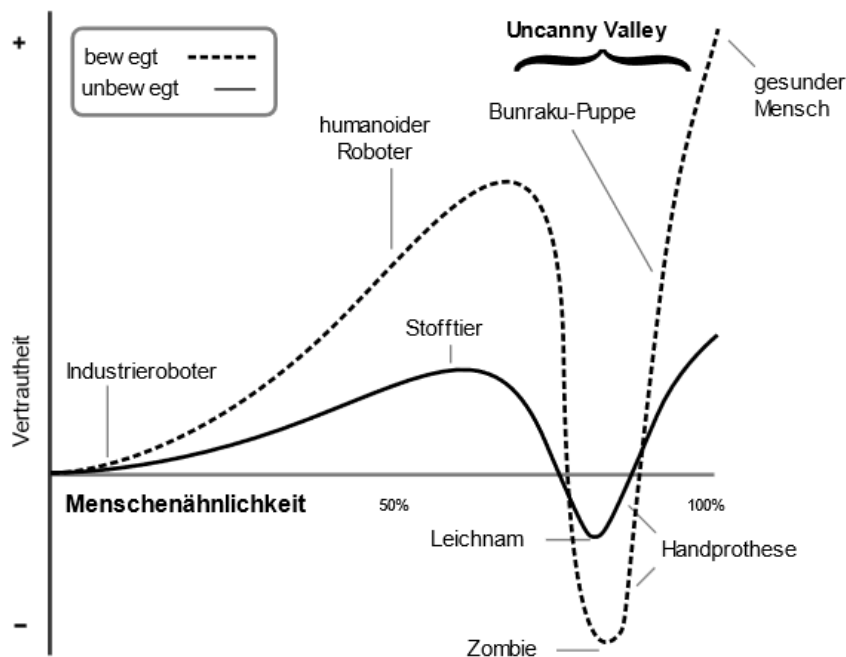


Abbildung 5: Uncanny Valley (übersetzte Darstellung in Anlehnung an Mori 1970)

Durch weitere Studien zu Moris Theorie stellte sich heraus, dass diese Kurve nicht eindeutig zutreffend ist. Roboter, die auf einer Skala zur Menschenähnlichkeit gleich abschneiden, können auf einer Skala zur Unheimlichkeit unterschiedlich abschneiden (vgl. Bartneck et al. 2009:274 f.). Demnach ist die Menschenähnlichkeit nicht der einzige Faktor, der Roboter unheimlich erscheinen lassen kann. Eigenschaften wie Bewegungsmuster, Synchronität von Sprache und Lippenbewegung oder Geräusche und Atmen können einen wesentlichen Einfluss darauf nehmen, ob ein Roboter auf den Menschen mehr oder weniger unheimlich wirkt (vgl. Kendall 2022). Neurowissenschaftlern zufolge reagieren Menschen unterschiedlich stark auf das Uncanny Valley, weshalb auch persönliche Erfahrungswerte eine Rolle bei der Bewertung der Unheimlichkeit eines Roboters spielen (vgl. Kendall 2022). Ebenso kann sich die Bewertung ändern, nachdem mit dem betroffenen Roboter interagiert wurde (vgl. Bartneck et al. 2009:274 f.).

Je nach Zweck eines Roboters sollte also explizit entschieden werden, ob eine menschenähnliche Gestaltung Sinn macht. Entsprechend wird in der Robotik zunehmend vom Anthropomorphismus gebrauch gemacht. Bei diesem Phänomen handelt es sich um das vom Menschen unterbewusste Übertragen von menschlichen Eigenschaften auf nicht-menschliche Objekte (vgl. Handke 2020:207). Für die Robotik bedeutet das, dass „(d)er Grad des Anthropomorphismus eines Roboters (...) eine der wichtigsten Designentscheidungen (ist), die die Roboterentwickler berücksichtigen müssen, da er nicht nur das Aussehen des Roboters, sondern auch die Funktionalität beeinflusst“ (vgl. Handke 2020:56).

2.2.4 Interaktions- und Kommunikationsformen

Die Interaktion zwischen Menschen und Robotern kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Darunter die räumliche Interaktion durch das Befolgen von Distanznormen, verbale Kommunikation über gesprochene Sprache und nonverbale Kommunikation über Gestik, Mimik und Körperbewegungen (vgl. Bartneck et al. 2020).

2.2.4.1 Räumliche Interaktion

In der sozialen Interaktion mit Menschen gibt es räumliche Distanznormen, die zu befolgen sind. In Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden Raumes erwarten Menschen voneinander, einen gewissen Abstand zueinander einzuhalten. Das Einhalten dieser Abstände gilt als Zeichen von Respekt und Manieren (vgl. Bartneck et al. 2020:81 f.f.). Der Begriff der Proxemik teilt die verschiedenen Positionierungen um eine Person in Metern ein. Hierbei wird zwischen intimer, persönlicher, sozialer und öffentlicher Distanz unterschieden. Allerdings variieren die genauen Meterangaben, je nach verfügbarem Raum (vgl. Lexikon für Psychologie & Pädagogik 2024).

2.2.4.2 Verbale Interaktion

Die verbale Interaktion in der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) ist von entscheidender Bedeutung, da sie den Hauptkanal für den Informationsaustausch darstellt. Roboter, die in der Lage sind, menschliche Sprache zu verstehen und darauf zu reagieren, fördern eine effektive Kommunikation und tragen dazu bei, dass Menschen den Roboter als kompetenten Gesprächspartner wahrnehmen. Durch die Anpassung der Sprachfähigkeiten des Roboters an menschliche Gesprächsgewohnheiten, wie zum Beispiel Tonfall, Sprachtempo und Kontextverständnis, kann eine nahtlose und kohärente Interaktion geschaffen werden. Diese verbalen Fähigkeiten sind wesentlich, um eine reibungslose und effektive Kommunikation zwischen Mensch und Roboter zu gewährleisten (vgl. Bartneck et al. 2020:119 f.f.).

2.2.4.3 Nonverbale Interaktion

Auch die nonverbale Kommunikation spielt eine zentrale Rolle in der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI), da sie maßgeblich die Qualität und Effektivität der Interaktion beeinflusst. Roboter, die menschliche nonverbale Kommunikationsmuster wie Mimik, Gestik und Körperhaltung nachahmen, können eine natürlichere und intuitivere Interaktion ermöglichen. Durch den Einsatz von nonverbalen Signalen wie Blickkontakt, emotionalen Gesichtsausdrücken und einfühlsamen Gesten kann der Roboter nicht nur Informationen übermitteln, sondern auch Vertrauen aufbauen und eine emotionale Verbindung zum Menschen herstellen. Diese Fähigkeiten sind entscheidend dafür, dass Menschen Roboter als sozial kompetente und vertrauenswürdige Interaktionspartner wahrnehmen (vgl. Bartneck et al. 2020:97 f.f.).

2.2.5 Benutzerfreundlichkeit und User Experience (UX)

Die Benutzerfreundlichkeit von Robotern ist ein kritischer Faktor für eine erfolgreiche MRI. Ein benutzerfreundlicher Roboter sollte intuitiv bedienbar, leicht verständlich und zuverlässig sein (vgl. Biswanath et al. 2021). Die User Experience (UX) umfasst alle Aspekte der Interaktionserfahrung eines Nutzers mit einem Roboter, einschließlich der emotionalen Reaktionen, der Zufriedenheit und des Gesamteindrucks (vgl. Biswanath et al. 2021). Faktoren wie das Design der Benutzeroberfläche, die Reaktionsfähigkeit und die Anpassungsfähigkeit des Roboters beeinflussen die UX maßgeblich (vgl. Bartneck et al. 2020:68 f.f.).

2.2.6 Interaktionsdesign und Schnittstellengestaltung

Das Design der Interaktionsschnittstelle zwischen Mensch und Roboter spielt eine zentrale Rolle für die Effektivität und Effizienz der Interaktion. Eine gut gestaltete Schnittstelle erleichtert den Informationsaustausch, reduziert Missverständnisse und ermöglicht eine nahtlose Zusammenarbeit (vgl. Biswanath et al. 2021). Aspekte wie die visuelle Gestaltung, die Benutzerführung und die Rückmeldemechanismen sind entscheidend, um eine positive Interaktionserfahrung zu gewährleisten (vgl. Biswanath et al. 2021).

2.2.7 Herausforderungen und ethische Überlegungen

Trotz der Fortschritte in der MRI gibt es weiterhin bedeutende Herausforderungen. Technische Hürden, wie die Verbesserung der Spracherkennung, die Entwicklung realistischer Bewegungen und die Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Roboter müssen überwunden werden. Ethische Überlegungen betreffen Fragen des Datenschutzes, der emotionalen Abhängigkeit und der möglichen Dehumanisierung sozialer Interaktionen. Derartige Fragen beschäftigen Robotik-Forscher bereits seit den 1920er-Jahren. Damals hat Isaac Asimov ethische Regeln für die Robotik formuliert. Auch heute werden diese Regeln weiterhin angepasst und erweitert (vgl. Bartneck et al. 2020:226). Diese Regeln haben sich bis dato nicht offiziell durchgesetzt, dienen aber als Orientierung für Forscher.

Die Integration von Robotern in die menschliche Gesellschaft stellt sich derzeit als eine der größten Hürden heraus. Betrachtet man die weltweite Bevölkerung als Nutzergruppe, stellt sich heraus, dass Unterschiede in Kultur, Normen, Werte, Sprache, Kommunikation und mehr einen erheblichen Einfluss darauf nehmen, wie erfolgreich ein Roboter in die Gesellschaft integriert werden kann. Des weiteren müssen sich Forscher auch fragen, inwiefern bei der Lokalisierung eines Roboters gewisse Faktoren adoptiert oder aber auch kritisch betrachtet werden müssen (vgl. Bartneck et al. 2020:233).

Es ist wichtig, diese Herausforderungen und ethischen Fragestellungen zu adressieren, um eine verantwortungsvolle und nachhaltige Entwicklung der MRI zu gewährleisten.

2.3 Relevanz und Entwicklung von Mimik in der Robotik

2.3.1 Einführung in die Mimik und ihre Bedeutung

Mimik bezeichnet die durch Muskelbewegungen erzeugten Gesichtsausdrücke, die Gefühle und Stimmungen einer Person widerspiegeln (vgl. Cambridge Dictionary 2024; Duden 2024). Sie spielt eine zentrale Rolle in der nonverbalen Kommunikation, da sie es Menschen ermöglicht, Emotionen auszudrücken und die Emotionen anderer zu interpretieren. Mimik ist ein wesentlicher Bestandteil der sozialen Interaktion, da sie subtile Hinweise auf die Absichten und Gefühle einer Person gibt und somit das Verständnis und die Empathie fördert (vgl. Janowski / André 2014:1).

2.3.2 Relevanz der Mimik für soziale Roboter

In der Mensch-Roboter-Interaktion ist die Fähigkeit eines Roboters, menschliche Mimik nachzuahmen und darauf zu reagieren, auch Mimikry genannt, von großer Bedeutung (vgl. Bartneck et al. 2020:105 f.). Soziale Roboter, die über Mimik verfügen, können Emotionen ausdrücken und erkennen, was die Interaktion natürlicher und intuitiver gestaltet. Dies fördert das Vertrauen und die Akzeptanz der Roboter durch die Nutzer und verbessert die Qualität der Interaktion (vgl. Rawal / Stock-Homburg 2022:1 f.). Mimik hilft auch dabei, Missverständnisse zu vermeiden und die Kommunikation zu erleichtern, indem sie zusätzliche emotionale Kontextinformationen liefert (vgl. Rawal / Stock-Homburg 2022:8 f.).

2.3.3 Entwicklung der Mimik in der Robotik

Die Entwicklung der Mimik in der Robotik hat in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte gemacht. Erste Versuche konzentrierten sich auf einfache mechanische Gesichter, wie von WABOT-1 und Kismet, die grundlegende Emotionen wie Freude, Trauer und Überraschung darstellen konnten (vgl. Waseda University o.J.; Breazeal o. J.). Mit dem Fortschritt in der Sensortechnologie, der künstlichen Intelligenz und der Materialwissenschaft wurden immer realistischere und komplexere Gesichtsausdrücke möglich, wie beispielsweise jene von Roboter Sophia (vgl. Hanson Robotics o.J.).



Abbildung 6: Sophia (Quelle: Hanson Robotics o. J.)

Forscher der Harvard University arbeiten an einem Menschenhaut-Equivalent, das unter anderem aus lebenden Hautzellen besteht. Diese Forschung soll es ermöglichen menschenähnliche und selbstheilende Roboterhaut zu entwickeln (vgl. Kawai et al. 2022).



Abbildung 7: Menschenhaut-Equivalent (Takeuchi in Schall, New York Times 2024)

2.3.4 Menschenähnliches oder Roboter Gesicht

Anders als ursprünglich angenommen, muss ein Roboter nicht aussehen wie ein Mensch, um als sozialer Akteur anerkannt zu werden (vgl. Nass / Reeves 1996). Das Uncanny Valley besagt, dass Roboter, die zu menschenähnlich sind, wenig Akzeptanz aufweisen. Eine Studie von Akanksha Prakash und Wendy A. Rogers untersuchte die Akzeptanz von Robotern mit drei verschiedenen Gesichtstypen - menschlich, roboterartig und einer Mischform. Die Studie ergab, dass die Mischform am wenigsten akzeptiert wurde. Roboterartige Gesichter schnitten allerdings genauso gut ab wie menschenähnliche (vgl. Prahash / Rogers 2014). Entsprechend zeigt sich also, dass ein Roboter ein abstraktes Gesicht haben kann und dennoch als sozialer Akteur anerkannt wird. Grund hierfür ist unter anderem die "angeborene Veranlagung der Menschen, die Dinge um sich herum zu vermenschlichen" (Bartneck et al. 2020:57).

2.3.5 Technologische Ansätze zur Implementierung von Mimik

Zur Erzeugung von Mimik in Robotern werden verschiedene technologische Ansätze verwendet. Mechanische Aktoren, wie Servomotoren und pneumatische Muskeln, ermöglichen die Bewegung von Gesichtszügen (vgl. Hashimoto et al. 2006:1 f.). Flexible Materialien und künstliche Haut verbessern die Realitätsnähe der Bewegungen (vgl. Hashimoto et al. 2021:1 f.). Sensoren, wie Kameras und Tiefensensoren, erfassen die Gesichtsausdrücke von Menschen und ermöglichen es den Robotern, diese zu analysieren und entsprechend zu reagieren (vgl. Huang et al. 2009). Algorithmen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens spielen eine zentrale Rolle bei der Interpretation und Generierung von Mimik (vgl. Deng / Li 2022).

2.3.6 Herausforderungen und Lösungen

Die Implementierung realistischer Mimik in Robotern stellt erhebliche Herausforderungen dar. Eine der größten Herausforderungen ist die Komplexität der menschlichen Gesichtsausdrücke, die durch eine Vielzahl von Muskeln erzeugt werden. Es ist schwierig, diese Komplexität mit mechanischen Mitteln vollständig nachzubilden (vgl. Auflem et al. 2022). Eine weitere Herausforderung ist die Synchronisation von Mimik mit anderen Kommunikationsformen wie Sprache und Gestik (vgl. Janowski / André 2021:305). Fortschritte in der Materialwissenschaft und der Robotik haben jedoch dazu geführt, dass immer realistischere und ausdrucksstärkere Gesichtsausdrücke möglich sind. Flexible, dehnbare Materialien, künstliche Intelligenz und fortschrittliche Aktoriksysteme bieten vielversprechende Lösungen für diese Herausforderungen (vgl. Hashimoto et al. 2021:1 f.).

2.4 Stand der Gestaltung virtueller Mimik für Roboter

2.4.1 Einführung in virtuelle Mimik

Mangels stehender Terminologie, werde ich im Rahmen dieser Studie „virtuelle Mimik“ als Benennung für die computergenerierte Darstellung von Emotionen und Gesichtsausdrücken nutzen. Im Kontext der Robotik beschreibt sie die Darstellung eines RoboterGesichts auf einem Bildschirm. Die Gesichtsausdrücke werden verwendet, um die nonverbale Kommunikation zwischen Robotern und Menschen zu verbessern, indem sie emotionale Zustände und Reaktionen darstellen (vgl. Prahash / Rogers 2014).

2.4.1.1 Vorteile der virtueller Mimik

Durch die Darstellung des Gesichts auf einem Display ermöglicht digitale Mimik einen hohen Grad der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, sodass die Mimik je nach Anwendungsfall, Nutzerpräferenz oder kulturellem Kontext verändert werden kann (vgl. Huang / Mutlu 2013). Die Einfachheit eines Gesichts, das nur die wichtigsten Bestandteile, wie Augen, Mund und Augenbrauen aufweist, ermöglicht eine klare nonverbale Kommunikation (vgl. Thomas et al. 1981). Durch die Anwendung von Animationsprinzipien, die durch Disney's Illusion of Life geprägt wurden, lassen sich vielschichtige und komplexe, fast schon übertriebene Gesichtsausdrücke gestalten, um die Ausdrucksstärke des Roboters zu erhöhen (vgl. Thomas et al. 1981). Für weitere Anwendungsfälle, wie beispielsweise im Bildungssektor, kann das Display auch andere oder sogar interaktive Inhalte darstellen. Displays sind einfach zu implementieren und zu warten und im Vergleich zu anderen Technologien äußerst kosteneffizient (vgl. Belpaeme et al. 2018).

2.4.2 Technologien zur Erstellung virtueller Gesichtsausdrücke

Die Erstellung digitaler Gesichtsausdrücke erfordert den Einsatz verschiedener Technologien. Grafiksoftware und Animationsprogramme werden verwendet, um detaillierte und realistische Gesichtsausdrücke zu entwerfen und zu animieren (vgl. Diefenbach et al. 2015). Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle, indem sie die Interpretation und Reaktion auf menschliche Gesichtsausdrücke ermöglichen. Darüber hinaus werden häufig Bildschirme mit hoher Auflösung und schnellen Reaktionszeiten verwendet, um die Gesichtsausdrücke darzustellen und dynamisch anzupassen (vgl. Bartneck et al. 2020:66 f.f.).

2.4.3 Beispiele für aktuelle Anwendungen

Im Rahmen einer Umfrage zu Robotern aus Robotik und Wissenschaft, Film und Fernsehen, Videospielen und weiteren Medien, die bei den Probanden positive Assoziationen aufweisen, wurden 66 Roboter gesammelt. Die Umfrage lief über diverse Social Media Kanäle sowie mündlich ab (vgl. Anhang „Sammlung_Roboter_positive_Assoziationen.pdf“).

Die gesammelten Beispiele umfassen nicht nur Roboter mit virtuellen Gesichtern. Entsprechend wurden für die gesammelten Roboter auf Basis des Designs sechs Kategorien definiert, in die sie eingeordnet werden können:

1. Funktionelles und utilitaristisches Design

Diese Designart zeichnet sich durch einen klaren Fokus auf Funktionalität und Zweckmäßigkeit aus. Roboter mit diesem Design weisen häufig kamerabasierte oder sensorische Elemente auf, die augenähnliche Merkmale besitzen. Ihre Körper sind meist nicht humanoid gestaltet, sondern bestehen aus Fahrgestellen und Greifarmen. Trotz des primären funktionalen Charakters besitzen sie oft anthropomorphe Elemente wie Augen, einen Kopf oder einen Hals, die ihnen ein gewisses Maß an Persönlichkeit verleihen.

Beispiele: Wall-E, Curiosity Rover

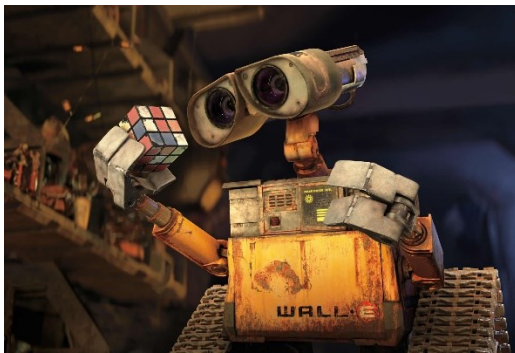


Abbildung 8 Wall-E (G+J Entertainment / Walt Disney in Kinderfilmwelt o. J.)



Abbildung 9: NASAs Curiosity Rover (Quelle: Jet Propulsion Laboratory in SciTechDaily 2023)

2. Humanoides Design mit unbeweglicher, begrenzter Mimik

Roboter mit humanoidem Design und eingeschränkter Mimik verfügen über menschliche Körperformen mit Kopf und Gliedmaßen, jedoch ist ihre Gesichtsstruktur minimalistisch und abstrahiert. Das Gesicht ist meist durch einfache, leuchtende Augen und einen linearen, starren Mund charakterisiert. Die reduzierte Mimik lässt dennoch emotionale Ausdrucksmöglichkeiten zu, oft durch subtile Bewegungen oder Lichteffekte.

Beispiele: Iron Giant, Optimus Prime, Chappie



Abbildung 10: Iron Giant (Quelle: Pluggedin o. J.)



Abbildung 11: Chappie (Quelle: Aufa, LIPUTAN6 2015)

3. Einäugig-erscheinendes Design

Einäugig erscheinende Roboter sind durch ein einzelnes, rundes und leuchtendes Auge gekennzeichnet, das als zentrales Merkmal ihres Gesichts fungiert. Diese Roboter haben kein traditionell humanoides Gesicht – es fehlt meist ein Mund, und der Körper sowie das Gesicht weisen stark technologische Elemente auf. Emotionen und Reaktionen werden überwiegend durch Geräusche und Kopfbewegungen vermittelt, was ihnen eine eigene, charakteristische Ausdrucksweise verleiht.

Beispiele: Atlas, BB8



Abbildung 12: Atlas (Quelle: Boston Dynamics o. J.)



Abbildung 13: BB8 (Quelle: Star Wars o. J.)

4. Futuristisches, dreidimensionales Design

Diese Roboter besitzen ein futuristisches, dreidimensionales Gesicht, das oft aus sanften, abgerundeten Formen besteht. Ihre Gesichtszüge sind sympathisch und kindlich gestaltet, was sie besonders ansprechend macht. Die Gesichter sind meist statisch oder haben nur begrenzt bewegliche Teile. Die Designs integrieren sowohl zoomorphe (tierähnliche) als auch anthropomorphe (menschenähnliche) Elemente, was ihnen einen freundlichen und zugänglichen Charakter verleiht.

Beispiele: pepper, Aibo, NAO

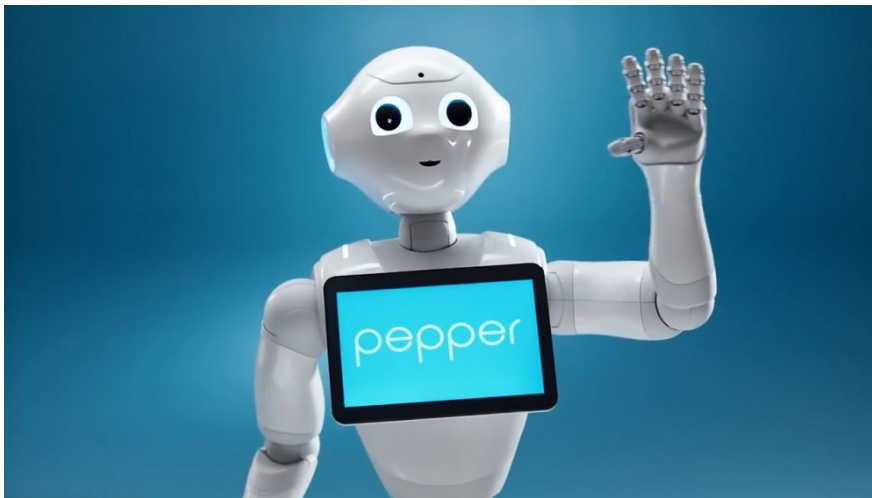


Abbildung 14: pepper (Aldebran, Part of United Robotics Group 2016)



Abbildung 15: Aibo (Kim / Reuters in SPIEGEL Netzwelt 2017)

5. Design mit Display ohne Gesicht

In dieser Designart wird das Gesicht des Roboters durch ein schwarzes Display ersetzt, wodurch ein stark technologischer und funktionaler Eindruck entsteht. Obwohl kein traditionelles Gesicht vorhanden ist, sind Sensoren oder grafische Designelemente auf dem Display deutlich erkennbar. Dieses Design betont die technologische Funktionalität des Roboters, ohne den Fokus auf mimische Ausdrucksformen zu legen.

Beispiele: ASIMO, Figure 01



Abbildung 16: ASIMO (Quelle: future zone 2022)



Abbildung 17: Figure 01 (Quelle: Donath, golem.de 2024)

6. Design mit Display als Gesicht

Roboter, die ein Display als Gesicht verwenden, zeichnen sich durch interaktive, leuchtende Designelemente aus. Die Gesichtsdarstellungen auf dem Display bestehen oft aus großen und ausdrucksstarken Augen, die in Blautönen oder Weiß gehalten sind. Der Mund ist gelegentlich vorhanden, Augenbrauen und Nase hingegen selten. Dieses Design kombiniert zugängliche, abgerundete Formen mit klaren Linien und vermittelt durch die flexible Darstellung auf dem Display eine hohe emotionale Ausdruckskraft.

Beispiele: Anki Cozmo, Emo, Eve



Abbildung 18: Anki Cozmo (Quelle: Marco, Personal Robots 2019)

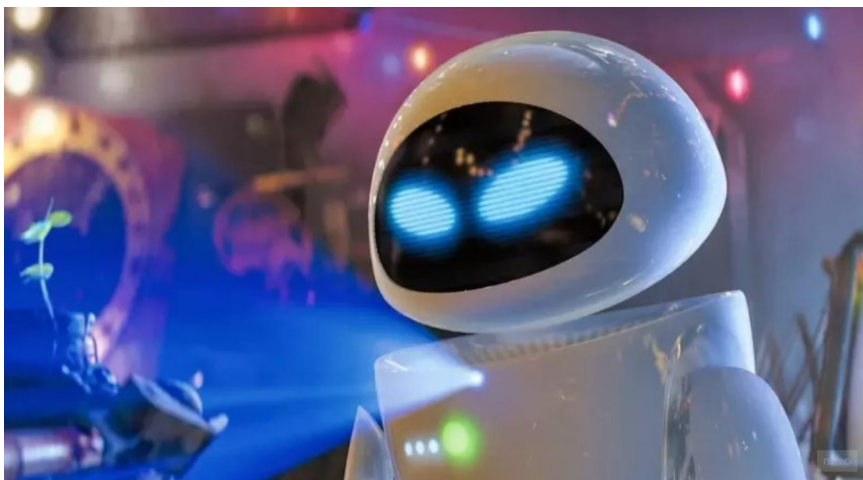


Abbildung 19: Eve (Everett Collection in CHARACTOUR o. J.)

2.4.4 Designprinzipien und -methoden

Bei der Gestaltung digitaler Gesichtsausdrücke werden verschiedene Designprinzipien und -methoden angewendet. Ein zentraler Aspekt ist die Benutzerfreundlichkeit, die sicherstellt, dass die Gesichtsausdrücke leicht verständlich und intuitiv interpretierbar sind (vgl. Biswanath et al. 2021; Bartneck et al. 2020:68 f.f.). Emotionale Ausdruckskraft ist ebenfalls entscheidend, da die Gesichtsausdrücke die gewünschten Emotionen klar und überzeugend vermitteln müssen (vgl. Janowski / André 2021:303 f.f.). Designmethoden umfassen die Verwendung von Schlüsselbildanimationen und morphbaren Gesichtsmodellen, um eine flüssige und realistische Darstellung der Emotionen zu ermöglichen (vgl. Thomas et al. 1981). Außerdem wird darauf geachtet, dass die Gesichtsausdrücke kulturell und kontextuell angemessen sind (vgl. Ekman 1992:169 f.f.).

2.4.5 Benutzerstudien und Evaluation

Benutzerstudien und Evaluationen spielen eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Wirksamkeit und Akzeptanz digitaler Gesichtsausdrücke (vgl. Breazeal 2003; Nourbakhsh / Dautenhahn 2003). Studien zeigen, dass virtuelle Gesichtsausdrücke die Kommunikation und Interaktion mit Robotern erheblich verbessern können (vgl. Bethel / Murphy 2006). Beispielsweise haben Untersuchungen ergeben, dass Roboter mit ausdrucksstarken digitalen Gesichtern von Benutzern als empathischer und zugänglicher wahrgenommen werden (vgl. Gonsiour et al. 2011:7). Evaluationsmethoden umfassen sowohl qualitative Ansätze, wie Benutzerbefragungen und Beobachtungen, als auch quantitative Ansätze, wie die Messung der Reaktionszeit und Genauigkeit bei der Interpretation der Gesichtsausdrücke (vgl. Bartneck / Forlizzi 2004).

2.4.6 Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen

Die Gestaltung digitaler Gesichtsausdrücke steht vor mehreren Herausforderungen. Eine der größten Herausforderungen ist die Schaffung von Gesichtsausdrücken, die sowohl realistisch als auch für verschiedene kulturelle Kontexte geeignet sind (vgl. Garrod et al. 2012). Technische Herausforderungen umfassen die Synchronisation von Gesichtsausdrücken mit anderen Kommunikationsformen und die Gewährleistung einer flüssigen Animation bei hohen Bildwiederholraten (vgl. Janowski / André 2021: 305 f.). Zukünftige Entwicklungen könnten die Integration fortschrittlicher KI-Algorithmen zur Verbesserung der Echtzeit-Analyse und -Generierung von Gesichtsausdrücken sowie die Entwicklung neuer Displaytechnologien zur Erhöhung der Ausdruckskraft und Realitätsnähe umfassen (Li / Deng 2018:14 f.).

2.5 Der Roboter Jarvis

Im Rahmen der Forschung von Dr. Jeremias Rößler, an der Hochschule Karlsruhe, wird der Roboter Jarvis entwickelt. Jarvis ist ein KI-basierter Dialogroboter, der mit verbaler und nonverbaler Interaktion als Konversationspartner eingesetzt werden soll (vgl. persönliches Gespräch mit Dr. Rößler 2024).

Rößler befasst sich hierbei mit Fragen der Mimik von Robotern. Aktuell seien Roboter, wie OpenAIs Figure 01 oder Teslas Optimus sehr Hardware fokussiert, aber haben nur selten Mimik. Rößler will erforschen, ob es korrekt ist, dass die Mimik keine große Gewichtung im Rahmen der sozialen Robotik erfahre (vgl. persönliches Gespräch mit Dr. Rößler 2024).

Die langfristige Zielsetzung für Jarvis umfasst einen 3D gedruckten, humanoiden Körper mit virtuellem Gesicht und der Fähigkeit Mimik, Gestik und natürliche Sprache einzusetzen, um beispielsweise in Bereichen der Pflege eingesetzt werden zu können. Zum Zeitpunkt des Beginns dieser Studie bestand Jarvis aus reiner Software, die Technologien wie STT, LLM und TTS verwendet.

Im Rahmen dieser Studie soll für Jarvis eine erste Mimik entwickelt werden. Mit dieser Mimik soll getestet werden, ob sie zur Verbesserung von Jarvis' MRI beiträgt.

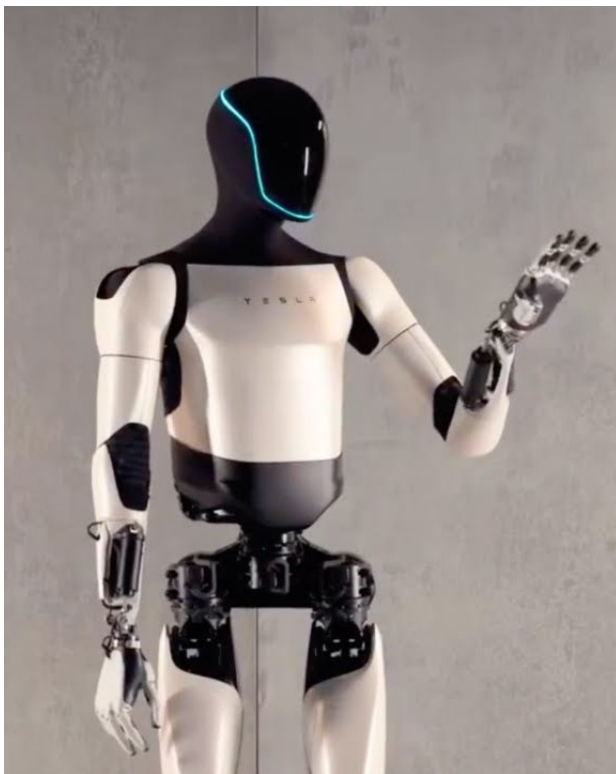


Abbildung 20: Optimus – Tesla (Tesla 2023)

3 Methodik

3.1 Design und Entwicklung der Mimik

Im Rahmen der Entwicklung von Roboter mimik lässt sich zwischen automatisierter (vgl. Breazeal 2003) und handprogrammierter Mimik unterscheiden (vgl. Hashimoto et al. 2006; LuxAI o.J.).

Bei automatisierter Mimik werden Technologien, wie Self-Learning, Gesichtserkennung und -analyse, Emotionserkennung und Sentimentanalyse oder Natural Language Understanding eingesetzt, um dem Roboter seine Mimik anzutrainieren (vgl. Bongard et al. 2006; Bakkar 2024: 2 f.f.).

Ein Beispiel für einen Roboter mit automatisierter Mimik ist der Roboter Emo, der Columbia University. Er wurde zur Nutzung von Mimik trainiert, indem er vor einer Kamera positioniert wurde und beliebige Gesichtsbewegungen machte. Nach einigen Stunden lernte der Roboter den Zusammenhang zwischen Gesichtsausdruck und motorischen Anweisungen. Durch diese als "self-modelling" bezeichnete Vorgehensweise lernte Emo, wie sein eigenes Gesicht aussieht, wenn er es bewegt (vgl. Technology Networks 2024; Bakkar 2024).

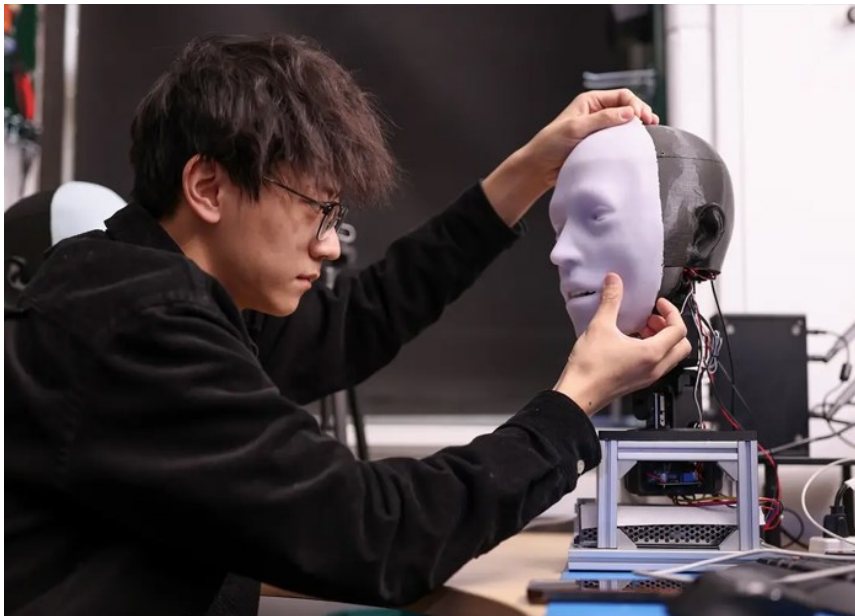


Abbildung 21: Emo (Abbott / Columbia Engineering in Evarts, Columbia Engineering 2024)

Bei handprogrammierter Mimik handelt es sich um Roboter, deren Emotionen und zugehörige Mimik vorab spezifisch festgelegt und entwickelt werden. So stellt der Roboter seine Mimik nicht via Self-Learning dar, sondern kann auf hinterlegte Emotionen und die damit zusammenhängende Mimik zugreifen (vgl. Hashimoto et al. 2006; LuxAI o.J.). Dies hat den Vorteil, dass es deutlich einfacher in der Entwicklung ist, allerdings bedeutet es auch starke Einschränkungen in der Menge an darstellbaren Emotionen.

Wenn ein Roboter über Mimik verfügt, können Technologien wie Analysetools, Sensoren und Kameras eingesetzt werden, um Daten wie Kontext, Stimmlage, Mimik und Körpersprache des Gegenübers zu sammeln und durch Sensorfusion zu kombinieren (vgl. Huang et al. 2007). Der Roboter erlangt so ein Verständnis der emotionalen Lage des Benutzers und kann seine Reaktion und Mimik durch Technologien wie KI, APIs oder soziale Roboter-Frameworks darstellen (vgl. Breazeal 2003).

3.1.1 Auswahl der Mimik

Das Ziel ist, durch Auswahl der Mimik eine verbesserte MRI zu erreichen. Um die Mimik festzulegen, wird eine Liste an Emotionen und visuellen Mechanismen entwickelt und anschließend in einem Emotional Wheel dargestellt. Hierzu werden vor allem Beispiele aus der sozialen Robotik, wie Studien zur Psychologie, Emotionsforschung und Autismusforschung betrachtet.

3.1.1.1 Theoretische Grundlagen

Die Sechs Basisemotionen

Psychologe Paul Ekman entwickelte zusammen mit Wallace V. Friesen das Facial Action Coding System (FACS) im Rahmen der Emotionsforschung. FACS ist ein umfassendes Tool, das die verschiedenen Bewegungen der Gesichtsmuskulatur codiert und analysiert, die mit bestimmten Emotionen verbunden sind (vgl. Ekman / Friesen 1971:124 f.f.). Er identifizierte sechs Basisemotionen als universell und kulturübergreifend erkennbar. Diese sechs Basisemotionen sind *Freude, Trauer, Angst, Zorn, Überraschung und Ekel* (vgl. Ekman 1992:169 f.f.). Ekmans Erkenntnisse sind für die Robotik besonders relevant, da sie die Grundlage für die Entwicklung von Robotern bilden, die in der Lage sind, menschliche Emotionen zu erkennen und entsprechend zu reagieren (vgl. Janowski / André 2021:303 f.).



Abbildung 22: Die sechs Basisemotionen (Horkovska in Calmerry Blog 2023)

QTrobot

Im Rahmen von therapeutischen Ansätzen der Autismusforschung werden die sechs Basisemotionen verwendet, um emotionale Erkennungsfähigkeit zu trainieren und zu verstärken (vgl. Admoni et al. 2012:275 f.f.). Der Einsatz von Robotern zur Behandlung von Kindern mit Autismus gilt als eines der Hauptanwendungsgebiete der sozialen Robotik (vgl. Baisch / Kolling 2021:425 f.f.).

Der Roboter QTrobot, entwickelt von LuxAI, wird in Therapie- und Trainingssitzungen für Kinder mit Autismus eingesetzt. Er nutzt die sechs Basisemotionen, um Übungen durchzuführen, die darauf abzielen, die emotionale Erkennung und das Verständnis zu fördern (vgl. LuxAI o.J.).

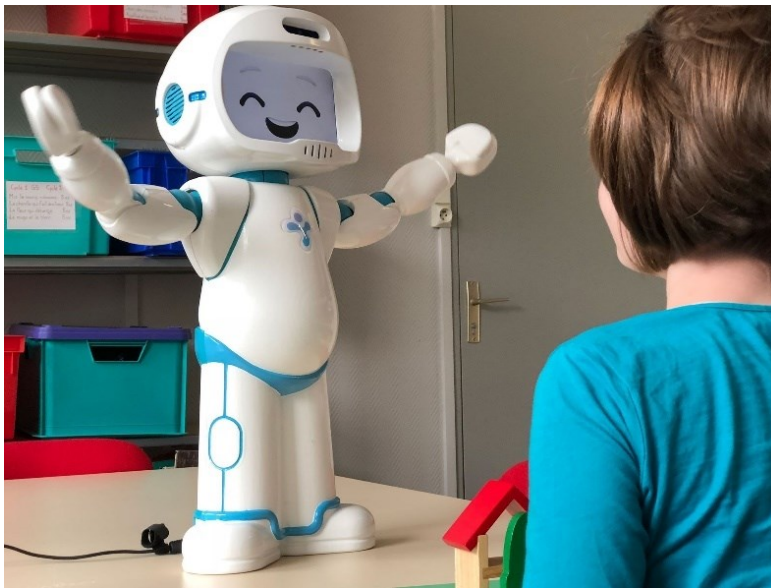


Abbildung 23: QRobot (LuxAI, in IEEE - Robots Guide o. J.)

Mit seiner Weiterentwicklung kann QRobot inzwischen über 30 verschiedene Emotionen darstellen. Diese Emotionen werden in einem Emotion Wheel (engl.: Gefühlsrad) dargestellt und umfassen unter anderem *Aufregung, Zufriedenheit, Enttäuschung, Verwirrung, Sorge, Schüchternheit, Verlegenheit, Depressiertheit, Nervosität, Schreck, Ruhe, Genervtheit, Irritiertheit und Zorn* (vgl. LuxAI o. J.:9).



Abbildung 24: Emotion Wheel Qrobot (LuxAI o. J.)

Studien von Professor Brian Scassellati, der Yale University, haben gezeigt, dass der Einsatz von sozial interaktiven Robotern wie QTrobot positive Auswirkungen auf das Lernen und die soziale Entwicklung von Kindern mit Autismus hat (vgl. Scassellati et al. 2018).

Emotion Wheels

Emotion Wheels (engl. Gefühlsräder) werden nicht nur im Rahmen der Autismusforschung angelegt. In mehreren Fällen der sozialen Robotik werden sie in der Entwicklung als Mittel zur Festlegung, Darstellung und Messung der Emotionen des Roboters genutzt (vgl. McGinn et al. 2018:1 f.).

Das Geneva Emotion Wheel (GEW) basiert auf einem radförmigen Diagramm, das eine Vielzahl von Emotionen aufzeigt, die nach ihrer Valenz (positiv oder negativ) und Erregung (hoch oder niedrig) organisiert sind (vgl. Shuman et al. 2015:1 f.f.; McGinn et al. 2018:1).

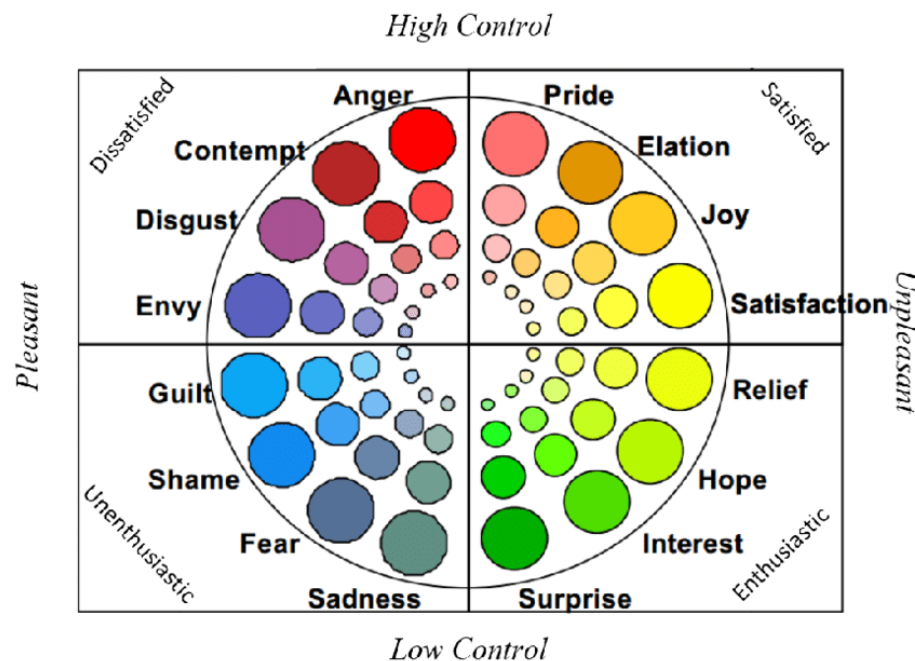


Abbildung 25: Geneva Emotion Wheel (Tran 2004 in Krassmann et al., ResearchGate 2018)

Auf ähnliche Weise wird das Plutchik Wheel of Emotions angewandt, das durch den Psychologen Robert Plutchik entwickelt wurde. Das Plutchik Wheel of Emotions ist ein theoretisches Modell zur Darstellung menschlicher Emotionen und deren Beziehungen zueinander. Im Plutchik Wheel of Emotions werden die Emotionen ebenfalls nach Valenz und Erregung angeordnet. Zusätzlich zeigt das Rad primäre, sekundäre und tertiäre Emotionen und somit wie Basisemotionen zu komplexeren Emotionen kombiniert werden können (vgl. Imbir 2017; Plutchik 1980).

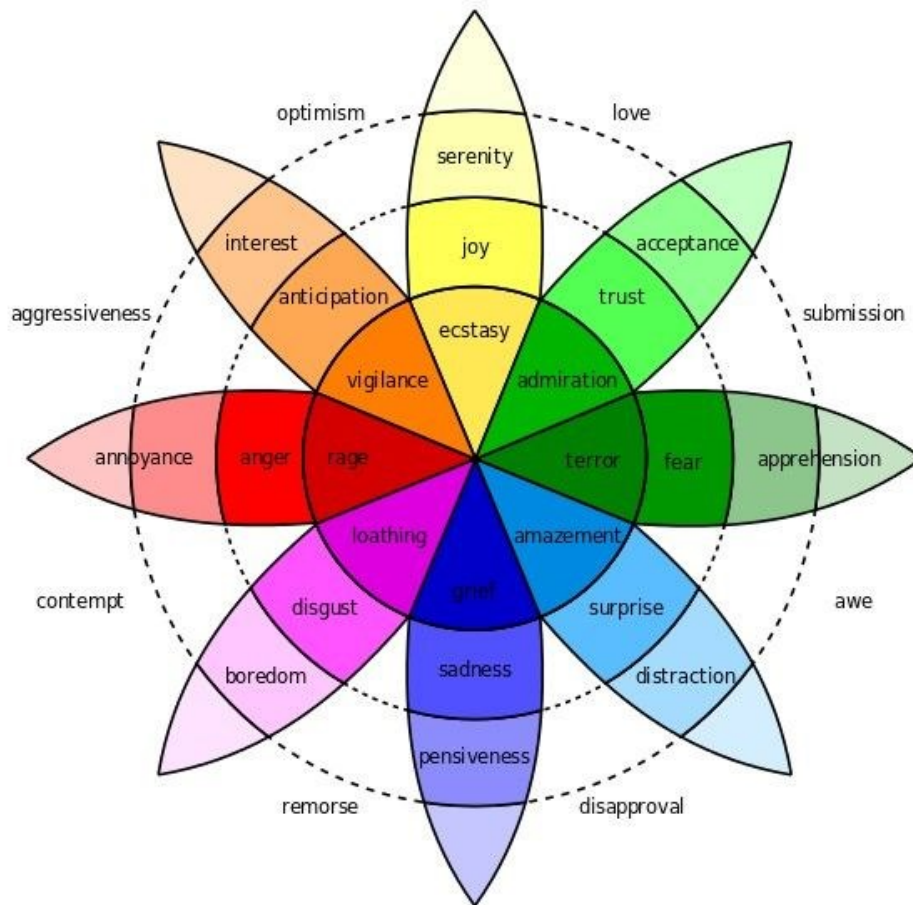


Abbildung 26: Plutchik's Wheel of Emotions (Plutchik o. J.)

Nonverbale Kommunikation zur Verbesserung der MRI

Die Anwendung von sozialen Signalen dient der Verbesserung der MRI. Hierzu gehören Aspekte der nonverbalen Kommunikation wie Gesichtsausdrücke, Körpersprache, Tonfall und Sprechweise, Blickkontakt oder Blickrichtung, Gesten, Berührung, räumlicher Abstand und kontextuelles Verhalten (vgl. Bartneck et al. 2020). Betrachtet man diese Aspekte im Zusammenhang mit der Mimik, lässt sich feststellen, dass neben dem Darstellen von Emotionen auch visuelle Mechanismen, wie Blicksignale, relevant für eine verbesserte MRI sind (vgl. Bartneck et al. 2020:101 f.).

Mehrere Studien untersuchen den Effekt des Blickkontakts auf die MRI (vgl. Breazeal / Scassellati 1999; Hayashi / Mizuuchi 2017). Erkenntnisse zeigen, dass der Blickkontakt Einfluss darauf nimmt, wie reibungslos MRI stattfinden kann und wie Menschen soziale Roboter bewerten (vgl. Bartneck et al. 2020:101). Ein Roboter, der die Aufmerksamkeit durch den Blick auf ein thematisiertes Objekt richtet, wird beispielsweise als intelligenter wahrgenommen (vgl. Bartneck et al. 2020:101 f.f.). Hält ein Roboter Blickkontakt mit einer Person, kann er ihre Aufmerksamkeit erregen beziehungsweise gewinnen. Wendet ein Roboter seinen Blick einer Person in einer Mehrparteieninteraktion zu, kann er steuern, wer reden soll (vgl. Bartneck et al. 2020:102 f.; Breazeal / Scassellati 1999). Durch gezielte Blickvermeidung kurz vor und während des Satzbeginns wirkt der Roboter nachdenklicher und somit natürlicher. Ebenso bewirkt das gelegentliche Blinzeln der Augen ein natürlicheres Erscheinungsbild und macht den Roboter zugänglicher (vgl. Bartneck et al. 2020:103).

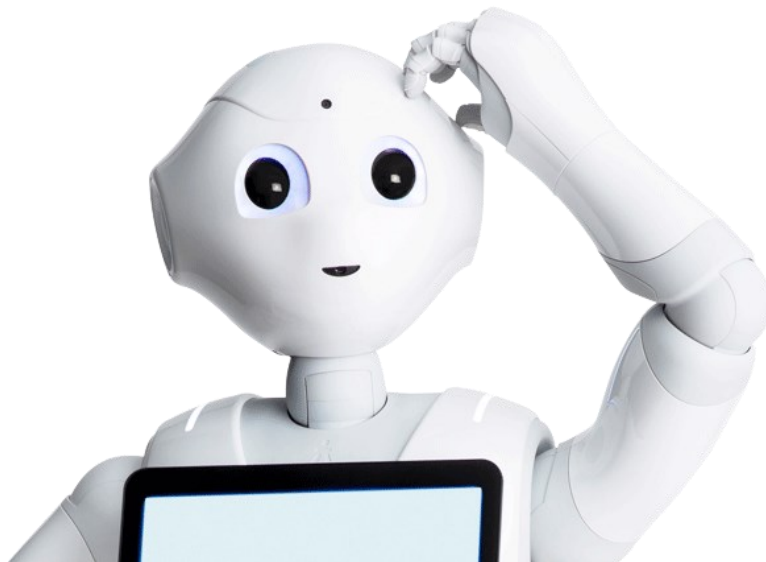


Abbildung 27: pepper Blickabwendung (Aldebran o. J.)

Kotaro Hayashi und Ikuo Mizuuchi der Tokyo University untersuchten im Rahmen einer Studie zur Mensch-Roboter-Kollaboration den Effekt des Augenblinzeln. Sie stellten fest, dass Roboter, die entweder in vorher festgelegten Intervallen oder zeitgleich mit den Probanden blinzeln eine bessere Mensch-Roboter-Kollaboration aufweisen, als Roboter, die nicht blinzeln oder keine Augen haben (vgl. Hayashi / Mizuuchi 2017).

3.1.1.2 Liste der Mimik

Basierend auf den theoretischen Grundlagen wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Listen spezifischer Mimiken entwickelt, die den Roboter in die Lage versetzen sollen, verschiedene emotionale Zustände effektiv zu kommunizieren und die Mensch-Roboter-Interaktion zu optimieren.

Aufteilung der Liste

Es wird zwischen einer Liste der Emotionen und einer Liste der visuellen Mechanismen unterschieden. Diese Unterscheidung ist von entscheidender Bedeutung, da beide Kategorien unterschiedliche Funktionen in der Mensch-Roboter-Interaktion erfüllen.

Emotionale Mimiken dienen dazu, spezifische emotionale Zustände zu vermitteln und eine empathische Verbindung zum menschlichen Interaktionspartner herzustellen. Diese Emotionen werden gezielt und situationsabhängig eingesetzt, um die Intentionen des Roboters klar zu kommunizieren und die emotionale Wirkung zu verstärken. Die Unterscheidung in diese beiden Kategorien ermöglicht eine präzise Programmierung und Steuerung der Gesichtsausdrücke des Roboters, wodurch eine flexible und kontextangemessene Mensch-Roboter-Interaktion erreicht wird.

Visuelle Mechanismen hingegen sind grundlegende, nonverbale Ausdrucksformen, die kontinuierlich während des Dialogs ablaufen und dem Roboter eine lebendige, realitätsnahe Präsenz verleihen. Sie tragen zur natürlichen und flüssigen Kommunikation bei, indem sie beispielsweise durch regelmäßiges Blinzeln oder Lippenbewegungen beim Sprechen eine menschliche Erscheinung nachahmen.

Anpassung der Liste

Ursprünglich waren die visuellen Mechanismen auf grundlegende Aktionen wie Sprechen, Blinzeln und Nachdenken beschränkt. Im Rahmen der Entwicklung der Mimik wurde jedoch entschieden, die visuellen Mechanismen um spezifische Sprechanimationen zu erweitern, die die Basisemotionen ausdrücken. Diese Erweiterung trägt dem Umstand Rechnung, dass die Art und Weise, wie ein Roboter spricht, eine wesentliche Rolle bei der Vermittlung emotionaler Nuancen spielt, und dass die Integration dieser Emotionen in die Sprechbewegungen die kommunikative Wirkung deutlich erhöht.

Gleichzeitig wurde festgestellt, dass das Blinzeln keine eigenständige Animation darstellt, sondern als integraler Bestandteil in andere Mimik eingebaut werden sollte. Dies liegt daran, dass Blinzeln eine natürliche und kontinuierliche Bewegung ist, die nicht nur als visuelle Mechanik, sondern auch zur Verstärkung emotionaler Ausdrucksformen dient. Durch die Einbettung des Blinzeln in bestehende Mimik wird die Interaktion flüssiger und realitätsnäher gestaltet.

Indem die Sprechanimationen mit Basisemotionen als Teil der visuellen Mechanismen und nicht der Emotionen klassifiziert werden, wird zudem gewährleistet, dass die emotionale Modulation im Kontext der verbalen Kommunikation präzise gesteuert und an die spezifischen Interaktionsanforderungen angepasst werden kann. Dies unterstützt eine differenzierte und flexible Darstellung des emotionalen Zustands des Roboters während des Sprechens, ohne die generelle emotionale Mimik zu überlagern.

Emotionen

Emotion	Theoretische Grundlage
Freude	Basisemotion nach Ekman
Trauer	Basisemotion nach Ekman
Angst	Basisemotion nach Ekman
Zorn	Basisemotion nach Ekman
Überraschung	Basisemotion nach Ekman
Ekel	Basisemotion nach Ekman
Aufregung	Emotional Wheel des QTRobot
Zufriedenheit	Emotional Wheel des QTRobot
Enttäuschung	Emotional Wheel des QTRobot
Verwirrung	Emotional Wheel des QTRobot
Sorge	Emotional Wheel des QTRobot
Schüchternheit	Emotional Wheel des QTRobot
Verlegenheit	Emotional Wheel des QTRobot
Deprimiertheit	Emotional Wheel des QTRobot

Nervosität	Emotional Wheel des QTRobot
Schreck	Emotional Wheel des QTRobot
Ruhe	Emotional Wheel des QTRobot
Genervtheit	Emotional Wheel des QTRobot
Irritiertheit	Emotional Wheel des QTRobot
Wut	Emotional Wheel des QTRobot
Neutralität	Als Ausgangspunkt

Visuelle Mechanismen

Visueller Mechanismus	Theoretische Grundlage
Sprechen Neutralität	Use Case Dialogroboter
Denken (Blickabwendung)	Andrist
Sprechen Freude	Use Case Dialogroboter
Sprechen Überraschung	Use Case Dialogroboter
Sprechen Trauer	Use Case Dialogroboter
Sprechen Angst	Use Case Dialogroboter
Sprechen Ekel	Use Case Dialogroboter
Sprechen Zorn	Use Case Dialogroboter

Jarvis Wheel of Emotions

Zur systematischen Darstellung und Klassifikation der emotionalen Ausdrücke des Roboters Jarvis wurde ein emotionales Wheel entwickelt, das auf den sechs Basisemotionen basiert. Im Zentrum des Wheels befindet sich der emotionale Zustand 'Neutral', von dem aus sechs Richtungen in Übereinstimmung mit den Basisemotionen verlaufen. Jede dieser Richtungen repräsentiert eine emotionale Dimension, die in drei Abstufungen unterteilt ist.

Der zweite Grad jeder Richtung repräsentiert die Basisemotion, wie beispielsweise 'Freude'. Diese Basisemotion wird als zentraler emotionaler Ausdruck definiert, von dem aus schwächere und stärkere Varianten dieser Emotion abgeleitet werden. Der erste Grad stellt eine abgeschwächte Form der Basisemotion dar, wie etwa 'Ruhe' oder 'Zufriedenheit' als abgeschwächte Variante von 'Freude'. Der dritte Grad hingegen repräsentiert eine intensivere Ausprägung der Basisemotion, wie 'Aufregung' als verstärkte Form von 'Freude'.

Diese strukturierte Anordnung der Emotionen im emotionalen Wheel ermöglicht eine differenzierte und nuancierte Steuerung der emotionalen Ausdrucksformen des Roboters. Durch die Abstufungen können sowohl subtile als auch intensive emotionale Reaktionen dargestellt werden, was die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Roboters in verschiedenen Interaktionsszenarien erhöht. Darüber hinaus wird durch die zentrale Position des neutralen Zustands eine klare Orientierung und Ausgangsbasis für die emotionale Modulation geschaffen.



Abbildung 28: Jarvis Wheel of Emotions

3.1.2 Benennung der Mimik

Im Rahmen der Entwicklung der Mimik für den sozialen Dialogroboter wurde ein standardisiertes Benennungssystem etabliert, das sowohl die Eindeutigkeit als auch die Nachvollziehbarkeit der einzelnen Mimikdarstellungen gewährleistet. Dieses System umfasst die Vergabe eines deutschen Namens, eines englischen Namens und einer eindeutigen Identifikationsnummer (ID) für jede Mimik. Die ID dient zugleich als Dateiname und stellt sicher, dass die Mimik in der Programmierung und im Datenaustausch konsistent identifiziert werden kann.

Verwendung von Nomen

Für die Benennung der Mimiken wurden bewusst Nomen anstelle von Adjektiven gewählt (z.B. 'Freude' und 'Happiness' statt 'froh' und 'happy'), um eine eindeutige und präzise Bezeichnung zu gewährleisten. Nomen bieten den Vorteil, dass sie den emotionalen Zustand klar benennen, während Adjektive potenziell mehrdeutig sein können und in ihrer Anwendung variieren. Diese Entscheidung zur Verwendung von Nomen stellt eine höhere terminologische Konsistenz sicher und erleichtert die Integration der Mimiken in verschiedene Nutzungskontexte, sowohl in der Programmierung als auch in der Anwendung durch Endnutzer.

Benennung visueller Mechanismen

Die visuellen Mechanismen, die eher eine Aktion als einen emotionalen Zustand darstellen, wurden entsprechend ihrer Funktion benannt, wie etwa 'Denken' und 'Thinking' für den Mechanismus des Nachdenkens. Sprechanimationen, die mit den Basisemotionen kombiniert wurden, sind nach einem festgelegten Muster benannt, beispielsweise 'Sprechen Freude' (deutsch) und 'Talking Happiness' (englisch). Diese Benennung kombiniert die Beschreibung der Aktion ('Sprechen' bzw. 'Talking') mit der entsprechenden Emotion, um die spezifische Ausführung der Sprechbewegungen im Kontext der jeweiligen Emotion klar zu kennzeichnen.

Struktur der Identifikationsnummern (IDs)

Die Identifikationsnummern (IDs) folgen einem strukturierten Schema, das sowohl die Position der Emotion im emotionalen Wheel als auch die Art der Mimik berücksichtigt. Beispielsweise repräsentiert die ID *em121_hap* die Emotion 'Freude' (*em* für Emotion, *121* beschreibt die Position der Emotion auf dem Wheel: 1 – erste Richtung, 2 – zweiter Grad, 1 – Unterscheidungsnummer zu anderen Emotionen an derselben Position) und *hap* ist die Abkürzung für 'Happiness'.

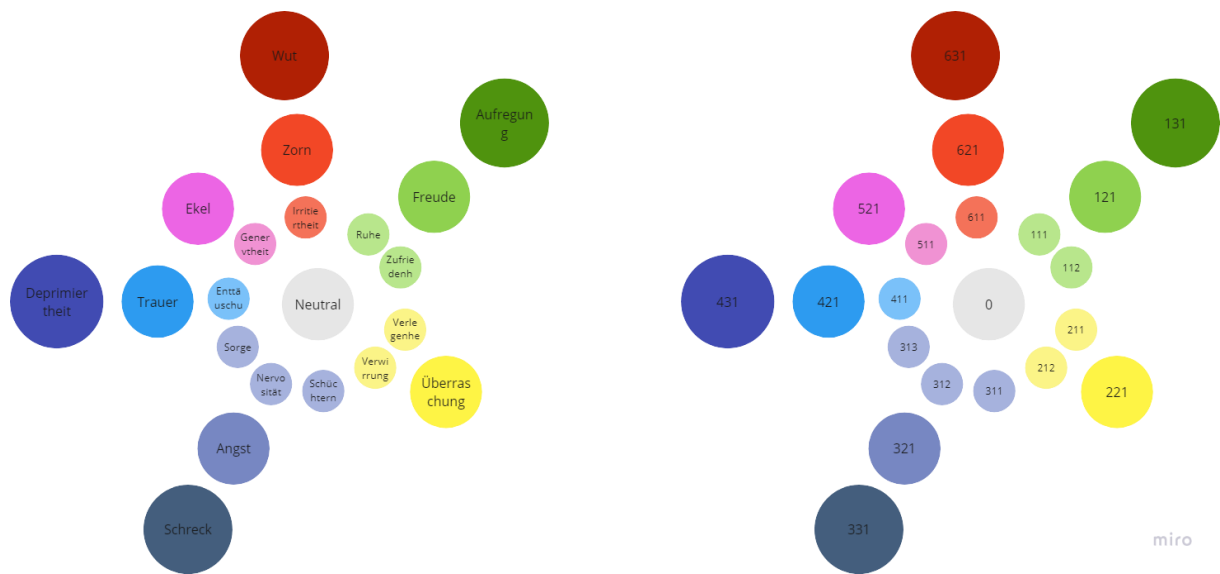


Abbildung 29: Jarvis Wheel of Emotions - ID Struktur

Für die nachträglich ergänzte Sprechanimation 'Sprechen Freude' wurde die ID *vm02_tal_hap* verwendet, wobei *vm* für visuellen Mechanismus steht. Die Nummer 02 dient der fortlaufenden Nummerierung der visuellen Mechanismen, da diese nachträglich implementiert wurden und somit nicht an das emotionale Wheel angepasst werden konnten. Die Abkürzungen *tal* und *hap* stehen für 'Talking' und 'Happiness'.

Dieses strukturierte Benennungssystem dient nicht nur der eindeutigen Identifikation, sondern unterstützt auch die Standardisierung und Konsistenz in der Programmierung sowie der späteren Erweiterung des Mimiksets. Durch die klare und systematische Benennung wird die Implementierung der Mimik in verschiedenen technischen Kontexten, wie etwa der Animation und der Sprachsteuerung, vereinfacht und die Nachvollziehbarkeit der Emotionen und visuellen Mechanismen im gesamten System erhöht.

Benennung der Mimik

ID / Dateiname	Name DE	Name ENG
em0_neu.mp4	Neutralität	Neutrality
em111_cal.mp4	Ruhe	Calmness
em112_sat.mp4	Zufriedenheit	Satisfaction
em121_hap.mp4	Freude	Happiness
em131_exc.mp4	Aufregung	Excitement
em211_emb.mp4	Verlegenheit	Embarrassment
em212_con.mp4	Verwirrung	Confusion
em221_sur.mp4	Überraschung	Surprise
em311_shy.mp4	Schüchternheit	Shyness
em312_ner.mp4	Nervosität	Nervousness
em313_con.mp4	Sorge	Concern
em321_fea.mp4	Angst	Fear
em331_sho.mp4	Schreck	Shock
em411_dis.mp4	Enttäuschung	Disappointment
em421_sad.mp4	Trauer	Sadness
em431_dep.mp4	Deprimiertheit	Depression
em511_ann.mp4	Genervtheit	Annoyance
em521_dis.mp4	Ekel	Disgust
em611_irr.mp4	Irritiertheit	Irritation
em621_ang.mp4	Zorn	Anger
em631_fur.mp4	Wut	Fury

3.1.3 Entwurf der Mimik

3.1.3.1 Optik

Für die Gestaltung des virtuellen Robotergesichts wurden folgende ästhetische Entscheidungen auf Basis der Umfrageergebnissen und Analyse zum Thema Roboter getroffen:

Farbwahl

Die Entscheidung für ein leuchtendes Blau wurde auf Grundlage der durchgeführten Umfrage sowie der anschließenden Auswertung getroffen. Diese Farbe wurde gewählt, da sie häufig mit Robotern assoziiert und als positiv wahrgenommen wird.

Augen

Die Augen sind groß und leicht quadratisch mit abgerundeten Kanten gestaltet, um einen modernen und ansprechenden Look zu erzielen. Ihre Form ist dabei leicht vertikal gestreckt, was eine kulturelle Anpassung (an west-europäische Länder) darstellt, um spezifische ästhetische Erwartungshaltungen zu berücksichtigen.

Mund

Der Mund ist als breite, abgerundete Linie konzipiert, ebenfalls unter Berücksichtigung kultureller Präferenzen. Diese Gestaltung soll Freundlichkeit und Zugänglichkeit ausstrahlen.

Augenbrauen

Die Augenbrauen sind optional und können je nach gewünschter Mimik ein- oder ausgeblendet werden, um den emotionalen Ausdruck des Gesichts zu variieren.

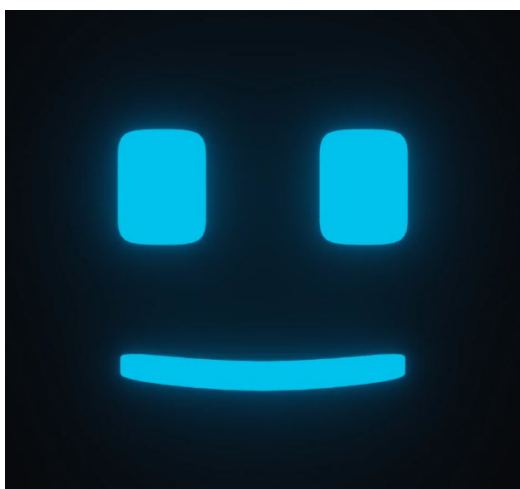


Abbildung 30: Jarvis Neutral

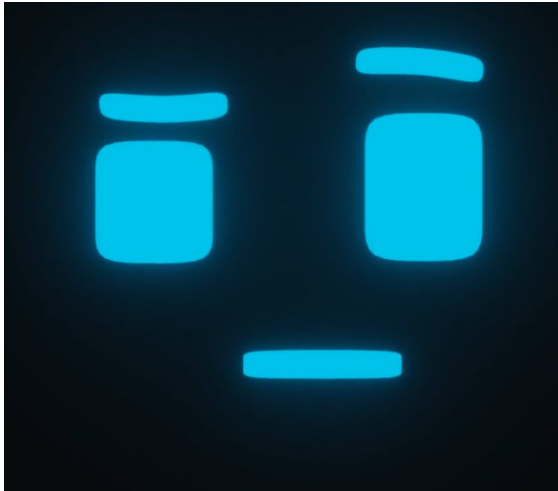


Abbildung 31: Jarvis Verwirrung

3.1.3.2 Mimik

Für die Gestaltung der Mimik des virtuellen Robotergesichts wurden folgende Ansätze gewählt:

Orientierung an Emojis

Die Mimik basiert auf Emojis, da diese aufgrund ihrer weitverbreiteten Verwendung kulturell intuitiv verständlich sind. Emojis bieten eine klare und einfache Möglichkeit, Emotionen darzustellen, die von Menschen unterschiedlicher Kulturen leicht interpretiert werden können.

Inspiration durch animierte Roboter

Zusätzlich wurde die Mimik durch Roboter aus der Animationswelt inspiriert. Beispiele aus diesem Bereich, wie K-VRC aus der Serie „Love, Death, Robots“ dienen als Grundlage, da diese Charaktere häufig menschliche Emotionen auf verständliche und visuell ansprechende Weise darstellen, wodurch die emotionale Interaktion zwischen Mensch und Roboter erleichtert wird.



Abbildung 32: K-VRC (Quelle: Love Death + Robots Wiki 2020)

Diese Designentscheidungen zielen darauf ab, ein freundliches und ansprechendes Erscheinungsbild für das virtuelle Robotergesicht von Jarvis zu schaffen, das gleichzeitig kulturelle Vorlieben respektiert.

3.1.3.3 Vorgehensweise

Im Rahmen der Entwicklung der Mimik des virtuellen Robotergesichts wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

Erste Skizze auf Basis der Gestalterischen Inspiration

Die Umfrageergebnisse zu Robotern mit positiven Assoziationen diente als Grundlage für die Entwicklung des Gestaltungskonzepts. Hierbei wurde vor allem die Designgruppe „6. Design mit Display als Gesicht“ als Inspiration hinzugezogen. Somit dienten Roboter wie Eve aus Wall-E, K-VRC aus der Serie „Three Robots“ oder der Desktop-Roboter Emo als kreative Inspirationsquellen.

Des weiteren wurde die Gestaltung der Mimik außerdem stark von iOS-Emojis inspiriert, da diese intuitiv erkennbar sind und von den meisten Nutzern verstanden werden.



Abbildung 33: Jarvis - Erste Skizzen

Erstellung einer Tabelle

Zunächst wurde tabellarisch festgehalten, wie einzelne Elemente (Augen, Mund) bei den verschiedenen Emotionen gestaltet sein sollen. Diese Tabelle dient als zentrale Grundlage für die Animationen und gewährleistet eine konsistente Darstellung der Emotionen (vgl. Angang „Jarvis_Animationen.xlsx“).

Bei der Gestaltung wird davon ausgegangen, dass das neurale Gesicht, mit offenen Augen und dem Mund als leichter Kurve nach oben, als Basis gilt. Zur Erstellung der jeweiligen Mimik wird das Basisgesicht entsprechend der tabellarischen Vorgaben angepasst.

Gestaltung Mimik

Name DE	Gestaltung Auge (links)	Gestaltung Auge (rechts)	Gestaltung Mund
Sprechen Neutralität	offen und blinzelnd	offen und blinzelnd	leichte Kurve nach oben und sprechend
Denken	diagonal nach oben	diagonal nach oben	Kurve nach unten, diagonal nach oben, schmal
Sprechen Freude	leicht geschlossen nach oben geneigt	leicht geschlossen nach oben geneigt	Kurve nach oben und sprechend
Sprechen Überraschung	weit offen	weit offen	schmal, weit offen und sprechend
Sprechen Trauer	außen zusammengezogen	außen zusammengezogen	Kurve nach unten und sprechend
Sprechen Angst	außen zusammengezogen und weit offen	außen zusammengezogen und weit offen	offen, oben schmaler als unten und sprechend
Sprechen Ekel	offen innen zusammengezogen	leicht geschlossen	leichte Kurve nach unten, links leicht offen, rechts weit offen
Sprechen Zorn	innen zusammengezogen	innen zusammengezogen	Kurve nach unten und sprechend
Neutralität	offen und blinzelnd	offen und blinzelnd	leichte Kurve nach oben
Ruhe	leicht geschlossen	leicht geschlossen	mittlere Kurve nach oben
Zufriedenheit	leicht geschlossen nach unten geneigt	leicht geschlossen nach unten geneigt	leichte Kurve nach oben
Freude	offen	offen	Kurve nach oben
Aufregung	weiter offen	weiter offen	Kurve nach oben offen
Verlegenheit	weit offen	weit offen	Linear schmal
Verwirrung	leicht geschlossen	leicht innen zusammengezogen	rechts leicht offen leicht nach unten
Überraschung	weit offen	weit offen	schmal und weit offen
Schüchternheit	diagonal nach unten	diagonal nach unten	leichte kurve nach oben

Nervosität	offen bewegend von links nach rechts	offen bewegend von links nach rechts	außen leicht offen
Sorge	außen zusammengezogen	außen zusammengezogen	Linear
Angst	außen zusammengezogen und weit offen	außen zusammengezogen und weit offen	leichte Kurve nach unten offen
Schreck	außen zusammengezogen und weit offen	außen zusammengezogen und weit offen	weit offen und oben schmaler als unten
Enttäuschung	geschlossen nach unten geneigt	geschlossen nach unten geneigt	leichte Kurve nach unten offen
Trauer	außen zusammengezogen	außen zusammengezogen	Kurve nach unten
Deprimiertheit	geschlossen nach unten geneigt	geschlossen nach unten geneigt	leichte Kurve nach unten
Genervtheit	obere Kante glatt, leicht nach rechts	obere Kante glatt, leicht nach rechts	leichte Kurve nach unten
Ekel	innen zusammengezogen	leicht geschlossen nach oben geneigt	leichte Kurve nach unten, rechts weiter offen als links
Irritiertheit	leicht innen zusammengezogen	leicht innen zusammengezogen	leichte Kurve nach unten
Zorn	innen zusammengezogen	innen zusammengezogen	Kurve nach unten
Wut	stark innen zusammengezogen	stark innen zusammengezogen	starke Kurve nach unten offen

Betrachtet man beispielsweise die farblich hervorgehobene Spalte zur Mimik „Ekel“ (S. 56), können die Gestaltungsvorgaben wie folgt angewandt werden:



Abbildung 34: Neutrale Mimik als Basis

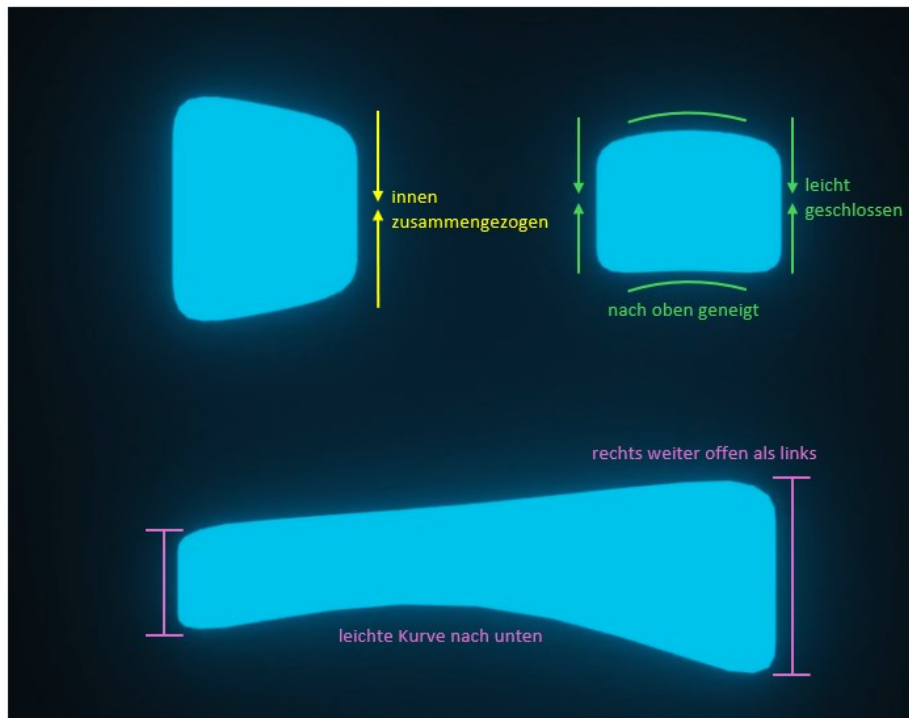


Abbildung 35: Angepasste Mimik „Ekel“

Gestaltung durch Modularität

Für die Gestaltung der Mimik wurde das Prinzip "Modularität" angewandt. In Disneys „Illusion of Life“ bezieht es sich auf den Prozess, bei dem die einzelnen Bestandteile eines Gesichts (z. B. Augen, Mund, Augenbrauen) separat gezeichnet oder animiert und dann für verschiedene Gesichtsausdrücke kombiniert werden (vgl. Thomas et al. 1981). Dies ermöglicht eine größere Flexibilität und Effizienz in der Animation, da die Gesichtsteile wiederverwendet und neu angeordnet werden können, um verschiedene Emotionen oder Ausdrücke darzustellen. Diese Technik ermöglicht es Animatoren, durch das Variieren einzelner Teile komplexe Mimik zu erzeugen, ohne jedes Mal das gesamte Gesicht neu zu zeichnen.

Arbeiten in zwei separaten Dateien

Zur Optimierung des Arbeitsprozesses wurden zwei unterschiedliche Dateien erstellt:

- Eine Datei, für die Mimik, bei der die Augen symmetrisch gestaltet werden können, sodass nur ein Auge animiert und das andere gespiegelt werden kann.
- Eine weitere Datei, für die Mimik, bei der die Augen unterschiedlich gestaltet werden müssen, wodurch beide Augen einzeln animiert werden müssen.

Erstellung der Mimik „Neutralität“ als Basis-Keyframe

Zunächst wurde die Mimik „Neutralität“ in Blender als Basis-Keyframe angelegt, da diese später als Ausgangspunkt für alle weiteren Emotionen dient.

Modellierung in Blender

Augen und Mund wurden als Planes in Blender erstellt. Eine schwarze Plane diente als Hintergrund, um das leuchtende Blau des Robotergesichts besser zur Geltung zu bringen. Die Kamera wurde frontal positioniert, um einen 2D-Effekt zu erzielen. Das Material für das Gesicht wurde in einem hellen Blau (HEX 00C2FF) mit einer Emissionsstärke von 2.5 angelegt, um einen leuchtenden Effekt zu erzeugen.

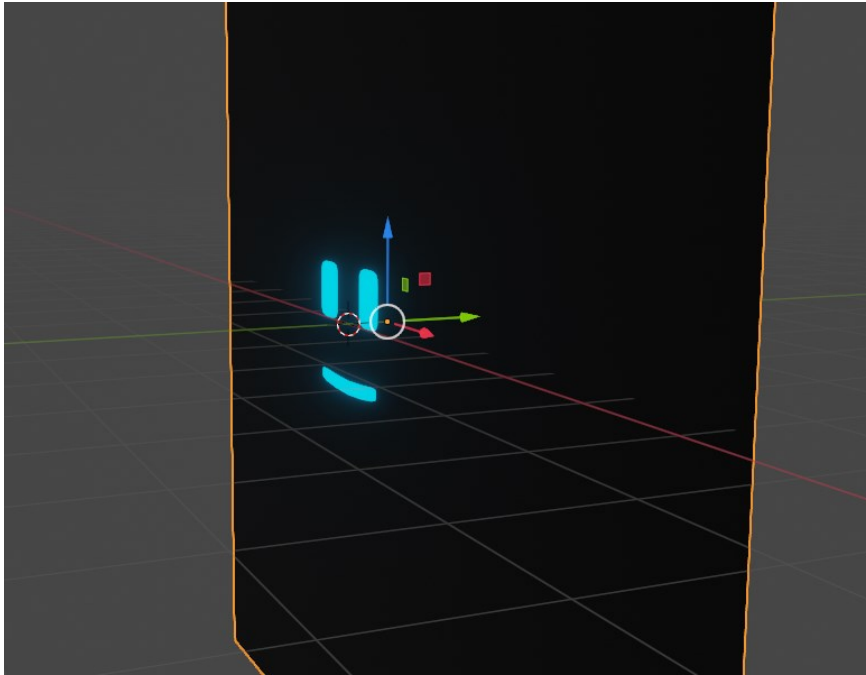


Abbildung 36: Modellierung in Blender

Keyframe-Animation in Blender

Schließlich wurden für jede Emotion die entsprechenden Shape Keys erstellt. Man spricht von Shape Keys (engl. Formschlüssel), da die Form des Objektes angepasst wird. Hierzu wird das zu animierende Objekt ausgewählt (z.B. der Mund) und ein neuer Shape Key wird angelegt. Im Bearbeitungsmodus kann das Objekt angepasst werden (z.B. Kurve des Mundes nach unten neigen). Anschließend kann der neu angelegte Shapekey als Keyframe in die Zeitleiste eingefügt werden. Dabei kann ein Wert zwischen 0 und 1 angegeben – 0 ist die Ausgangsform des Objektes ohne Veränderung und 1 ist die Form des neu angelegten Shape Keys. Werden mehrere Keyframes mit verschiedenen Werten oder Shape Keys in der Zeitleiste angelegt, animiert Blender automatisch die Übergänge. Diesen Prozess bezeichne ich im Kontext dieser Studie als Keyframe-Animation.

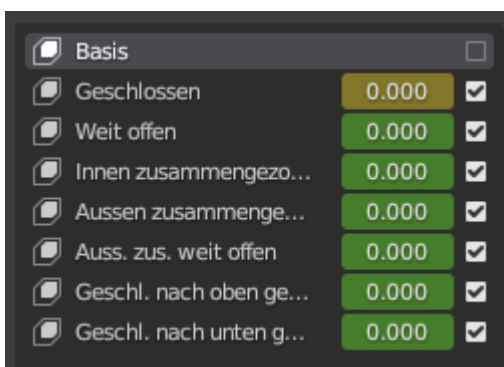


Abbildung 37: Blender Keyframes – Augen

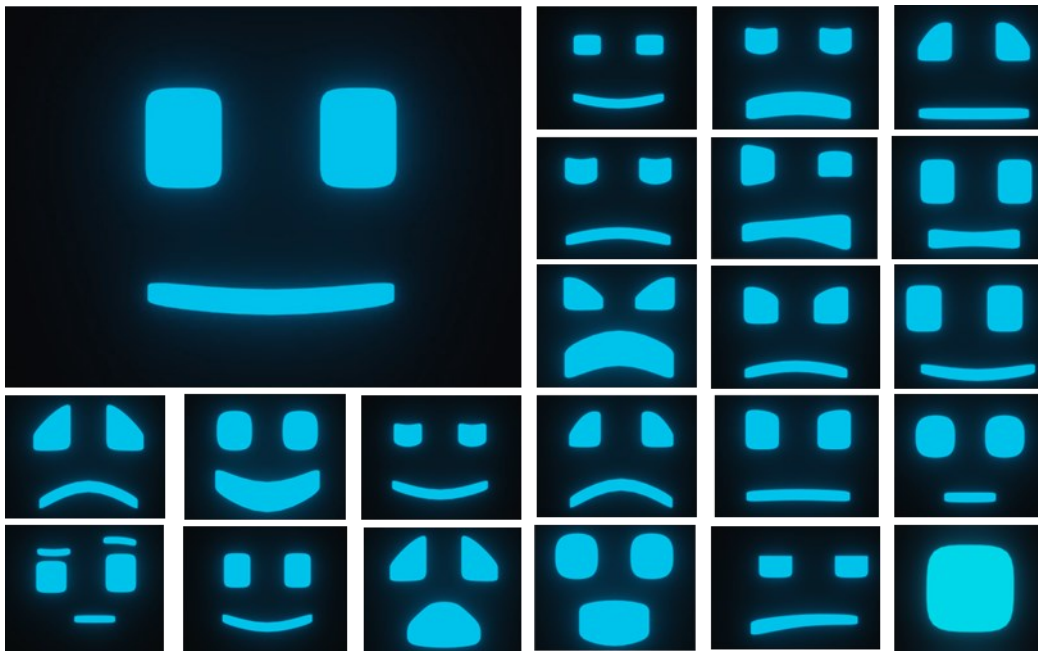


Abbildung 38: Jarvis – Mimik PNGs

3.1.3.4 Animiertes Quadrat

Für die Durchführung des A/B-Tests mussten Animationen für Jarvis ohne Gesicht entwickelt werden. Hierzu wurde ein einfaches, abgerundetes Quadrat als png-Datei erstellt. Das Quadrat wurde auf dieselbe Weise wie Jarvis' Mimik erstellt und verfügt über zwei Animationen:

- Eine drehende Animation, wenn Jarvis nachdenkt (Anhang „squ_thi.mp4“)
- Eine pulsierende Animation, wenn Jarvis redet (Anhang „squ_tal.mp4“)

Inspiration für dieses Design waren unter anderem Chatbots wie Siri und Roboter wie Figure 01 von OpenAI.

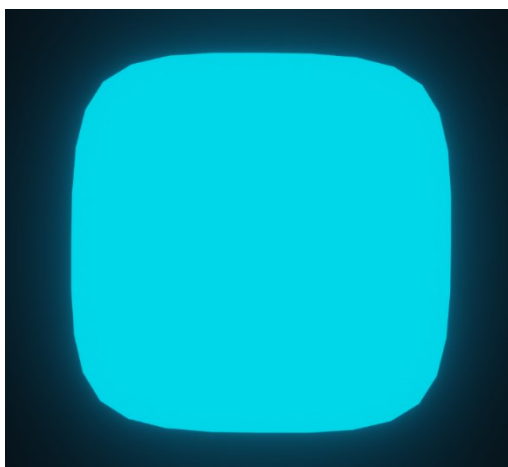


Abbildung 39: Jarvis - Quadrat

3.2 Entwicklung des Prototyps

Zur Durchführung der Tests sollte die entwickelte Mimik in Form von mp4-Dateien in die API-Umgebung von Jarvis implementiert werden. Die mp4-Dateien der Mimik wurden alle als zwei Sekunden lange Videos angelegt, damit Jarvis die Aufnahme bei Sekunde 1 pausieren kann, um die Länge der angezeigten Mimik entsprechend der Interaktion anzupassen.

Es sollten Prompts angegeben werden, die Jarvis einerseits Anweisungen dazu geben, wie er die Mimik im Rahmen eines Gespräches anwenden soll und andererseits vorgeben, wie er auf inhaltlicher Ebene das Gespräch beginnen und weiterführen soll.

Des Weiteren sollte eine zweite Version von Jarvis aufgesetzt werden, die statt der Mimik das animierte Quadrat anzeigt.

3.3 Experimenteller Plan des A/B-Tests

Um die Effektivität der entwickelten Mimik für den Dialogroboter Jarvis zu bewerten, wurde ein A/B-Test konzipiert. Ziel dieses Tests ist es, die Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) zu untersuchen, wobei die Mimikgestaltung des Roboters als zentrales Unterscheidungsmerkmal dient. Zwei Testgruppen werden miteinander verglichen: Gruppe A interagiert mit einer Version von Jarvis, die Mimik nutzt, während Gruppe B mit einer Version von Jarvis interagiert, die anstelle der Mimik nur ein animiertes Quadrat anzeigt.

3.3.1 Zielsetzung

Der experimentelle Plan des A/B-Tests sieht vor, dass jede Testgruppe eine spezifische Version des Roboters Jarvis erlebt:

Gruppe A

Diese Gruppe interagiert mit der Version von Jarvis, die die entwickelte Mimik nutzt. Die Mimik wird dabei eingesetzt, um verschiedene emotionale Zustände auszudrücken und die Interaktion lebendiger und natürlicher zu gestalten.

Gruppe B

Diese Gruppe interagiert mit einer vereinfachten Version von Jarvis, die anstelle eines menschlichen Gesichts ein einfaches animiertes Quadrat verwendet. Dadurch soll untersucht werden, wie stark die Mimik des Roboters die Qualität der Interaktion beeinflusst.

Der A/B-Test zielt darauf ab, Unterschiede in der Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion zwischen den beiden Gruppen zu identifizieren und zu bewerten, welche Auswirkungen die Mimik auf verschiedene Aspekte der Interaktion hat.

3.3.2 Hypothese

Die Hypothese des Experimentellen Plans lautet: "Die gezielte Gestaltung der Mimik bei Dialogrobotern optimiert die Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion im Vergleich zu Robotern ohne Mimik."

3.3.3 Bewertungskriterien

Um die Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) im Kontext dieses Experiments fundiert zu bewerten, wurden sechs zentrale Bewertungskriterien ausgewählt: Sympathie, Natürlichkeit, Komfort, wahrgenommene Intelligenz, emotionale Verbindung und Engagement. Diese Kriterien wurden auf Basis wissenschaftlicher Literatur und gängiger Bewertungsansätze für MRI definiert. Sie decken sowohl die emotionalen als auch die kognitiven Aspekte der Interaktion ab, sodass durch die Kombination subjektiver und objektiver Messungen dieser Kriterien ein ganzheitliches Bild der Interaktionsqualität geschaffen werden kann. Jedes dieser Kriterien trägt auf spezifische Weise zur ganzheitlichen Bewertung der Interaktion bei:

Sympathie

Sympathie beschreibt die positive emotionale Zuneigung, die ein Nutzer gegenüber dem Roboter empfindet. In der Mensch-Roboter-Interaktion spielt Sympathie eine zentrale Rolle, da sie direkt beeinflusst, wie angenehm und akzeptabel die Interaktion für den Nutzer ist. Ein Roboter, der als sympathisch wahrgenommen wird, fördert eine offene und vertrauensvolle Kommunikation, was die Bereitschaft zur weiteren Interaktion erhöht. Sympathie kann daher als Indikator dafür dienen, wie gut der Roboter in der Lage ist, eine positive emotionale Bindung zu seinem Gegenüber aufzubauen (vgl. Bartneck 2009:75; Fong et al. 2003).

Natürlichkeit

Natürlichkeit bezieht sich auf das Ausmaß, in dem die Interaktion mit dem Roboter als realitätsnah und authentisch empfunden wird. Eine natürliche Interaktion zeichnet sich dadurch aus, dass sie flüssig verläuft und den Eindruck erweckt, als würde man mit einem menschlichen Gesprächspartner kommunizieren. Insbesondere die Mimik eines Dialogroboters spielt eine entscheidende Rolle bei der Wahrnehmung von Natürlichkeit, da sie nonverbale Hinweise liefert, die für eine glaubwürdige Kommunikation essenziell sind. Eine hohe Natürlichkeit trägt dazu bei, kognitive Dissonanz beim Nutzer zu minimieren und die Akzeptanz des Roboters zu erhöhen (vgl. Fong et al. 2003).

Komfort

Komfort beschreibt das Gefühl der Bequemlichkeit und Ungezwungenheit während der Interaktion mit dem Roboter. Ein hoher Komfortlevel signalisiert, dass der Nutzer sich in der Interaktionssituation wohlfühlt und keine Anspannung oder Unbehagen verspürt. Komfort ist besonders wichtig, da er stark mit der Nutzerzufriedenheit korreliert und die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass Nutzer länger mit dem Roboter interagieren und zukünftige Interaktionen als positiv bewerten. Eine Mimik, die empathisch und beruhigend wirkt, kann entscheidend dazu beitragen, das Komfortgefühl des Nutzers zu steigern (vgl. Bartneck 2009:75; Fong et al. 2003).

Wahrgenommene Intelligenz

Die wahrgenommene Intelligenz bezieht sich auf die Einschätzung des Nutzers, wie intelligent und kompetent der Roboter in der Interaktion erscheint. Diese Einschätzung wird stark durch die Fähigkeit des Roboters beeinflusst, kontextgerechte Antworten zu geben und komplexe Gesprächsverläufe zu bewältigen. Eine glaubwürdige Mimik, die Emotionen und Verständnis signalisiert, kann die wahrgenommene Intelligenz verstärken, indem sie den Eindruck vermittelt, dass der Roboter nicht nur Informationen verarbeitet, sondern auch emotionale und soziale Kompetenzen besitzt. Die wahrgenommene Intelligenz ist ein wesentlicher Faktor für das Vertrauen, das Nutzer dem Roboter entgegenbringen (vgl. Bartneck et al. 2009:76; Breazeal et al. 2007).

Emotionale Verbindung

Die emotionale Verbindung beschreibt das Ausmaß, in dem der Nutzer eine emotionale Resonanz in der Interaktion mit dem Roboter empfindet. Eine starke emotionale Verbindung ist ein Zeichen dafür, dass der Roboter in der Lage ist, auf einer emotionalen Ebene zu kommunizieren und nicht nur sachliche Informationen auszutauschen. Diese Verbindung kann die Interaktion vertiefen und sie bedeutungsvoller gestalten. Die Mimik spielt hierbei eine entscheidende Rolle, da sie emotionale Zustände nicht nur ausdrücken, sondern auch beim Gegenüber hervorrufen kann. Eine gelungene emotionale Verbindung fördert die langfristige Bindung des Nutzers an den Roboter und dessen Akzeptanz als sozialen Interaktionspartner (vgl. Bartneck 2009:75).

Engagement

Engagement bezieht sich auf die aktive Beteiligung des Nutzers an der Interaktion und das Interesse, das er daran zeigt. Ein hohes Maß an Engagement deutet darauf hin, dass der Nutzer die Interaktion als interessant und wertvoll empfindet. Engagement kann sich in der Häufigkeit und Tiefe der vom Nutzer initiierten Themen sowie in der Dauer und Intensität der Interaktion widerspiegeln. Eine Mimik, die dynamisch und responsiv ist, kann das Engagement des Nutzers fördern, indem sie die Interaktion lebendiger und ansprechender gestaltet. Engagement ist ein entscheidender Indikator dafür, wie gut der Roboter die Aufmerksamkeit und das Interesse des Nutzers halten kann (vgl. Steinfeld et al. 2006:5; Breazeal et al. 2007).

Die Bewertungskriterien sollen im Rahmen der Nutzertests anhand von subjektiven und objektiven Messungen bewertet werden.

3.3.4 Auswertungsbögen

Zur systematischen Bewertung der Interaktion wurden zwei Arten von Auswertungsbögen entwickelt:

- Ein Nutzerfragebogen, den die Testpersonen nach der Interaktion ausfüllen
- Ein Beobachtungsbogen, der durch den Forscher bzw. durch automatische Dokumentation von Jarvis ausgefüllt wird

3.3.4.1 Nutzerfragebogen (subjektive Messung)

Der Nutzerfragebogen dient dazu, die subjektive Wahrnehmung der Testpersonen hinsichtlich der Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion zu erfassen. Im ersten Teil des Fragebogens werden demografische und technologische Hintergrundinformationen abgefragt:

Name

Zur Identifizierung und Zuordnung der Ergebnisse.

Alter

Altersgruppen können unterschiedliche Interaktionen und Wahrnehmungen von Robotern haben (vgl. Nomura et al. 2006).

Geschlecht

Geschlechtsunterschiede können Einfluss auf die MRI haben (vgl. Nomura et al. 2006).

Technologieaffinität

Zur Messung des Vertrautheitsniveaus mit Technologie (Likert-Skala 1-5). Die Erfahrung mit Technologie kann Einfluss auf die MRI haben (vgl. de Graaf et al. 2015).

Erfahrung mit Robotern

Vorherige Erfahrungen können die Erwartungen und das Verhalten beeinflussen (vgl. de Graaf et al. 2015).

Im zweiten Teil des Fragebogens wird die Testperson gefragt, ob sie mit der Mimik-Version oder der Quadrat-Version von Jarvis gesprochen hat. Basierend auf dieser Angabe wird sie zu einem der beiden Fragensätze weitergeleitet, die sich in der Terminologie unterscheiden, jedoch dieselben Bewertungskriterien abdecken.

Die Fragen sind eine Mischung aus Likert-Skala-Fragen (1-5 Zustimmung) und offenen Fragen, um eine detaillierte Bewertung der Kriterien zu ermöglichen.

Der vollständige Fragebogen ist im Anhang „Probanden_Fragebogen_leer.pdf“ zu finden.

3.3.4.2 Beobachtungsbogen (objektive Messung)

Der Beobachtungsbogen dient der quantitativen Erfassung der Interaktion zwischen der Testperson und dem Roboter, basierend auf denselben Kriterien wie der Nutzerfragebogen. Diese Daten werden sowohl durch die automatische Dokumentation von Jarvis als auch durch direkte Beobachtung sowie durch Auswertung der Videoaufnahmen gesammelt:

Interaktionsdauer

Gesamtdauer der Interaktion in Minuten.

Anzahl der Themen

Anzahl der besprochenen Themen.

Emotionale Ausdrücke des Nutzers:

Art und Anzahl der positiven Reaktionen (z.B. Lächeln, Lachen).

Art und Anzahl der negativen Reaktionen (z.B. Stirnrunzeln, Verwirrung).

Emotionale Ausdrücke des Roboters:

Art der Mimik (z.B. Freude em121_hap).

Anzahl eingesetzten Mimiken.

Gesprächsdynamik:

Anzahl der vom Nutzer initiierten Themen.

Anzahl der vom Roboter initiierten Themen.

Anzahl der Themenwechsel (Turn-Taking).

3.3.5 Skript für den A/B-Test

Für die Durchführung der Tests wurde ein Skript entwickelt, das die Interaktion ausreichend lenkt, sodass die Bewertungskriterien ausgewertet werden können und dennoch Freiheiten für den Probanden und Jarvis bietet.

Außerdem gewährleistet das Skript, dass jede Testperson eine vergleichbare Interaktion mit dem Roboter erlebt. Das Skript gliedert sich in folgende Teile:

1. **Einleitung (1 Minute):** Vorstellung des Tests und kurze Erklärung der Interaktion.
2. **Interaktive Phase (ca. 10 Minuten):** Hauptinteraktionsphase, in der Jarvis mit der Testperson spricht.
 - 2.1. **Offene Phase:** Ermöglicht der Testperson, selbst Themen einzubringen und die Interaktion zu steuern.
 - 2.2. **Emotionale Fragen (Positive und Negative):** Fragen, die verschiedene Emotionen hervorrufen sollen, ohne zu persönlich zu sein.
3. **Abschlussfrage:** Jarvis fragt, ob die Testperson das Gespräch angenehm fand.
4. **Verabschiedung:** Formelles Ende der Interaktion.

Das volle Skript ist im Anhang „Experimenteller_Plan.pdf“ auf Seite 4 zu finden.

Im Anschluss an die Interaktion füllt die Testperson den Nutzerfragebogen aus.

3.3.6 Ressourcen

Für die Durchführung des A/B-Tests werden folgende Ressourcen benötigt:

1. **Testpersonen:** Es sollen insgesamt 12 Personen, je 6 pro Gruppe, einzeln getestet werden.
2. **Equipment:**
 - 2.1. **Jarvis:** Der Roboter mit einem selbstgebastelten Körper.
 - 2.2. **Setting:** Ein Tisch mit zwei Stühlen, sodass Jarvis und die Testperson einander gegenüber sitzen.
 - 2.3. **Technische Ausstattung:**
 - iPad mit Prototyp, zur Darstellung des Gesichts von Jarvis und zur Bildschirmaufnahme (inkl. Audio).
 - Kamera zur Aufnahme des Gesichts der Testperson und zur Audioaufnahme.
 - Laptop zur Ausfüllung des Fragebogens.
 - Einverständniserklärung zur Unterzeichnung durch die Testperson



Abbildung 40: Jarvis mit Korpus

4 Durchführung

4.1 Implementierung des Prototyps

Die Implementierung des Prototyps von Jarvis erfolgte schrittweise. Zunächst wurden die vorab erstellten Animationen als MP4-Dateien in das System eingebettet. Jarvis erhielt dabei Prompts zur Darstellung der entsprechenden Mimik:

"Du bist eine KI, die die Mimik eines Roboters steuert, indem eine vorimplementierte Mimik ausgewählt und dann vom Roboter dargestellt wird. "

"Dazu hast Du folgende mögliche Emotionen zur Auswahl: (...)"

"Du bekommst in Text übertragene Dialoge (speech-to-text), die der Roboter mit einem Benutzer führt. "

"Wähle aus der Liste die Emotion aus, die am besten zu dem gegebenen Text passt. "

"Da Deine Antwort automatisch verarbeitet wird, antworte nur mit genau einem Wort – dem Namen der Emotion, in der korrekten Schreibweise. "

"Antworte sonst nichts und gib keine Erklärungen für Deine Antwort ab. "

Auf Grundlage dieser Prompts sollte Jarvis die jeweilige Mimik auf dem Bildschirm anzeigen. Zudem wurde Jarvis ein Skript übermittelt, welches ihn durch das Gespräch führen sollte. Zusätzlich wurde in Rücksprache mit Dr. Rößler entschieden, Jarvis den Prompt zu geben, zufällige Mimiken anzuzeigen, sofern keine spezifische Eingabe zur Mimik erfolgte. Grund hierfür war die Erkenntnis, dass Jarvis während des Zuhörens keine Sentimentanalyse durchführen und somit keine kontextgerechte Mimik anzeigen kann. Um ein natürliches Verhalten zu gewährleisten, wurde diese Auswahl auf neutrale und positive Mimiken eingeschränkt, um unpassende oder irritierende Gesichtsausdrücke zu vermeiden:

- Neutralität (em0_neu)
- Zufriedenheit (em112_sat)
- Freude (em121_hap)
- Verwirrung (em212_con)
- Denken (vm01_thi)

4.1.1 Aufgetretene Probleme bei der Implementierung

Trotz sorgfältiger Planung traten während der Implementierung mehrere Herausforderungen auf, die den Prototypen und die Tests beeinflussten, sowie den Zeitplan deutlich verzögerten.

Das zentrale Problem bestand darin, dass die ursprünglich programmierte Version von Jarvis nicht auf allen Geräten funktionierte. Dies führte zunächst zu dem Versuch, Jarvis als App zu implementieren, der jedoch ebenfalls nicht erfolgreich war. Letztendlich wurde eine webbasierte Lösung als praktikable Alternative gewählt. Aufgrund dieser technischen Umstellungen kam es zu Problemen mit dem Programmier-Environment. Entsprechend gab es keinen direkten Zugriff auf den Prototypen und so konnten Anpassungen nur in Absprache mit Dr. Rößler stattfinden, was die Testphase beeinträchtigte.

Zudem gab es Schwierigkeiten bei der Implementierung der Mimik und Emotionen. Eine Hürde der Mimik war, dass Jarvis einerseits nicht dazu im Stande war den Kontext des Gesprächs zu verarbeiten, während er seinem Gesprächspartner zuhört und dass er außerdem die mp4-Dateien nicht wie ursprünglich geplant pausieren konnte. Entsprechend kam der Entschluss zustande, Jarvis zufällige positive und neutrale Mimik anzeigen zu lassen. Ein weiteres zentrales Problem war die fehlerhafte bzw. fehlende Sentimentanalyse von Jarvis, weshalb er – abgesehen von der zufälligen Mimik – keine spezifischen emotionalen Reaktionen anzeigen konnte.

Weitere Hürden gab es bei der Durchführung des Skripts. Jarvis ist darauf ausgelegt, das Gespräch aktiv weiterzuführen und endet jede Antwort mit einer Gegenfrage, was jedoch hinderlich war, um das vorgegebene Skript erfolgreich durchlaufen zu lassen.

Die Version von Jarvis ohne Gesicht erwies sich ebenfalls als problematisch, da diese nicht nur statisch angezeigt wurde.

Darüber hinaus traten technische Probleme bei der Audioerkennung von Jarvis auf, insbesondere in Umgebungen mit Hintergrundgeräuschen, was die Gesprächsführung weiter erschwerte.

4.1.2 Umgang mit den Problemen

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, mussten Änderungen an Jarvis stets in Absprache mit Dr. Rößler vorgenommen werden. Aufgrund der Schwierigkeiten mit dem Skript wurden den Probanden alternative Anweisungen gegeben: Sie sollten das Gespräch eigenständig beginnen, indem sie sich vorstellten und ein Thema ihrer Wahl ansprachen. Dies führte zu neutralen bis positiven Gesprächsverläufen, was wiederum dazu beitrug, dass die von Jarvis dargestellten Mimiken im Kontext passend blieben.

Darüber hinaus erhielten die Teilnehmer die Anweisung, das Gespräch zu beenden, sobald sie das Interesse verloren. Diese Vorgehensweise half, das Problem der fehlenden Verabschiedung durch Jarvis zu umgehen und lieferte zudem aufschlussreiche Daten über die Länge der Interaktionen.

Die fehlende Animation in der Version ohne Gesicht erwies sich letztlich als kein bedeutendes Hindernis, da auch vergleichbare Roboter wie Teslas Optimus keine Gesichtsausdrücke oder Animationen zeigen.

Um die Probleme mit der Audioerkennung zu lösen, wurden Kopfhörer und Mikrofone eingesetzt, was die Verständlichkeit in den Tests signifikant verbesserte.

Trotz dieser Hindernisse konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die für die spätere Auswertung der Tests von Bedeutung sind.

4.2 A/B-Test

4.2.1 Durchführen der Tests mit verschiedenen Probanden

Zeitraumen

Die Tests wurden innerhalb einer Woche durchgeführt und umfassten insgesamt 12 Sessions mit verschiedenen Probanden. Der Ablauf der Tests war wie folgt organisiert:

- Mittwoch: 2 Tests in Privaträumen in Karlsruhe
- Donnerstag: 3 Tests im Meetingraum des Unternehmens Nero und 3 weitere Tests in Privaträumen in Karlsruhe
- Freitag: 1 Test in Privaträumen in Karlsruhe
- Samstag: 3 Tests in den Büroräumen in Durlach

Probanden

Die Gruppe der Testpersonen setzte sich aus Kommilitonen, Bekannten, Probanden, die über Social Media rekrutiert wurden, sowie Mitarbeitenden des Unternehmens Nero zusammen. Das Alter der Teilnehmer reichte von 23 bis 64 Jahren. Um potenzielle Beeinflussungen der Erwartungshaltung zu minimieren, wurde die Einteilung der Probanden in Gruppe A und B so vorgenommen, dass Personen, die sich untereinander austauschen konnten, denselben Prototyp testeten, um den Austausch zwischen Probanden verschiedener Testgruppen zu vermeiden. So wurden die Testergebnisse möglichst unbeeinflusst gehalten.

Equipment

Für die Durchführung der Tests wurde eine Vielzahl technischer Hilfsmittel eingesetzt, um sowohl die Interaktion der Probanden als auch die Leistung von Jarvis zu dokumentieren:

- Jarvis mit Korpus: Der physische Roboter diente als Interaktionsplattform.
- iPad: Es wurde zur Unterzeichnung der Einverständniserklärung, zur Nutzung des Prototyps und zur Bildschirmaufzeichnung von Jarvis eingesetzt.
- Handykamera: Diente zur Aufzeichnung der Gesichtsausdrücke und Reaktionen der Probanden.
- Mikrofon und Kopfhörer: Wurden verwendet, um die Audioqualität zu gewährleisten, da Jarvis empfindlich auf Hintergrundgeräusche reagierte.
- Laptop: Diente zur Bereitstellung des Nutzerfragebogens, der am Ende des Tests von den Probanden ausgefüllt wurde.



Abbildung 41: Testaufbau in Privaträumen in Karlsruhe

Ablauf

Der Testablauf folgte einem standardisierten Protokoll:

1. **Einleitung und Aufklärung:** Zu Beginn des Tests wurde den Probanden erklärt, worum es in der Studie geht und welche Rolle sie dabei einnehmen.
2. **Einverständniserklärung:** Die Probanden unterzeichneten eine Einverständniserklärung, die auf einem iPad zur Verfügung gestellt wurde.
3. **Anweisung zur Gesprächsführung:** Die Probanden erhielten die Anweisung, das Gespräch mit Jarvis mit einem einfachen Satz wie „Hallo, mein Name ist X“ zu beginnen. Zusätzlich erhielten sie die optionale Möglichkeit, Jarvis ein Thema vorzuschlagen, um das fehlende Skript zu kompensieren.
4. **Selbstständiges Beenden des Gesprächs:** Es wurde den Probanden überlassen, das Gespräch eigenständig zu beenden, sobald sie das Gefühl hatten, dass die Interaktion abgeschlossen ist.
5. **Aufzeichnung:** Sobald das Gespräch gestartet wurde, begannen gleichzeitig die Video- und Bildschirmaufzeichnungen. Bei Probandin 4 wurde auf eigenen Wunsch hin auf die Videoaufzeichnung verzichtet. Stattdessen wurde ihre Mimik durch einen Beobachter dokumentiert.
6. **Start von Jarvis:** Jarvis wurde zu Beginn des Gesprächs aktiviert und die Interaktion aufgenommen.
7. **Beenden der Aufnahmen:** Sobald die Probanden signalisierten, dass sie das Gespräch beenden wollten, wurden Jarvis und alle laufenden Aufzeichnungen gestoppt.
8. **Ausfüllen des Fragebogens:** Nach der Interaktion füllten die Probanden den Nutzerfragebogen auf dem Laptop aus.
9. **Verabschiedung:** Die Tests wurden mit einer kurzen Verabschiedung abgeschlossen.

Dieser standardisierte Ablauf gewährleistete eine konsistente Durchführung der Tests, wodurch die gewonnenen Daten vergleichbar und für die Auswertung aussagekräftig waren.

4.3 Sammlung von Daten durch Auswertungsbögen

Die Erhebung der Daten erfolgte auf verschiedenen Wegen, um eine umfassende Analyse der Interaktionen zwischen den Probanden und Jarvis zu gewährleisten. Die Datenerfassung beinhaltete sowohl Video- und Bildschirmaufnahmen als auch die Auswertung von Gesprächsprotokollen und Fragebögen.

4.3.1 Datenerfassung

Die Daten wurden wie folgt aufgezeichnet:

- **Videoaufnahmen der Probanden:** Die Gesichtsausdrücke und Reaktionen der Probanden während der Interaktionen wurden mit einer Handykamera als **MP4-Datei** festgehalten.
- **Bildschirmaufzeichnung von Jarvis:** Die auf dem Bildschirm von Jarvis dargestellte Mimik sowie die durchgeführten Dialoge wurden mittels **MP4-Aufnahmen** auf einem iPad aufgezeichnet.
- **Gesprächsprotokolle via Jarvis:** Jarvis erstellte Protokolle der geführten Gespräche, welche die textbasierte Kommunikation dokumentierten.
- **Nutzerfragebogen:** Die Probanden füllten nach der Interaktion einen **Fragebogen** über Google Forms auf einem Laptop aus.

4.3.2 Datenauswertung

Nach Abschluss der Tests wurden alle gesammelten Daten in einem strukturierten Prozess zusammengeführt:

- **Zusammenführung der Ergebnisse:** Alle Daten, einschließlich der Videoaufnahmen, Gesprächsprotokolle und Fragebogenergebnisse, wurden in **Google Sheets** konsolidiert.
- **Auswertung der MP4-Aufnahmen:** Die Videoaufnahmen der Probanden sowie die Bildschirmaufnahmen von Jarvis wurden systematisch ausgewertet, um die Interaktionen und Mimiken zu analysieren.
- **Export der Fragebogenergebnisse:** Die Antworten der Probanden aus dem Google Forms Fragebogen wurden exportiert und in die Auswertung einbezogen.
- **Analyse der Fragebögen:** Die ausgefüllten Fragebögen wurden analysiert, um Rückschlüsse auf die Nutzererfahrung und -wahrnehmung der Interaktion mit Jarvis zu ziehen.

Das zentrale Google Sheet zur Auswertung der Daten besteht aus sechs Tabellenblättern, die unterschiedliche Aspekte der Analyse umfassen:

1. **Formularantworten:** Hier wurden die 12 ausgefüllten Antworten der Probanden aus Google Forms exportiert und zusammengefasst.

2. **Auswertung Likert-Skalierung:** Die Antworten der Probanden zu den Aussagen, die auf einer Likert-Skala bewertet wurden, wurden in diesem Tabellenblatt zusammengeführt und statistisch ausgewertet.
3. **Auswertung Offene Fragen:** Die Antworten zu den offenen Fragen aus dem Fragebogen wurden hier zusammengefasst und thematisch ausgewertet.
4. **Messung Videoaufnahmen:** Basierend auf den Videoaufnahmen und den Gesprächsprotokollen von Jarvis wurden die **Interaktionsdauer**, die besprochenen Themen sowie die Mimik der Probanden und von Jarvis in jeder Interaktion dokumentiert und gezählt.
5. **Auswertung Interaktionsdauer und Themen:** Die Interaktionsdauer und die Anzahl der Themen wurden ausgewertet. Dies umfasste die durchschnittliche und summierte Dauer pro Gruppe, die Anzahl von vom Nutzer und von Jarvis initiierten Themen sowie die Häufigkeit des Wechsels der Gesprächsführung (Turntaking) innerhalb jeder Gruppe.
6. **Auswertung Mimik:** Die von Jarvis abgespielten Animationen während der Interaktionen mit Gruppe A wurden zusammengefasst und analysiert. Zudem wurde die Mimik der Probanden in beiden Gruppen dokumentiert und verglichen.

5 Auswertung

Die Auswertung aller Daten basiert auf den gesammelten Daten und Messungen im Anhang „AB-Test_Auswertung.xlsx“.

5.1 Analyse durch subjektive Messungen

Sympathie

Die Sympathie der Probanden gegenüber dem Roboter wurde anhand der Aussage „Ich hatte Freude an der Interaktion mit Jarvis“ gemessen. Die Gruppe A, die mit dem Roboter mit Mimik interagierte, erzielte hierbei einen durchschnittlichen Wert von 4,5 auf der Likert-Skala, wobei die Werte zwischen 4 und 5 lagen. Im Vergleich dazu lag der Durchschnittswert in Gruppe B, die mit der Version ohne Mimik interagierte, bei 3,0 mit einem Wertebereich von 2 bis 4. Dies deutet darauf hin, dass die Mimik des Roboters die Freude und somit die Sympathie, die die Nutzer gegenüber dem Roboter empfanden, signifikant erhöhte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

Gruppe A: Viele Probanden aus Gruppe A beschrieben die Mimik des Roboters als "freundlich" und "einladend", was die Interaktion sympathischer machte. Einige Probanden betonten, dass sie durch die Mimik des Roboters ein angenehmes Gefühl hatten, was ihre Sympathie steigerte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Gruppe B: In Gruppe B, ohne Mimik, wurde der Roboter häufiger als "neutral" oder "mechanisch" beschrieben, was weniger Sympathie hervorrief (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Natürlichkeit

Die Natürlichkeit der Interaktion wurde durch die Aussage „Das Gespräch mit Jarvis fühlte sich flüssig und natürlich an“ bewertet. Gruppe A erreichte einen Durchschnittswert von 3,17, wobei die Werte zwischen 2 und 4 variierten. Gruppe B kam auf einen Durchschnittswert von 2,33, mit einer Spanne von 1 bis 4. Dies weist darauf hin, dass die Nutzer der Gruppe A die Interaktion als etwas flüssiger und natürlicher empfanden, was möglicherweise auf die unterstützende Rolle der Mimik zurückzuführen ist (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

Gruppe A: Die Mehrheit der Probanden in Gruppe A empfand die Interaktion als natürlicher. Sie hoben hervor, dass die Mimik des Roboters den Gesprächsfluss unterstützte und die Interaktion menschlicher erscheinen ließ (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Gruppe B: Probanden in Gruppe B beschrieben die Interaktion eher als "roboterhaft" und weniger natürlich, was auf das Fehlen von Mimik zurückzuführen sein könnte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Komfort

Der Komfort während der Interaktion wurde anhand der Aussage „Ich fühlte mich wohl, als ich mit Jarvis interagierte“ ermittelt. Gruppe A erzielte einen Durchschnittswert von 4,33 auf der Likert-Skala, mit Werten zwischen 4 und 5. Im Gegensatz dazu erreichte Gruppe B nur einen Durchschnittswert von 2,5, mit einer Spanne von 2 bis 4. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Probanden in der Gruppe A ein deutlich höheres Maß an Komfort empfanden, was darauf hindeutet, dass die Mimik des Roboters das Wohlbefinden der Nutzer während der Interaktion positiv beeinflusste (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

Gruppe A: Probanden in Gruppe A fühlten sich wohler in der Interaktion. Die Mimik des Roboters wurde oft als beruhigend wahrgenommen, was das allgemeine Komfortniveau erhöhte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Gruppe B: Die Probanden aus Gruppe B fühlten sich häufiger unsicher oder unwohl, besonders weil sie nicht wussten, wie der Roboter auf ihre Eingaben reagierte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Wahrgenommene Intelligenz

Die wahrgenommene Intelligenz des Roboters wurde anhand mehrerer Aussagen gemessen:

„Die Antworten von Jarvis waren angemessen und relevant für das Gespräch“: Gruppe A erzielte einen Durchschnittswert von 4,17 (mit einer Spanne von 3 bis 5), während Gruppe B einen Durchschnittswert von 2,83 (mit einer Spanne von 2 bis 4) erreichte. Dies deutet darauf hin, dass die Antworten des Roboters in der Gruppe mit Mimik als intelligenter und relevanter wahrgenommen wurden (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

„Ich vertraue den Antworten und dem Wissen von Jarvis“: Gruppe A hatte einen Durchschnittswert von 3,67 (mit einer Spanne von 3 bis 4), während Gruppe B einen Durchschnittswert von 2,33 (mit einer Spanne von 2 bis 3) erzielte. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Mimik des Roboters das Vertrauen in seine Antworten und sein Wissen stärkte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

„Ich fühle mich sicher in Jarvis' Fähigkeit, mich zu verstehen und mir bei Fragen zu helfen“: Gruppe A erzielte einen Durchschnittswert von 3,0 (mit einer Spanne von 2 bis 4), während Gruppe B einen Durchschnittswert von 2,5 (mit einer Spanne von 1 bis 3) erreichte. Auch hier zeigt sich, dass die Mimik des Roboters einen positiven Einfluss auf die wahrgenommene Fähigkeit des Roboters hatte, den Nutzer zu verstehen und zu unterstützen (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

Gruppe A: Einige Probanden äußerten, dass sie den Roboter aufgrund seiner Mimik als intelligenter wahrnahmen. Sie erklärten, dass die Mimik signalisierte, dass der Roboter auf ihre Eingaben reagierte und sie verstand (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Gruppe B: In Gruppe B wurde der Roboter häufig als weniger intelligent wahrgenommen, da die fehlende Mimik die Probanden unsicher machte, ob der Roboter wirklich "versteht", was sie sagen (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Emotionale Verbindung

Die emotionale Verbindung zum Roboter wurde durch die Aussage „Ich fühlte mich während der Interaktion emotional mit Jarvis verbunden“ gemessen. Gruppe A erzielte hierbei einen Durchschnittswert von 3,33, wobei die Werte zwischen 2 und 4 lagen. Gruppe B erreichte hingegen nur einen Durchschnittswert von 2,33, mit einem Wertebereich von 1 bis 4. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Mimik des Roboters dazu beitrug, eine stärkere emotionale Bindung zwischen dem Roboter und den Nutzern in Gruppe A zu fördern (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

Gruppe A: Viele Probanden berichteten, dass sie eine "gewisse Nähe" oder eine "emotionale Bindung" zu Jarvis spürten, insbesondere aufgrund der animierten Mimik, die den Roboter menschlicher erscheinen ließ (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Gruppe B: In Gruppe B fehlte den Probanden diese emotionale Verbindung häufig. Sie beschrieben die Interaktion als "distanziert" oder "kühl" (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Engagement

Das Engagement der Probanden wurde durch die Aussagen „Jarvis' Mimik machte das Gespräch interessanter“ und „Die Animation auf Jarvis' Display machte das Gespräch interessanter“ bewertet. In Gruppe A lag der Durchschnittswert für beide Aussagen bei 4,0, wobei die Werte von 2 bis 5 reichten. In Gruppe B lagen die Durchschnittswerte hingegen bei 1,83, mit einem Wertebereich von 1 bis 3. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Mimik des Roboters einen entscheidenden Einfluss darauf hatte, wie ansprechend und fesselnd die Interaktion für die Nutzer war. Die Probanden der Gruppe A empfanden das Gespräch als deutlich interessanter, was auf ein höheres Engagement hinweist (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Likert Skalierung).

Gruppe A: Probanden der Gruppe A fanden die Interaktion mit dem Roboter aufgrund der Mimik "fesselnder" und "unterhaltsamer". Einige erwähnten, dass sie mehr Themen besprochen haben, weil sie das Gespräch als interessant empfanden (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

Gruppe B: In Gruppe B wurde die Interaktion oft als "eintönig" oder "weniger spannend" beschrieben, was auf ein geringeres Engagement hinweist (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Offene Fragen).

5.2 Analyse durch objektive Messungen

Interaktionsdauer

Die Interaktionsdauer wurde in beiden Gruppen gemessen und zeigt deutliche Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen:

Gruppe A: In Gruppe A wurde in Summe über 104 Minuten mit Jarvis gesprochen, was einen Durchschnitt von ungefähr 17 Minuten pro Probanden bedeutet. Die Interaktionszeiten in Gruppe A zeigen eine tendenziell längere Dauer als in Gruppe B, was darauf hindeutet, dass die Teilnehmer mehr Zeit mit dem Roboter verbrachten, wenn dieser Mimik zeigte. Dies könnte auf eine höhere Sympathie, mehr Engagement und ein höheres Komfortniveau während der Interaktion zurückzuführen sein (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Interaktionsdauer und Themen).

Gruppe B: Die Interaktionszeiten in Gruppe B waren kürzer mit einer Summe von ungefähr 44,5 Minuten und einem aufgerundeten Durchschnitt von 7,5 Minuten. Dies legt nahe, dass die Teilnehmer weniger motiviert waren, die Interaktion fortzusetzen, was möglicherweise auf eine geringere Sympathie und weniger Engagement zurückzuführen ist. Ohne Mimik wirkte die Interaktion möglicherweise weniger ansprechend und natürlich (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Interaktionsdauer und Themen).

Anzahl an Themen

Die Anzahl der besprochenen Themen ist ebenfalls ein wichtiger Indikator für das Engagement und die wahrgenommene Natürlichkeit der Interaktion:

Gruppe A: In Summe wurden in Gruppe A 54 Themen besprochen. Im Durchschnitt ergibt das 9 Themen je Probandengespräch und somit mehr als in Gruppe B. Die Hälfte der Themen wurden durch die Probanden initiiert. Dies deutet darauf hin, dass die Mimik des Roboters das Gespräch lebendiger machte, was zu einem intensiveren Austausch führte. Ein höheres Turntaking (Wechsel zwischen Sprecher und Zuhörer) in dieser Gruppe unterstützt die Annahme, dass die Interaktion flüssiger und natürlicher verlief (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Interaktionsdauer und Themen).

Gruppe B: In Gruppe B wurden insgesamt 31 Themen besprochen und somit etwa 5 Themen je Probandengespräch. Somit war die Anzahl der besprochenen Themen geringer als in Gruppe A. Je Proband wurden im Durchschnitt nur 1,7 Themen angesprochen, während Jarvis 3,5 Themen initiierte. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Teilnehmer weniger Interesse daran hatten, weitere Themen zu besprechen, was auf ein geringeres Engagement und eine weniger natürliche Gesprächsdynamik hindeutet. Das Fehlen von Mimik machte die Interaktion möglicherweise starrer und weniger interaktiv (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Interaktionsdauer und Themen).

Themen der Probandengespräche

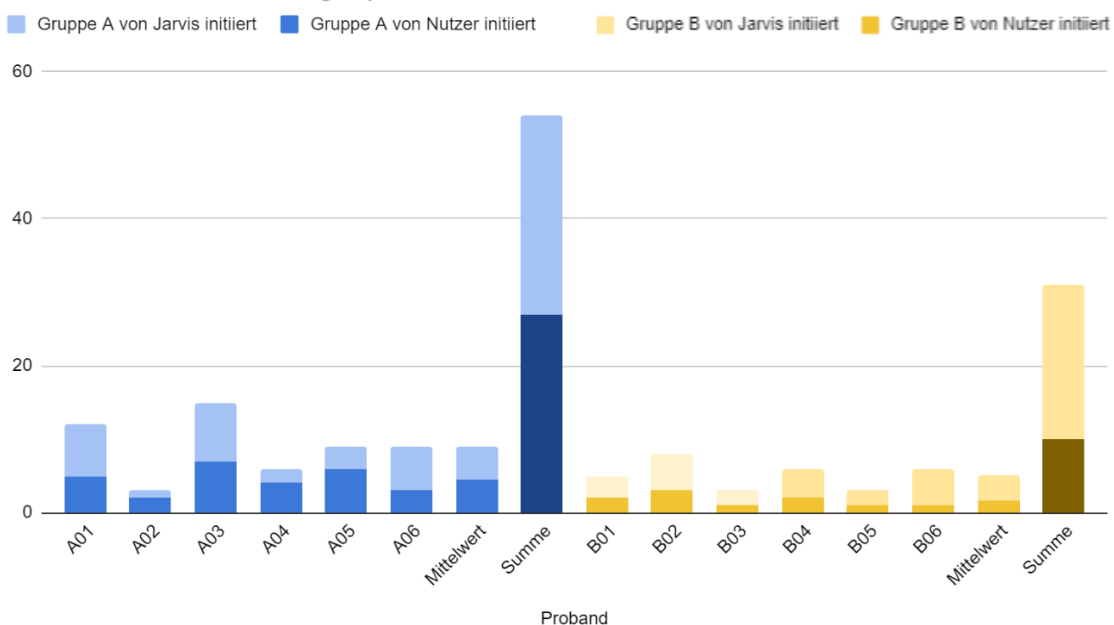


Abbildung 42: Diagramm - Auswertung Themen

Emotionen und Mimik

Die Mimik der Probanden wurde anhand der Videoaufnahmen und Beobachtung im Angang dokumentiert. Da die menschliche Mimik sehr komplex ist und der Fokus die Interaktion mit Jarvis ist, wurde die Mimik der Probanden an Jarvis Wheel of Emotions angelehnt kategorisiert. Die erkennbare Mimik der Probanden ließ sich in die positiven Zustände Freude, Zufriedenheit und Aufregung, die neutralen Zustände Überraschung, Verwirrung und Denken sowie in die negativen Zustände Irritiertheit und Genervtheit einteilen (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Positive Emotionen (Freude, Zufriedenheit, Aufregung)

Gruppe A: In Gruppe A wurden positive Emotionen wie Freude und Aufregung häufiger beobachtet. Die Probanden zeigten oft ein Lächeln, lachten, oder wirkten aufgeregt und interessiert während der Interaktion. Dies deutet darauf hin, dass die Mimik des Roboters die Interaktion belebte und eine positive emotionale Resonanz auslöste. Die Probanden schienen durch die visuelle Ausdrucksfähigkeit des Roboters stärker in die Interaktion eingebunden zu sein und zeigten entsprechend positivere Reaktionen (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Die häufige Darstellung von Freude und Aufregung deutet auf eine hohe Sympathie und ein starkes Engagement hin. Die Mimik des Roboters förderte ein angenehmes und stimulierendes Erlebnis, das bei den Probanden positive Emotionen hervorrief.

Gruppe B: In Gruppe B wurden positive Emotionen seltener beobachtet. Die Probanden wirkten weniger begeistert und zeigten seltener Anzeichen von Freude oder Aufregung. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die fehlende Mimik des Roboters die Interaktion weniger ansprechend und emotional stimulierend machte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Die reduzierte Häufigkeit positiver Emotionen deutet auf ein geringeres Engagement und möglicherweise auch auf eine geringere Sympathie für den Roboter hin. Die Interaktion ohne Mimik wirkte auf die Probanden weniger inspirierend und emotional befriedigend.

Neutrale Emotionen (Überraschung, Verwirrung, Denken)

Gruppe A: Neutrale Emotionen wie Überraschung und Verwirrung wurden in Gruppe A mäßig oft beobachtet. Überraschung trat häufiger auf, wenn der Roboter mit unerwarteten Mimikwechseln oder Themenwechseln reagierte. Dies zeigt, dass die Mimik des Roboters gelegentlich unerwartet oder komplex für die Probanden war, was zu Momenten der Verwirrung führte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Die Präsenz von Überraschung und Verwirrung deutet darauf hin, dass die Mimik des Roboters manchmal überraschend oder nicht vollständig vorhersehbar war, was jedoch nicht unbedingt negativ wahrgenommen wurde. Diese Reaktionen könnten auch das Engagement fördern, da die Probanden aktiv versuchen mussten, die unerwarteten Elemente zu verstehen.

Gruppe B: In Gruppe B waren neutrale Emotionen wie Verwirrung häufiger anzutreffen, insbesondere durch das Fehlen von Mimik, die ansonsten zusätzliche Informationen zur Kommunikation geliefert hätte. Einige Probanden zeigten Anzeichen von intensivem Nachdenken, da sie sich stärker auf die verbalen Inhalte konzentrieren mussten, ohne die visuelle Unterstützung (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Die häufige Verwirrung in Gruppe B könnte auf eine weniger klare Kommunikation und ein geringeres Verständnis während der Interaktion hinweisen. Das Fehlen der Mimik machte die Interaktion möglicherweise anspruchsvoller und weniger intuitiv für die Probanden.

Negative Emotionen (Irritiertheit, Genervtheit)

Gruppe A: Negative Emotionen wie Irritiertheit und Genervtheit waren in Gruppe A seltener zu beobachten. Wenn sie auftraten, waren sie oft mit unerwarteten oder unpassenden Mimikwechseln des Roboters verbunden. Insgesamt trugen die positiven Aspekte der Mimik jedoch dazu bei, negative Emotionen zu minimieren (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Die geringe Häufigkeit negativer Emotionen in Gruppe A deutet darauf hin, dass die Mimik des Roboters insgesamt als angenehm und unterstützend wahrgenommen wurde, wodurch negative Reaktionen größtenteils vermieden wurden.

Gruppe B: Häufigkeit: In Gruppe B waren negative Emotionen häufiger anzutreffen. Probanden berichteten häufiger von Frustration und Irritiertheit, insbesondere in Momenten, in denen die Interaktion starr oder monoton wirkte. Das Fehlen von Mimik führte möglicherweise dazu, dass die Interaktion als weniger lebendig und dynamisch wahrgenommen wurde, was negative Emotionen verstärkte (vgl. Anhang Test_Auswertung:Auswertung Mimik).

Die höhere Häufigkeit negativer Emotionen in Gruppe B zeigt, dass die fehlende Mimik zu einem weniger zufriedenstellenden Interaktionserlebnis führte. Die Probanden empfanden die Interaktion als weniger stimulierend, was zu einer schlechteren Gesamtbewertung der Interaktion führte.

Probandenmimik Gruppe A

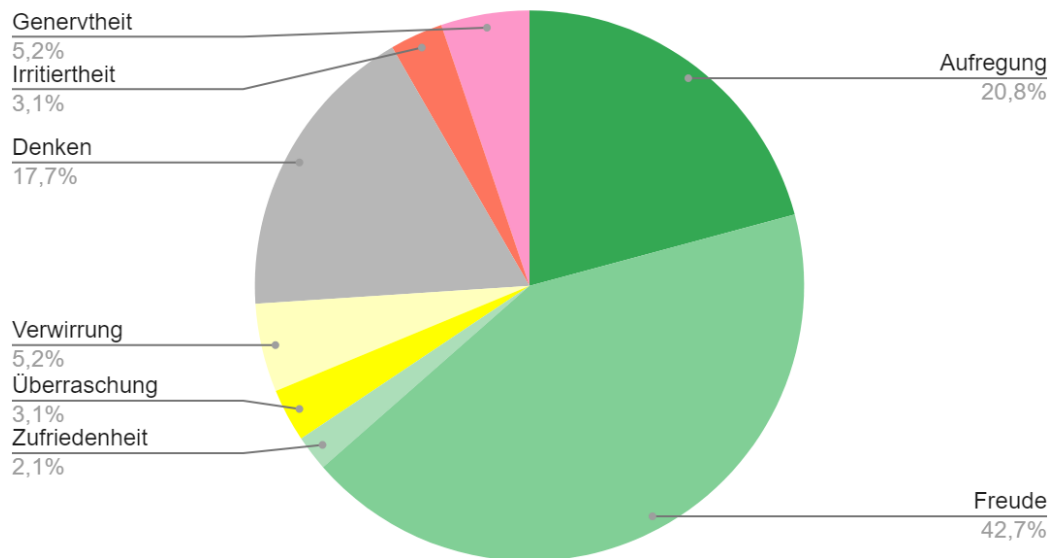


Abbildung 43: Diagramm – Auswertung Mimik A

Probandenmimik Gruppe B

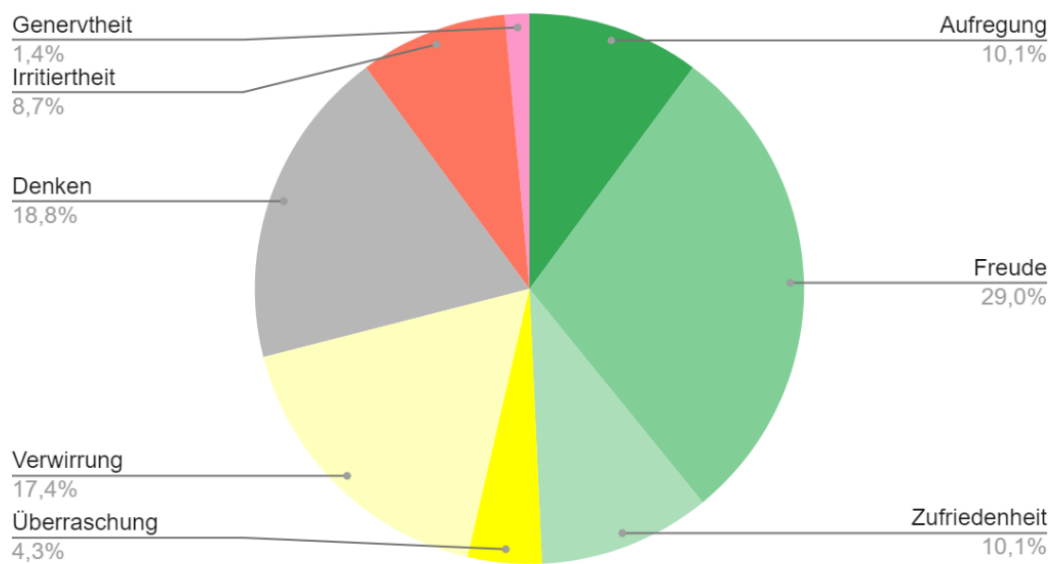


Abbildung 44: Diagramm – Auswertung Mimik B

5.3 Weitere Beobachtungen

Die Probanden ergaben sich zu einem Drittel aus weiblichen Teilnehmern und zu zwei Dritteln aus männlichen. Keiner der Probanden gab als Geschlecht non-binär oder weiteres an. Das Durchschnittliche Alter der Probanden belief sich auf 32 Jahre. Der jüngste Proband war zum Zeitpunkt des Tests 23 und der älteste 64. Die durchschnittliche, selbsteingeschätzte Technologievertrautheit der Probanden lag bei ungefähr vier, mit fünf als Höchstwert und eins als Niederstwert.

Betrachtet man die Likert-Skala Auswertung lässt sich feststellen, dass weibliche Probanden in fast allen Bereichen positiver abstimmten als männliche. Probanden, die 30 oder älter waren, haben ohne Ausnahme in allen Bereichen positiver auf Jarvis reagiert, als die Altersgruppe unter 30. Die von den Probanden selbst eingeschätzte Vertrautheit mit Technologien und Erfahrung mit Robotern hatte wiederum keine signifikante Auswirkung auf die Bewertung der Interaktion mit Jarvis.

Bei diesen Beobachtungen ist es allerdings wichtig zu berücksichtigen, dass sie nur auf Basis geringer Datensätze formuliert wurden. Für eine aussagekräftige Analyse der Auswirkung von Demografie auf die MRI mit Jarvis müssen mehr Daten erhoben werden.

6 Diskussion

6.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Die durchgeführte Untersuchung zur Mensch-Roboter-Interaktion, in der zwei Gruppen mit unterschiedlichen Versionen des Roboters Jarvis (mit und ohne Mimik) getestet wurden, liefert interessante Einblicke in die Wirkung der Mimik auf verschiedene Aspekte der Interaktion.

Sympathie

Die Sympathie gegenüber dem Roboter wurde deutlich durch die Mimik beeinflusst. Gruppe A, die mit dem Roboter mit Mimik interagierte, zeigte signifikant höhere Sympathiewerte (4,5) im Vergleich zu Gruppe B ohne Mimik (3,0). Die Mimik wurde als "freundlich" und "einladend" beschrieben, was die Interaktion sympathischer machte, während der Roboter ohne Mimik als neutral oder mechanisch wahrgenommen wurde. Dies verdeutlicht, dass Mimik entscheidend dazu beiträgt, positive Emotionen wie Freude und Sympathie zu fördern.

Natürlichkeit

Die Mimik des Roboters unterstützte auch das Gefühl einer natürlicheren Interaktion. In Gruppe A empfanden die Probanden die Gespräche mit Jarvis als flüssiger und natürlicher (Durchschnitt 3,17), während in Gruppe B der Durchschnitt bei 2,33 lag. Besonders die Unterstützung des Gesprächsflusses durch die Mimik wurde hervorgehoben. Ohne Mimik erschien der Roboter hingegen eher „roboterhaft“ und weniger menschlich.

Komfort

Das Wohlbefinden während der Interaktion war in Gruppe A ebenfalls deutlich höher (4,33) als in Gruppe B (2,5). Die Mimik des Roboters trug zu einem erhöhten Komfortniveau bei, indem sie als beruhigend wahrgenommen wurde. Im Gegensatz dazu fühlten sich die Teilnehmer in Gruppe B oft unsicher oder unwohl, was auf das Fehlen von visuellen Reaktionen des Roboters zurückgeführt werden könnte.

Wahrgenommene Intelligenz

Auch die wahrgenommene Intelligenz des Roboters wurde durch die Mimik beeinflusst. Probanden aus Gruppe A nahmen die Antworten von Jarvis als angemessener und intelligenter wahr (Durchschnitt 4,17) als Gruppe B (2,83). Zudem stärkte die Mimik das Vertrauen in die Fähigkeiten des Roboters, da sie signalisierte, dass Jarvis die Eingaben der Probanden besser verstand. In Gruppe B hingegen führte das Fehlen der Mimik zu Unsicherheit über das Verständnis des Roboters.

Emotionale Verbindung

Die Mimik des Roboters half den Probanden in Gruppe A, eine stärkere emotionale Verbindung zu Jarvis aufzubauen (Durchschnitt 3,33). Diese emotionale Bindung war in Gruppe B, die ohne Mimik interagierte, deutlich schwächer (2,33). Probanden aus Gruppe A berichteten, dass sie eine gewisse Nähe und Verbindung zu Jarvis spürten, was die Interaktion menschlicher und angenehmer erscheinen ließ.

Engagement

Das Engagement der Probanden war in Gruppe A ebenfalls signifikant höher (Durchschnitt 4,0) als in Gruppe B (1,83). Die Mimik machte die Interaktion interessanter und ansprechender. In Gruppe B hingegen wurde die Interaktion oft als eintönig beschrieben, was zu einem geringeren Engagement führte. Dies zeigt, dass visuelle Ausdrucksfähigkeiten wie die Mimik entscheidend dazu beitragen können, eine fesselnde und interessante Interaktion zu schaffen.

Objektive Messungen

Die Interaktionsdauer war in Gruppe A deutlich länger (durchschnittlich 17 Minuten) als in Gruppe B (7,5 Minuten). Dies könnte auf die gesteigerte Sympathie, das höhere Engagement und das größere Komfortgefühl in Gruppe A zurückzuführen sein. Ebenso wurden in Gruppe A mehr Themen besprochen (9 Themen pro Proband) als in Gruppe B (5 Themen pro Proband). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mimik eine lebendigere und interaktivere Gesprächsdynamik fördert.

Emotionen und Mimik

Die Analyse der Mimik der Probanden zeigt, dass positive Emotionen wie Freude und Aufregung in Gruppe A häufiger beobachtet wurden, während in Gruppe B neutralere oder negative Emotionen dominierten. Dies deutet darauf hin, dass die Mimik des Roboters positive emotionale Reaktionen und ein stärkeres Engagement förderte. Überraschung und Verwirrung traten in beiden Gruppen auf, jedoch zeigte sich in Gruppe B häufiger Verwirrung aufgrund des fehlenden visuellen Feedbacks. Negative Emotionen wie Irritiertheit und Genervtheit wurden in Gruppe B ebenfalls häufiger beobachtet, was auf das starrere und monotonere Interaktionsverhalten des Roboters zurückzuführen sein könnte.

Demografische Faktoren

Weibliche Probanden und Teilnehmer über 30 Jahre bewerteten die Interaktion durchweg positiver als jüngere Probanden oder männliche Teilnehmer. Diese Ergebnisse basieren jedoch auf einer kleinen Stichprobe, weshalb sie nur bedingt aussagekräftig sind.

Insgesamt zeigt die Studie sehr deutlich, dass die Mimik des Roboters einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion hat. Die Ergebnisse belegen, dass Roboter, die über mimische Fähigkeiten verfügen, von den Nutzern nicht nur als sympathischer und freundlicher wahrgenommen werden, sondern auch die Interaktion insgesamt flüssiger und natürlicher gestalten. Die Teilnehmer, die mit der Version von Jarvis mit Mimik interagierten, berichteten von einem höheren Maß an Komfort, Vertrauen und emotionaler Nähe zum Roboter. Dies deutet darauf hin, dass Mimik eine wichtige Rolle dabei spielt, Roboter menschlicher wirken zu lassen, was wiederum die Akzeptanz und das Vertrauen der Nutzer stärkt.

Besonders auffällig ist, dass die Mimik des Roboters das Engagement der Nutzer erheblich steigerte. Dies zeigt sich sowohl in den subjektiven Bewertungen als auch in den objektiven Messungen, wie der längeren Interaktionsdauer und der höheren Anzahl an besprochenen Themen. Die Nutzer in der Gruppe mit Mimik waren motivierter, das Gespräch fortzusetzen und brachten häufiger eigene Themen ein, was auf eine aktivere und interessiertere Teilnahme hindeutet. Dies ist ein entscheidender Aspekt für die Gestaltung zukünftiger Dialogroboter, da ein höheres Engagement sowohl zu einer verbesserten Nutzererfahrung als auch zu einem effizienteren Informationsaustausch führen kann.

Darüber hinaus verdeutlichen die Ergebnisse, dass die Mimik nicht nur die emotionale Komponente der Interaktion beeinflusst, sondern auch kognitive Prozesse wie die Wahrnehmung von Intelligenz und Verstehen des Roboters positiv beeinflussen kann. Teilnehmer der Gruppe mit Mimik nahmen den Roboter als intelligenter und kompetenter wahr, was zeigt, dass Mimik als eine Art nonverbales Feedback dient, das die Relevanz und Korrektheit der Antworten des Roboters unterstreicht. Dies ist ein entscheidender Befund, da Vertrauen und die wahrgenommene Intelligenz eines Roboters Schlüsselfaktoren für die langfristige Nutzung und Akzeptanz von Robotertechnologien sind.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Rolle der Mimik in der Förderung einer emotionalen Verbindung zwischen Mensch und Roboter. Diese Verbindung ist von zentraler Bedeutung, wenn es darum geht, Roboter als verlässliche Partner oder Assistenten im Alltag zu etablieren. Die Studie zeigt, dass die Mimik den Roboter nicht nur menschlicher erscheinen lässt, sondern auch hilft, eine gewisse emotionale Nähe aufzubauen, die für eine positive Nutzererfahrung entscheidend ist. Ohne Mimik wurde der Roboter hingegen oft als distanzierter und kühler empfunden, was zu einer weniger zufriedenstellenden Interaktion führte.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse, dass die Integration von Mimik in Dialogroboter nicht nur wünschenswert, sondern nahezu unerlässlich ist, um eine optimale Mensch-Roboter-Interaktion zu ermöglichen. Mimik trägt wesentlich dazu bei, die Interaktion angenehmer, natürlicher und effizienter zu gestalten, und fördert zugleich die emotionale und kognitive Bindung der Nutzer an den Roboter. Diese Erkenntnisse bieten wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung von Robotern im Bereich der sozialen und dialogorientierten Robotik.

6.2 Limitationen der Studie

Im Rahmen dieser Studie traten insbesondere die in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Probleme auf, die zu einigen Einschränkungen führten. So wäre es von Vorteil gewesen, den Prototypen vor den Tests ausführlicher zu testen, um potenzielle technische Schwierigkeiten frühzeitig zu beheben. Beispielsweise hätten die während der Tests auftretenden Audioprobleme, die zu Kommunikationsstörungen mit Jarvis führten, durch besseres Equipment möglicherweise vermieden werden können. Dies wirft die Frage auf, inwiefern die Kommunikationsprobleme die Testergebnisse beeinflusst haben.

Auch hätte eine detailliertere Vorabprüfung die fehlende Sentimentanalyse besser adressieren können, sodass Jarvis kontextgerechtere mimische Reaktionen zeigen würde. Dies führt zu der Überlegung, ob eine passendere Mimik zu einer signifikant positiveren Reaktion der Testpersonen geführt hätte.

Ein weiterer Aspekt ist die fehlende Animation in der Version von Jarvis ohne Mimik. Hier stellt sich die Frage, ob die negativere Reaktion der Probanden ausschließlich auf das Fehlen von Mimik zurückzuführen ist oder ob das statische Bild des Quadrats ebenfalls zu einer weniger ansprechenden Interaktion beigetragen hat. Es wäre daher interessant gewesen, auch die Version ohne Mimik mit Animationen auszustatten, um zu prüfen, ob dies zu anderen Ergebnissen geführt hätte.

Zudem stellten die Probleme von Jarvis bei der genauen Befolgung des Skripts eine weitere Limitation dar. Zwar führte dies zu einem offeneren Gesprächsverlauf, der wertvolle Erkenntnisse über das Interesse der Probanden an einer längeren Interaktion lieferte, jedoch wurden dadurch emotionale Aspekte der Interaktion weniger detailliert untersucht. So fehlten beispielsweise Möglichkeiten zur Bewertung der Interaktion in emotional aufgeladenen Kontexten, wie etwa bei Themen, die Trauer, Angst oder Zorn auslösen.

Eine weitere technische Einschränkung war die Verwendung von MP4-Dateien für die Darstellung der Mimik. Da Jarvis die Videos nicht pausieren konnte, um die Dauer der gezeigten Gesichtsausdrücke zu variieren, wirkte seine Mimik weniger natürlich als geplant. Dies führt zu der Überlegung, ob ein Ansatz mit automatisierter Mimikanpassung eine bessere Lösung gewesen wäre. Beispielsweise könnte Jarvis mit einer Grafik eines neutralen Gesichts ausgestattet werden, das über maschinelles Lernen in der Lage ist, die Gesichtszüge flexibel zu verändern und so verschiedene mimische Ausdrücke darzustellen.

6.3 Ausblick

Die gewonnenen Erkenntnisse bieten zahlreiche Ansatzpunkte für zukünftige Forschungen und Weiterentwicklungen in diesem Bereich.

Ein naheliegender nächster Schritt wäre die Optimierung der technischen Grundlage des Roboters, insbesondere in Bezug auf die Audioqualität und die Implementierung einer Sentimentanalyse. Eine solche Analyse könnte es ermöglichen, die Mimik von Jarvis noch kontextgerechter zu gestalten und somit eine noch intensivere und natürlichere Interaktion zu fördern. In zukünftigen Studien könnte untersucht werden, inwiefern eine auf Emotionen abgestimmte Mimik zu einer weiteren Steigerung von Sympathie, Komfort und Vertrauen führen würde.

Ein weiterer vielversprechender Forschungsansatz wäre die Untersuchung der Auswirkungen einer animierten Version von Jarvis ohne Mimik. Die derzeitige statische Darstellung dieser Version könnte die Testergebnisse beeinflusst haben, sodass eine animierte Darstellung zu anderen, möglicherweise positiveren Reaktionen führen könnte. Dies wäre eine wertvolle Ergänzung, um zu klären, ob es tatsächlich die fehlende Mimik war, die zu einer geringeren Akzeptanz führte, oder ob die statische Natur der Darstellung eine Rolle spielte.

Auch die Integration von maschinellem Lernen für die automatische Anpassung der Mimik stellt ein vielversprechendes Entwicklungsfeld dar. Durch eine dynamische, selbstlernende Mimik könnte Jarvis in der Lage sein, auf unterschiedliche Gesprächssituationen flexibler und authentischer zu reagieren. Hier könnten zukünftige Projekte die Effektivität einer solchen Anpassung testen und herausfinden, wie eine künstliche Intelligenz die visuelle Ausdrucksfähigkeit kontinuierlich verbessern kann.

Neben diesen technischen Aspekten bietet die Untersuchung der emotionalen Interaktion ein weiteres Forschungsfeld. In dieser Studie wurde deutlich, dass die emotionale Verbindung zwischen Mensch und Roboter ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Interaktion ist. Zukünftige Untersuchungen könnten sich vertieft mit spezifischen Emotionen und emotionalen Situationen auseinandersetzen, um zu klären, wie Roboter auf Trauer, Angst oder andere emotionale Zustände reagieren sollten, um eine empathische und unterstützende Interaktion zu gewährleisten.

Des Weiteren wäre es sinnvoll, in künftigen Studien größere und diversere Probandengruppen einzubeziehen, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Insbesondere könnten geschlechtsspezifische und altersbedingte Unterschiede in der Wahrnehmung und Interaktion mit Robotern weiter erforscht werden, um die Entwicklung von Robotern noch stärker an die Bedürfnisse unterschiedlicher Nutzergruppen anzupassen.

7 Fazit

Das Fazit dieser Bachelorarbeit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion von Dialogrobotern durch den gezielten Einsatz von Mimik zusammen. Die durchgeführten Tests an zwei Probandengruppen, die jeweils mit unterschiedlichen Versionen des Dialogroboters Jarvis (mit und ohne Mimik) interagierten, lieferten wertvolle Einblicke in die Auswirkungen visueller Ausdrucksformen auf verschiedene Aspekte der Interaktion. Die gewonnenen Daten und deren Analyse zeigen deutlich, dass Mimik nicht nur eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz eines Roboters spielt, sondern auch das Nutzererlebnis insgesamt maßgeblich verbessern kann.

Ein zentrales Ergebnis der Studie ist der signifikante Einfluss der Mimik auf die Sympathie, die die Probanden gegenüber dem Roboter empfanden. Gruppe A, die mit der Version von Jarvis mit Mimik interagierte, bewertete den Roboter im Durchschnitt deutlich positiver als Gruppe B, die auf eine Version ohne Mimik traf. Die Persönlichkeit und Mimik des Roboters wurde sehr positiv beschrieben, was zu einer höheren Sympathiewertung führte. Dies zeigt, dass Mimik in der Lage ist, positive Emotionen wie Freude zu fördern und eine emotional ansprechende Atmosphäre zu schaffen, die für eine gelungene Interaktion essentiell ist.

Ohne Mimik hingegen erschien der Roboter mechanischer und distanzierter, was die Interaktion als weniger angenehm erscheinen ließ. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Sympathie und die emotionale Bindung, die ein Roboter erzeugen kann, stark von seinen nonverbalen Fähigkeiten abhängen.

Ein weiterer entscheidender Aspekt, der in der Untersuchung hervorgehoben wurde, ist das Gefühl der Natürlichkeit während der Interaktion. Die Probanden, die mit Jarvis in der Version mit Mimik kommunizierten, beschrieben die Interaktion als flüssiger und natürlicher im Vergleich zu der Version ohne Mimik. Dies ist ein klares Indiz dafür, dass Mimik nicht nur visuelle Informationen liefert, sondern auch den Gesprächsfluss unterstützt und den Roboter menschlicher wirken lässt. Durch Mimik wird die Interaktion nicht nur authentischer, sondern auch intuitiver, was für eine effektive Kommunikation zwischen Mensch und Maschine unerlässlich ist.

Ohne Mimik hingegen wurde Jarvis als eher „roboterhaft“ wahrgenommen, was das Gefühl einer menschlichen Interaktion minderte und den Roboternutzen für alltägliche Konversationen einschränkte. Diese Diskrepanz in der Wahrnehmung der Natürlichkeit unterstreicht die Bedeutung der Mimik als integralen Bestandteil für die erfolgreiche Implementierung von Robotern im sozialen Kontext.

Ein bedeutendes Ergebnis der Studie ist auch die Erkenntnis, dass Mimik den Komfort und das Vertrauen der Nutzer in den Roboter positiv beeinflusst. Die Teilnehmer der Gruppe A fühlten sich wohler und sicherer im Umgang mit Jarvis, was auf das beruhigende und unterstützende Feedback der Mimik zurückgeführt werden kann. Durch nonverbale Signale wie Mimik wird nicht nur die Kommunikation erleichtert, sondern auch eine emotionale Sicherheit geschaffen, die essenziell für eine erfolgreiche Interaktion ist.

In der Gruppe ohne Mimik hingegen fühlten sich die Probanden häufiger unsicher, da der Roboter keine visuellen Rückmeldungen gab, was den Eindruck einer starren und distanzierten Interaktion verstärkte. Die fehlende Mimik sorgte somit nicht nur für eine geringere Sympathie, sondern auch für ein geringeres Maß an Vertrauen in die Fähigkeiten des Roboters.

Ein weiteres Schlüsselement der Studie war die Untersuchung, inwiefern Mimik die wahrgenommene Intelligenz des Roboters beeinflusst. Die Probanden der Gruppe A bewerteten Jarvis als intelligenter und kompetenter, da seine Mimik nonverbal signalisierte, dass er ihre Eingaben besser verstand. Diese Rückmeldung durch Mimik stärkte das Vertrauen in die Fähigkeiten des Roboters und sorgte dafür, dass die Nutzer die Antworten des Roboters als relevanter und passender wahrnahmen.

Auch die emotionale Verbindung, die zwischen Mensch und Roboter aufgebaut wurde, zeigte deutliche Unterschiede zwischen den beiden Testgruppen. Die Gruppe, die mit dem mimikfähigen Jarvis interagierte, fühlte sich emotional stärker mit dem Roboter verbunden, was zeigt, dass Mimik nicht nur die kognitive Interaktion fördert, sondern auch eine emotionale Brücke schafft, die für eine langfristige Akzeptanz von Robotern von großer Bedeutung ist.

Eines der herausragenden Ergebnisse der Untersuchung ist der Einfluss der Mimik auf das Engagement der Probanden. In Gruppe A, die mit der Version von Jarvis mit Mimik interagierte, war das Engagement signifikant höher als in Gruppe B. Die Probanden waren motivierter, das Gespräch fortzusetzen und zeigten eine aktivere Teilnahme, was sich auch in der längeren Interaktionsdauer widerspiegelte. Dies ist ein wesentlicher Aspekt für die Gestaltung zukünftiger Dialogroboter, da ein höheres Engagement nicht nur zu einer besseren Nutzererfahrung führt, sondern auch den Informationsaustausch effizienter gestaltet.

In der Gruppe ohne Mimik hingegen wurden die Interaktionen als weniger spannend und fesselnd beschrieben, was zu einer kürzeren Gesprächsdauer und einer geringeren Anzahl an besprochenen Themen führte. Diese Ergebnisse zeigen, dass Mimik nicht nur die Sympathie und das Vertrauen steigert, sondern auch eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung ansprechender und interessanter Interaktionen spielt.

Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit bieten wertvolle Ansätze für zukünftige Entwicklungen im Bereich der sozialen Robotik. Mimik hat sich als zentrales Element für die Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion erwiesen und bietet somit zahlreiche Möglichkeiten, die Akzeptanz und Effizienz von Robotern in verschiedenen Anwendungsbereichen zu steigern. In zukünftigen Projekten könnte der Einsatz von maschinellem Lernen und automatisierten Mimikanpassungen untersucht werden, um die Reaktionen des Roboters noch kontextsensitiver und authentischer zu gestalten.

Zudem wäre es sinnvoll, weitere Forschungen zur emotionalen Interaktion mit Robotern zu betreiben, um besser zu verstehen, wie Roboter in emotional aufgeladenen Situationen reagieren sollten, um empathisch und unterstützend zu agieren. Dies könnte besonders in Bereichen wie der Pflege oder Therapie von großer Bedeutung sein.

Insgesamt hat diese Arbeit gezeigt, dass Mimik nicht nur ein optionales Feature für soziale Roboter ist, sondern eine notwendige Komponente für die Schaffung natürlicher, menschlicher und effizienter Interaktionen. Die Integration von Mimik in Dialogrobotern wie Jarvis hat das Potenzial, die Mensch-Roboter-Interaktion und somit das Nutzererlebnis erheblich zu verbessern und bietet somit einen wichtigen Impuls für die Weiterentwicklung der sozialen Robotik.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fünf Dimensionen sozialer Roboter (Bendel 2021:6)	11
Abbildung 2: Kismet (Menzel, in AI MIT o. J.)	13
Abbildung 3: Kismet Mimik (Menzel, in AI MIT o. J.)	13
Abbildung 4: AIBO (Hulton Archive / Getty Images, in IEEE - Robots Guide o. J.)	14
Abbildung 5: Uncanny Valley (übersetzte Darstellung in Anlehnung an Mori 1970)	23
Abbildung 6: Sophia (Quelle: Hanson Robotics o. J.)	27
Abbildung 7: Menschenhaut-Equivalent (Takeuchi in Schall, New York Times 2024)	27
Abbildung 8 Wall-E (G+J Entertainment / Walt Disney in Kinderfilmwelt o. J.)	30
Abbildung 9: NASAs Curiosity Rover (Quelle: Jet Propulsion Laboratory in SciTechDaily 2023)	30
Abbildung 10: Iron Giant (Quelle: Pluggedin o. J.)	31
Abbildung 11: Chappie (Quelle: Aufa, LIPUTAN6 2015)	31
Abbildung 12: Atlas (Quelle: Boston Dynamics o. J.)	32
Abbildung 13: BB8 (Quelle: Star Wars o. J.)	32
Abbildung 14: pepper (Aldebran, Part of United Robotics Group 2016)	33
Abbildung 15: Aibo (Kim / Reuters in SPIEGEL Netzwelt 2017)	33
Abbildung 16: ASIMO (Quelle: future zone 2022)	34
Abbildung 17: Figure 01 (Quelle: Donath, golem.de 2024)	34
Abbildung 18: Anki Cozmo (Quelle: Marco, Personal Robots 2019)	35
Abbildung 19: Eve (Everett Collection in CHARACTEROUR o. J.)	35
Abbildung 20: Optimus – Tesla (Tesla 2023)	37
Abbildung 21: Emo (Abbott / Columbia Engineering in Evarts, Columbia Engineering 2024)	38
Abbildung 22: Die sechs Basisemotionen (Horkovska in Calmerry Blog 2023)	40
Abbildung 23: QTrobot (LuxAI, in IEEE - Robots Guide o. J.)	41
Abbildung 24: Emotion Wheel Qtrobot (LuxAI o. J.)	41
Abbildung 25: Geneva Emotion Wheel (Tran 2004 in Krassmann et al., ResearchGate 2018)	42
Abbildung 26: Plutchik's Wheel of Emotions (Plutchik o. J.)	43
Abbildung 27: pepper Blickabwendung (Aldebran o. J.)	44
Abbildung 28: Jarvis Wheel of Emotions	48
Abbildung 29: Jarvis Wheel of Emotions - ID Struktur	50
Abbildung 30: Jarvis Neutral	52
Abbildung 31: Jarvis Verwirrung	53
Abbildung 32: K-VRC (Quelle: Love Death + Robots Wiki 2020)	53
Abbildung 33: Jarvis - Erste Skizzen	54
Abbildung 34: Neutrale Mimik als Basis	57
Abbildung 35: Angepasste Mimik „Ekel“	57
Abbildung 36: Modellierung in Blender	59
Abbildung 37: Blender Keyframes – Augen	59
Abbildung 38: Jarvis – Mimik PNGs	60

Abbildung 39: Jarvis - Quadrat	60
Abbildung 40: Jarvis mit Korpus.....	67
Abbildung 41: Testaufbau in Privaträumen in Karlsruhe	71
Abbildung 42: Diagramm - Auswertung Themen	79
Abbildung 43: Diagramm – Auswertung Mimik A	82
Abbildung 44: Diagramm – Auswertung Mimik B	82

Anhang

1. AB-Test

1.1. Einverständniserklärungen

- 1.1.1. „Proband_A01_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.2. „Proband_A01_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.3. „Proband_A02_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.4. „Proband_A03_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.5. „Proband_A04_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.6. „Proband_A05_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.7. „Proband_A06_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.8. „Proband_B01_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.9. „Proband_B02_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.10. „Proband_B03_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.11. „Proband_B04_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.12. „Proband_B05_Einverständniserklärung.pdf“
- 1.1.13. „Proband_B06_Einverständniserklärung.pdf“

1.2. Log Dateien

- 1.2.1. „Proband_A01_Log.txt“
- 1.2.2. „Proband_A02_Log.txt“
- 1.2.3. „Proband_A03_Log.txt“
- 1.2.4. „Proband_A04_Log.txt“
- 1.2.5. „Proband_A05_Log.txt“
- 1.2.6. „Proband_A06_Log.txt“
- 1.2.7. „Proband_B01_Log.txt“
- 1.2.8. „Proband_B02_Log.txt“
- 1.2.9. „Proband_B03_Log.txt“
- 1.2.10. „Proband_B04_Log.txt“
- 1.2.11. „Proband_B05_Log.txt“
- 1.2.12. „Proband_B06_Log.txt“

1.3. Videos Jarvis

- 1.3.1. "Proband_A01_Jarvis.mp4"
- 1.3.2. "Proband_A02_Jarvis.mp4"
- 1.3.3. "Proband_A03_Jarvis.mp4"
- 1.3.4. "Proband_A04_Jarvis.mov"
- 1.3.5. "Proband_A05_Jarvis.mov"

- 1.3.6. "Proband_A06_Jarvis.mov"
- 1.3.7. "Proband_B01_Jarvis.mp4"
- 1.3.8. "Proband_B02_Jarvis.mp4"
- 1.3.9. "Proband_B03_Jarvis.mp4"
- 1.3.10. "Proband_B04_Jarvis.mp4"
- 1.3.11. "Proband_B05_Jarvis.mp4"
- 1.3.12. "Proband_B06_Jarvis.mp4"

1.4. Videos Probanden

- 1.4.1. "Proband_A01.mov"
- 1.4.2. "Proband_A02.mp4"
- 1.4.3. "Proband_A03.mov"
- 1.4.4. "Proband_A04.mov"
- 1.4.5. "Proband_A05.mov"
- 1.4.6. "Proband_A06.mov"
- 1.4.7. "Proband_B01.mov"
- 1.4.8. "Proband_B01.docx"
- 1.4.9. "Proband_B03.mov"
- 1.4.10. "Proband_B04.mov"
- 1.4.11. "Proband_B05.mov"
- 1.4.12. "Proband_B06.mov"

1.5. „AB-Test_Auswertungen.xlsx“

1.6. „Eperimenteller_Plan.pdf“

1.7. „Probanden_Fragebogen_Antworten.pdf“

1.8. „Probanden_Fragebogen_leer.pdf“

2. Mimik

2.1. Animationen

- 2.1.1. „em0_neu.mp4“
- 2.1.2. „em111_cal.mp4“
- 2.1.3. „em112_sat.mp4“
- 2.1.4. „em121_hap.mp4“
- 2.1.5. „em131_exc.mp4“
- 2.1.6. „em211_emb.mp4“
- 2.1.7. „em212_con.mp4“
- 2.1.8. „em221_sur.mp4“
- 2.1.9. „em311_shy.mp4“
- 2.1.10. „em312_ner.mp4“

- 2.1.11. „em313_con.mp4“
- 2.1.12. „em321_fea.mp4“
- 2.1.13. „em331_sho.mp4“
- 2.1.14. „em411_dis.mp4“
- 2.1.15. „em421_sad.mp4“
- 2.1.16. „em431_dep.mp4“
- 2.1.17. „em511_ann.mp4“
- 2.1.18. „em521_dis.mp4“
- 2.1.19. „em611_irr.mp4“
- 2.1.20. „em621_ang.mp4“
- 2.1.21. „em631_fur.mp4“
- 2.1.22. „squ.png“
- 2.1.23. „squ_tal.mp4“
- 2.1.24. „squ_thi.mp4“
- 2.1.25. „vm_00_tal_neu.mp4“
- 2.1.26. „vm_01_thi.mp4“
- 2.1.27. „vm_02_tal_hap.mp4“
- 2.1.28. „vm_03_tal_sur.mp4“
- 2.1.29. „vm_04_tal_sad.mp4“
- 2.1.30. „vm_05_tal_fea.mp4“
- 2.1.31. „vm_06_tal_ang.mp4“
- 2.1.32. „vm_07_tal_dis.mp4“

2.2. Blender Dateien

- 2.2.1. „animierte_mimik01.blend“
- 2.2.2. „animierte_mimik02.blend“
- 2.2.3. „animiertes_quadrat.blend“

2.3. „Jarvis_Animationen.xlsx“

2.4. „Jarvis_Wheel_of_Emotions.pdf“

2.5. “Sammlung_Roboter_positive_Assoziationen.pdf”

3. “Abstract.docx”

4. “Sophia_Lange_Erklärung_Abgabe_Thesis.pdf”

5. “Sophia_Lange_Notenblatt.pdf”

Literaturverzeichnis

AI MIT (o.J.): "Kismet". <<http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>> [Stand: k. A. Zugriff: 16.05.2024, 08:45 MESZ]

Aldebran, Part of United Robotics Group (2016): "Meet Pepper the Robot | Softbank Robotics" [Youtube]. <https://www.youtube.com/watch?v=kr05reBxVRs&ab_channel=Aldebaran%2CpartofUnitedRoboticsGroup> [veröffentlicht am 31.05.2016. Zugriff: 17.05.2024, 10:48 MESZ, Video 00:30]

Alkork, Samer et al. (2022): "Applications of Social Robotics". <<https://encyclopedia.pub/entry/25792>> [Stand: k. A.. Zugriff: 20.05.2024, 13:31 MESZ]

Allouch, Somaya Ben / de Graaf, Maartje / Van Dijk, Jan (2016): "Long-Term Acceptance of Social Robots in Domestic Environments: Insights from a User's Perspective". In: Enabling Computing Research in Socially Intelligent Human-Robot Interaction: A Community-Driven Modular Research Platform, 2016

Askari, Farzaneh et al. (2018): "A Pilot Study on Facial Expression Recognition Ability of Autistic Children Using Ryan, a Rear-Projected Humanoid Robot". Denver : University of Denver

Aufa Jazual (2015): "Robot cerdas di film Chappie takkan bisa bunuh manusia?". <<https://www.liputan6.com/tekno/read/2185831/robot-cerdas-di-film-chappie-takkan-bisa-bunuh-manusia>> [Stand: 05.05.2015. Zugriff: 16.05.2024, 09:37 MESZ]

Bartneck, Christoph et al. (2009): "Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots". In: Int J Soc Robot, Vol. 1, 2009, 71–81

Bartneck, Christoph et al. (2009): "My robotic doppelgänger - A critical look at the Uncanny Valley". In: RO-MAN 2009 - The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2009

Bartneck, Christoph et al. (2020): "Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Einführung". München : Carl Hanser Verlag

Bartneck, Christoph / Forlizzi, Jodi (2004): "A Design-Centred Framework for Social Human-Robot Interaction". In: Proceedings of the Ro-Man2004, 2004, 591-594

Belpaeme, Tony et al. (2018): "Social Robots for Education: A Review". In: Science Robotics, Vol. 3, Nr. 21, 1-9

Bendel (o.J.): "Robotik", In: Gabler Wirtschaftslexikon (Hrsg.)(o.J.). <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/robotik-54198>> [Stand: k. A.. Zugriff: 20.05.2024, 13:12 MESZ]

Bendel (o.J.): "Soziale Roboter", In: Gabler Wirtschaftslexikon (Hrsg.)(o.J.). <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/soziale-roboter-122268>> [Stand: k. A.. Zugriff: 20.05.2024, 13:23 MESZ]

Bendel, Oliver et al. (2021): "Soziale Roboter - Technikwissenschaftliche, wirtschaftswissenschaftliche, philosophische, psychologische und soziologische Grundlagen". Wiesbaden : Springer Gabler

Bethel, Cindy L. / Murphy, Robin R. (2006): "Affective Expression in Appearance Constrained Robot". In: HRI '06: Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction, 2006, 327-328

Biba, Jacob (2024): "What Is a Social Robot?". <<https://builtin.com/robotics/social-robot#:~:text=Social%20robots%20are%20artificial%20intelligence,with%20humans%20or%20other%20robots.>>
[Stand: 08.05.2024. Zugriff: 20.05.2024, 13:44 MESZ]

Birch-Hurst, Kayley et al. (2021): "Altering Facial Movements Abolishes Neural Mirroring of Facial Expressions". In: Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, Vol. 22, 2022, 316-327

Boada, Júlia Pareto / Maestre, Begoña Román / Genís, Carme Torras (2021): "The ethical issues of social assistive robotics: A critical literature review". In: Technology in Society, Vol. 67, 2021

Bongard, Josh / Zykov, Victor / Lipson, Hod (2006): "Resilient Machines Through Continuous Self-Modeling". In: Science, Vol. 314, Nr. 5802, 2006, 1118-1121

Boston Dynamics (o. J.): "An Electric new Era for Atlas". <<https://bostondynamics.com/blog/electric-new-era-for-atlas/>> [Stand: k. A. Zugriff: 17.05.2024, 10:22 MESZ]

Braun, Alexander / Glotz, Peter (2013): "Chatbots in der Kundenkommunikation". Heidelberg : Springer-Verlag

Breazeal, Cynthia (2000): "Kismet", <[https://web.media.mit.edu/~cynthiab/research/robots/kismet/overview/overview.html#:~:text=Kismet%20is%20the%20first%20robot,Robotics%20\(or%20Sociable%20Robotics\).>](https://web.media.mit.edu/~cynthiab/research/robots/kismet/overview/overview.html#:~:text=Kismet%20is%20the%20first%20robot,Robotics%20(or%20Sociable%20Robotics).>) [Stand: k. A.. Zugriff: 20.05.2024, 13:41 MESZ]

Breazeal, Cynthia (2003): "Emotion and Sociable Humanoid Robots". In: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 59, Nr. 1-2, 2003, 119-155

Breazeal, Cynthia / Hoffman, Guy (2007): "Effects of Anticipatory Action on Human-Robot Teamwork: Efficiency, Fluency, and Perception of Team". In: 2007 2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 2012

Breazeal, Cynthia / Scassellati, Brian (1999): "A Context-Dependent Attention System for a Social Robot". In: IJCAI'99: Proceedings of the 16th international joint conference on Artificial intelligence, Vol. 2, 1999, 1146-1151

Cambridge Dictionary (2024): "Mimik". [Stand: 2024. Zugriff: 22.05.2024, 10:18 MESZ]

CHARACTOUR (o. J.): "EVE - WALL-E - Character Analysis". <<https://www.charactour.com/hub/characters/view/EVE.Wall-E>> [Stand: 27.12.2019. Zugriff: 17.05.2024, 13:40 MESZ]

Chat OpenAI: "Alles über ChatGPT". <<https://chatopenai.de/>> [Stand: k. A. Zugriff: 21.05.2024, 10:29 MESZ]

Coasta, Andreia et al. (2017): "Socially assistive robots for teaching emotional abilities to children with autism spectrum disorder". In: 3rd Workshop Child-Robot Interaction at Human Robot Interaction (HRI), 2017

Donath, Andreas (2024): "Figure 01 führt natürliche Gespräche dank OpenAI". <<https://www.go-lem.de/news/roboter-figure-01-fuehrt-natuerliche-gespraeche-dank-openai-2403-183169.html>> [Stand: 14.03.2024. Zugriff: 17.05.2024, 11:14 MESZ]

Duden (2024): "ChatGPT". <<https://www.duden.de/rechtschreibung/ChatGPT>> [Stand: 2024. Zugriff: 21.05.2024, 10:27 MESZ]

Duden (2024): "Mimik". <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Mimik>> [Stand: 2024. Zugriff: 22.05.2024, 10:16 MESZ]

Duden (2024): "Robotik". <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Robotik>> [Stand: 2024. Zugriff: 20.05.2024, 13:12 MESZ]

Duden (2024): "Sprachmodell". <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Sprachmodell>> [Stand: 2024. Zugriff: 21.05.2024, 10:20 MESZ]

Ekman, Paul (1992): "An argument for basic emotions". In: Cognition & Emotion, Vol. 6, Nr. 3-4, 169-200

Ekman, Paul / Friesen, Wallace V. (1971): "Constants Across Cultures in the Face and Emotion". In: Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 17, Nr. 2, 124-129

European Data Protection Supervisor (2016): "Artificial Intelligence, Robotics, Privacy and Data Protection - Room Document for the 38th International Conference of Data Protection and Privacy Commissioners". Marrakech : International Privacy Conference

Evarts, Holly (2024): "Robot, can you say 'Cheese?'". <<https://www.engineering.columbia.edu/news/robot-can-you-say-cheese>> [Stand: 27.12.2019. Zugriff: 17.05.2024, 14:01 MESZ]

Fong, Terrence / Nourbakhsh, Illah / Dautenhahn, Kerstin (2003): "A Survey of Socially Interactive Robots". In: Robotics and Autonomous Systems, Vol. 42, Nr. 3-4, 2003, 143-166

future zone (2022): "Berühmter Roboter geht nach 22 Jahren in Pension". <<https://future-zone.at/produkte/asimo-honda-roboter-pension-aus-ende/401953990>> [Stand: 28.03.2022. Zugriff: 17.05.2024, 11:08 MESZ]

Furhat Robotics (o. J.): "The 7 Best Use Cases for Social Robots". <<https://furhatrobotics.com/blog/the-7-best-use-cases-for-social-robots/>> [Stand: k. A.. Zugriff: 20.05.2024, 13:37 MESZ]

Frith, Chris (2009): "Role of facial expressions in social interactions". In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 364, Issue 1535, 2009

Goetz, Jennifer / Kiesler, Sara (2002): "Mental Models of Robotic Assistants". In: CHI EA '02: CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 2002, 576 - 577

Gonsior, Barbara et al. (2011): "Improving Aspects of Empathy and Subjective Performance for HRI through Mirroring Facial Expressions". In: 2011 RO-MAN, 2011

Hanson Robotics (o. J.): "Sophia". <<https://www.hansonrobotics.com/sophia/>> [Stand: k. A. Zugriff: 27.05.2024, 09:53 MESZ]

Hashimoto, Takuya / Hiramatsu, Sachio (2006): "Development of Face Robot for Emotional Communication between Human and Robot". In: 2006 International Conference on Mechatronics and Automation, 2006, 25-30

Hashimoto, Takuya et al. (2006): "Development of the Face Robot SAYA for Rich Facial Expression". In: 2006 SICE-ICASE International Joint Conference, 2006

Hayashi, Kotaro / Mizuuchi, Ikuo (2017): "Investigation of Joint Action: Eye Blinking Behavior Improving Human-Robot Collaboration". In: 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 2017

Häkkinen, Jonna et al. (2022): "User Experience and Social Interaction with Robots". Bonn : Gesellschaft für Informatik e.V.

Hoffman, Guy (2017): "What Makes Us Human? - The Future of Human-Robot Interaction". <<https://as.cornell.edu/news/future-human-robot-interaction>> [Stand: 27.09.2017. Zugriff: 21.05.2024, 12:59 MESZ]

Horkovska, Iryna (2023): "6 Types of Basic Emotions and Their Effect on Human Behavior". <<https://calmerry.com/blog/psychology/6-types-of-basic-emotion/>> [Stand: 23.05.2023. Zugriff: 19.05.2024, 12:00 MESZ]

Huang, Chien-Ming / Mutlu, Bilge (2013): "The Repertoire of Robot Behavior: Enabling Robots to Achieve Interaction Goals through Social Behavior". In: Journal of Human-Robot Interaction, Vol. 2, Nr. 2, 2013, 80-102

Huang, Thomas S. et al. (2007): "A Survey of Affect Recognition Methods". In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 31, Nr. 1, 2009, 39-58

Huang, Thomas S. et al. (2008): "A Survey of Affect Recognition Methods: Audio, Visual, and Spontaneous Expressions". In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 31, Nr. 1, 2009, 39-58

Hultenius, Jonas (2023): "CASA - Exploring the Paradigm in the Age of AI". <<https://thetangled-web.blog/casa-exploring-the-paradigm-in-the-age-of-ai>> [Stand: 30.05.2023. Zugriff: 21.05.2024, 13:45 MESZ]

IEEE - Robots Guide (o. J.): "Aibo (1999)". <<https://robotsguide.com/robots/aibo>> [Stand: k. A. Zugriff: 20.05.2024, 11:45 MESZ]

IEEE - Robots Guide (o. J.): "Kismet". <<https://robotsguide.com/robots/kismet>> [Stand: k. A. Zugriff: 20.05.2024, 11:53 MESZ]

IEEE - Robots Guide (o. J.): "QTrobot". <<https://robotsguide.com/robots/qtrobot>> [Stand: k. A. Zugriff: 19.05.2024, 12:47 MESZ]

Imbir, Kamil K. (2017): "Psychoevolutionary Theory of Emotion (Plutchik)". In: Encyclopedia of Personality and Individual Differences, 2017, 1-9

Jack, Rachael E. et al. (2012): "Facial Expressions of Emotion are not Culturally Universal". In: PNAS, Vol. 109, Nr. 19, 2012

Janowski, Kathrin / André, Elisabeth (2021): "Nichtverbales Verhalten sozialer Roboter: Bewegungen, deren Bedeutung und die Technik dahinter". In: Soziale Roboter, 2021

Johnston, Ollie / Thomas, Frank (1981): "The Illusion of Life - Disney Animation". New York : Abbeville Press

Kanda, Takayuki (2010): "Natural Human-Robot Interaction". In: SIMPAR 2010, 2010, 2

Kawai, Michio et al. (2022): "Living Skin on a Robot". In: Matter, Vol. 5, Nr. 7, 2022, 2190-2208

Kelly, Kevin / McGinn, Conor (2018): "Using the Geneva Emotion Wheel to Classify the Expression of Emotion on Robots ". In: HRI '18: Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2018, 191-192

Kendall, Emily (2022): "Uncanny Valley - Proposed Phenomenon". <<https://www.britannica.com/topic/uncanny-valley>> [Stand: 05.08.2024. Zugriff: 21.05.2024, 16:18 MESZ]

Kinderfilmwelt (o. J.): "Wall•E - Der Letzte räumt die Erde auf". <<https://www.kinderfilmwelt.de/film-pool/film/walle-der-letzte-raeumt-die-erde-auf>> [Stand: k. A. Zugriff: 16.05.2024, 08:47 MESZ]

Krassmann, Aliane Loureiro et al. (2018): "Conversational Agents in Distance Education: Comparing Mood States with Students' Perception". <https://www.researchgate.net/figure/Geneva-emotion-wheel-Source-Tran-2004_fig2_327309864> [Stand: k. A. Zugriff: 19.05.2024, 13:46 MESZ]

Leite, Iolanda / Paiva, Ana / Ribeiro, Tiago (2014): "Emotion Modelling for Social Robots". Lisbon : Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon

Lesley University (o. J.): "The Psychology of Emotional and Cognitive Empathy". <<https://lesley.edu/article/the-psychology-of-emotional-and-cognitive-empathy#:~:text=It%20is%20important%20to%20note,in%20the%20same%20physical%20pain.>> [Stand: k. A. Zugriff: 21.05.2024, 12:36 MESZ]

Li, Shan / Deng, Weihong (2020): "Deep Facial Expression Recognition: A Survey". In: IEEE Transactions on Affective Computing, Vol. 13, Nr. 3, 2022, 1195-1215

Londono, Laura et al. (2023): "Fairness and Bias in Robot Learning". In: Proceedings of the IEEE, Vol. 112, 2024, 305-330]

Love Death + Robots Wiki (2020): "K-VRC". <<https://lovedeathrobots.fandom.com/de/wiki/K-VRC>> [Stand: 20.05.2022. Zugriff: 20.05.2024, 09:33 MESZ]

LuxAI (o. J.): "How to teach emotion understanding to children with autism". <<https://luxai.com/blog/how-to-teach-emotion-understanding-to-children-with-autism/>> [Stand: k. A. Zugriff: 19.05.2024, 12:52 MESZ]

Majidi, Carmel / Roberts, Peter / Zadan, Mason (2021): "Soft Tactile Sensing Skins for Robotics". In: Current Robotics Reports, Vol. 2, 2021, 343-354

Marco (2019): "Anki aquired by Digital Dream Labs – Cozmo and Vector will come back!". <<https://www.personalrobots.biz/anki-aquired-by-digital-dream-labs-cozmo-and-vector-will-come-back/>> [Stand: 27.12.2019. Zugriff: 17.05.2024, 13:03 MESZ]

Mollahosseini, Ali et al. (2014): "ExpressionBot: An Emotive Lifelike Robotic Face for Face-to-Face Communication". In: 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2015

Mori, Masahiro / Macdorman, Karl F. / Kageki, Norri (2012): "The Uncanny Valley". In: Robotics & Automation, 2012, 98-100

Nass, Clifford / Reeves, Byron (1996): "The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places". Cambridge : Center for the Study of Language and Information; Cambridge University Press

Nass, Clifford / Siminoff, Ellen / Steuer, Jonathan (1994): "Computer are social actors". Stanford : Stanford University

New Scientist (2024): "Smiling Robot Face Is Made from Living Human Skin Cells" [Youtube]. <<https://www.youtube.com/watch?v=Arh-fkTMkn0>> [veröffentlicht am: 25.05.2024. Zugriff: 22.05.2024, 16:10 MESZ]

Nomura, Tatsuya et al. (2006): "Measurement of Anxiety Toward Robots". In: ROMAN 2006 - The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2007

Pennazio, Valentina (2017): "Social Robotics to Help Children with Autism in their Interactions through

Imitation". In: REM - Research on Education and Media, Vol. 9, Nr. 1, 2017, 10-16

PluggedIn (o. J.): "The Iron Giant". <<https://www.pluggedin.com/movie-reviews/irongiant/>> [Stand: k. A. Zugriff: 16.05.2024, 09:12 MESZ]

Plutchik, Robert (1980): "Emotion: A Psychoevolutionary Synthesis". New York : Harper & Row

Prakash, Akanksha / Rogers, Weny A. (2014): "Why Some Humanoid Faces Are Perceived More Positively Than Others: Effects of Human-Likeness and Task". In: Int J Soc Robot, Vol.7, Nr. 2, 2015, 309-331

Rawal, Niyati / Stock-Homburg, Ruth Mario (2022): "Facial Emotion Expressions in Human-Robot Interaction: A Survey". In: International Journal of Social Robotics, 2022

Rossi, Alessandra et al. (2021): "Trust, Acceptance and Social Cues in Human-Robot Interaction (SCRITA)". In: International Journal of Social Robotics, Vol. 13, 2021, 1833-1834

Scassellati, Brian / Admoni, Henny / Mataric, Maja (2012): "Robots for Use in Autism Research". In: Annual Review of Biomedical Engineering, Vol. 14, 275-294

Scassellati, Brian et al. (2018): "Improving Social Skills in Children with ASD Using a Long-Term, in-Home Social Robot". In: Science Robotics, Vol. 3, 21, 2018

Schall, Emily (2024): "Scientists in Japan Give Robots a Fleshy Face and a Smile". <<https://www.ny-times.com/2024/06/30/science/japan-robots-human-face.html>> [Stand: 04.2024. Zugriff: 27.05.2024, 10:22 MESZ]

Scherer, Klaus / Schlegel, Katja / Shuman, Vera (2015): "Geneva Emotion Wheel Rating Study". Genf : University of Geneva, Swiss Center for Affective Sciences

Schneiders, Eike et al. (2023): "'Briefly Entertaining but Pointless': Perceived Benefits & Risks of Social Robots in the Home". New York : Association for Computing Machinery

SciTechDaily (2023): "Historic Martian Milestone: NASA's Curiosity Rover Clocks 4,000 Days on Mar". <<https://scitechdaily.com/historic-martian-milestone-nasas-curiosity-rover-clocks-4000-days-on-mars/>> [Stand: 07.11.2023. Zugriff: 16.05.2024, 08:43 MESZ]

Seman, Paul (2012): "Natural Language Generation: An Overview". In: Journal of Computer Science & Research, Vol. 1, Nr. 3, 2012, 50-57

Shourmasti, Elaheh Shahmir et al.(2021): "User Experience in Social Robots". Basel : Sensors

Sieber, Armin (2019): "Dialogroboter - Wie Bots und künstliche Intelligenz Medien und Massenkommunikation verändern". Wiesbaden : Springer Fachmedien

SPIEGEL Netzwelt (2017): "Teures Aibo-Comeback - Sony stellt Neuauflage seines Roboterhunds vor". <<https://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/aibo-sony-stellt-neuen-roboterhund-vor-a-1175864.html>> [Stand: k. A. Zugriff: 17.05.2024, 10:56 MESZ]

Six Seconds (o. J.): "Plutchik's Wheel of Emotions: Exploring the Emotion Wheel". <<https://www.6seconds.org/2022/03/13/plutchik-wheel-emotions/>> [Stand: k. A. Zugriff: 12.06.2024, 14:27 MESZ]

Star Wars (o. J.): "BB-8". <<https://www.starwars.com/databank/bb-8>> [Stand: k. A. Zugriff: 17.05.2024, 10:31 MESZ]

Stangl, Werner (2024): "Proxemik". <<https://lexikon.stangl.eu/428/proxemik>> [Stand: k. A. Zugriff: 22.05.2024, 09:08 MESZ]

Steinfeld, Aaron et al. (2006): "Common Metrics for Human-Robot Interaction". In: HRI '06: Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction, 2006, 33-40

Tesla (2023): "Optimus - Gen 2 | Tesla" [Youtube]. <https://www.youtube.com/watch?v=cpra-Xaw7dyc&ab_channel=Tesla> [veröffentlicht am: 14.12.2023. Zugriff: 17.05.2024, 13:59 MESZ, Video 01:43]

Waseda University (o. J.): "WABOT -WAseda roBOT-". Shinjuku : Humanoid Robotics Institute, Waseda University

Wittig, Steffen / Ratsch, Matthias / Kloos, Uwe (2015): "Parameterized Facial Animation for Socially Interactive Robots". In: Mensch und Computer 2015 Tagungsband, 2015, 355-358

Yan, Fei / Iliyasu, Abdullah M. / Hirota, Kaoru (2021): "Emotion Space Modelling for Social Robots". In: Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 100, 2021
