

IU Internationale Hochschule

Fernstudium

Studiengang: Bachelor of Engineering – Robotics

6. Semester

Fallstudie

Modul: DLBROSHRI01_D - Seminar: Mensch-Maschinen -Interaktion

Tutor:in: Amir Al-Munajjed

Emotionale Aspekte einer Mensch-Maschinen Interaktion

Was sind Emotionen vor dem Hintergrund der MMI und welche Methoden gibt es für Roboter, um Emotionen messen und bewerten zu können?



INTERNATIONALE
HOCHSCHULE

Datum: 20.03.2025

Verfasser: Timo Kliesch

Matrikelnummer: IU14072463

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
1. Einleitung	1
2. Grundlagen zu Emotionen und Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)	2
2.1 Was sind Emotionen?	
2.2 Emotionen im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion	
3. Methoden zur Erkennung und Bewertung von Emotionen in der MMI	4
3.1 Physiologische Messmethoden	
3.2 Gesichtserkennung und Mimik-Analyse	
3.3 Sprachanalyse und Tonfallbewertung	
3.4 Körperhaltung und Gestikanalyse	
3.5 Textbasierte Emotionserkennung	
4. Herausforderungen und ethische Aspekte der Emotionserkennung in der MMI	10
4.1 Technische Herausforderungen	
4.2 Ethische Fragestellungen	
5. Fazit	12
II. Abbildungsverzeichnis	14
III. Literaturverzeichnis	17

Abkürzungsverzeichnis

CNN	Convolutional Neural Network
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
FACS	Facial Action Coding System
KI	Künstliche Intelligenz
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
NLP	Natural Language Processing
PPG	Photoplethysmographie
SER	Speech Emotion Recognition
TA-SWISS	(Schweizer) Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

1. Einleitung

Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) hat sich in den letzten Jahren über rein funktionale Bedienprozesse hinaus auf soziale Kontexte ausgedehnt, in denen emotionale Aspekte eine entscheidende Rolle spielen (Mainzer, 2021, S.193). Moderne soziale Roboter sind ein Beispiel hierfür. Diese sensomotorischen Maschinen mit anthropomorphen Zügen können mittels Künstlicher Intelligenz die Emotionen ihrer menschlichen Gegenüber erkennen und sogar selbst scheinbar emotional reagieren (Schulze et al., 2021a, S.10). Die Einbeziehung von Emotionen soll Interaktionen intuitiver, flüssiger und sozial akzeptabler machen (Mainzer, 2021, S.193). Entsprechend rückt die Emotionserkennung als Schlüsseltechnologie in den Fokus der MMI, denn sie ermöglicht es Maschinen, ihr Verhalten dynamisch an den Gefühlszustand des Menschen anzupassen. So können heutige Systeme unter Laborbedingungen bereits Emotionen aus Mimik, Stimme und Gestik ihrer Nutzer ziemlich zuverlässig erkennen (Schulze et al., 2021a, S.10). Dadurch lassen sich etwa affektive Zustände wie Frustration oder Freude identifizieren, um angemessen darauf zu reagieren und das Nutzererlebnis zu verbessern.

Gleichwohl ist der Emotionsbegriff komplex. In der Wissenschaft besteht kein Konsens über eine einheitliche Definition von Emotion (Winder, 2006, S.25). Es gibt zahlreiche konkurrierende Emotionstheorien (Winder, 2006, S.25). Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit zunächst der Emotionsbegriff im Kontext der MMI geklärt. Emotionen werden dabei als psychophysiologische Zustände verstanden, die sich in beobachtbaren Signalen ausdrücken. Entsprechend bezeichnet Emotionserkennung Verfahren, die solche Signale auswerten, um auf den emotionalen Zustand zu schließen. Die Auswertung multimodalen Daten wie Gesichtsausdruck, Stimme, Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit mittels Methoden des Affective Computing erlaubt es Robotern, Annahmen über die Gefühlslage einer Person zu treffen (Yazdani & Leidinger, 2021). Solche technischen Möglichkeiten zur automatisierten Interpretation menschlicher Emotionen bilden die Grundlage für empathisch reagierende Assistenzsysteme und soziale Roboter.

Zielsetzung und Aufbau

Die vorliegende Seminararbeit hat zum Ziel, die Rolle und Definition von Emotionen im Rahmen der MMI herauszuarbeiten und einen Überblick über aktuelle Methoden zur Erfassung und Bewertung von Emotionen durch Roboter zu geben. Die zentrale Fragestellung lautet: *„Was sind Emotionen vor dem Hintergrund der MMI und welche Methoden gibt es für Roboter, um Emotionen messen und bewerten zu können?“* Zur Beantwortung dieser Frage werden zunächst die theoretischen Grundlagen zu Emotion, Empathie und affektiver Interaktion in der Mensch-Maschine-Interaktion dargelegt. Anschließend werden verschiedene technologische Ansätze der Emotionserkennung durch Maschinen und hinsichtlich ihrer Funktionsweise beleuchtet. Im abschließenden Kapitel werden die Erkenntnisse zusammengefasst und im Hinblick auf die Forschungsfrage diskutiert.

2 Grundlagen: Emotionen und Mensch-Maschine-Interaktion

2.1 Was sind Emotionen?

Emotionen sind komplexe psychische Zustände, für die es keine einheitliche Definition gibt (Winder, 2006, S.25). Allgemein versteht man unter Emotionen jedoch innere Reaktionen auf bedeutsame Ereignisse (äußere oder innere), die typischerweise mit Veränderungen auf mehreren Ebenen einhergehen (Feigl, 2018, S.3). Aus psychologischer Sicht werden Emotionen als Mehrkomponenten-Prozesse beschrieben. Sie umfassen ein subjektives Erleben (das Gefühl der betreffenden Person), physiologische Veränderungen (z. B. Pulsanstieg, hormonelle Ausschüttungen) und Verhaltensänderungen wie Mimik oder Gestik (Winder, 2006, S.27). So bezeichnet man das emotionale Erleben oft schlicht als das Gefühl, das mit der Emotion einhergeht (Winder, 2006, S.27). Der Begriff Stimmung hingegen beschreibt einen länger anhaltenden, Hintergrund wirkenden Gefühlszustand geringerer Intensität und ohne klaren Auslöser (Wikipedia-Autoren, 2022). Im Unterschied zu solchen Stimmungen sind Emotionen meist kurzfristig und objektgerichtet, d. h. sie lassen sich auf einen konkreten Anlass oder Auslöser zurückführen (Ludewig, 2011).

Emotionen spielen eine übergeordnete Rolle in der zwischenmenschlichen Kommunikation. Sie dienen als soziale Signale, durch die wir unseren inneren Zustand ausdrücken und das Verhalten anderer beeinflussen (Feigl, 2018, S.4). Empirische Befunde zeigen beispielsweise, dass Menschen positive Emotionen verstärkt zeigen, wenn andere anwesend sind. Etwa lächeln Bowlingspieler deutlich häufiger, wenn sie sich nach einem guten Wurf zu ihren Mitspielern umdrehen, als wenn sie allein auf die Kegel blicken (Feigl, 2018, S.4). Im Miteinander ermöglichen Emotionen somit Empathie, Abstimmung und Bindung. Sie können als „soziales Schmiermittel“ gelten, das Interaktionen erleichtert, indem es z. B. Freude, Ärger oder Sorge für Gegenüber sichtbar macht. Nicht zuletzt unterliegen Emotionen auch Normen. In jeder Kultur gibt es Vorstellungen darüber, in welchen Situationen welche Gefühlsäußerungen angemessen sind (Bendel & Kreis, 2021a, S.22), dies verdeutlicht zusätzlich ihren Stellenwert für das geordnete Zusammenleben.

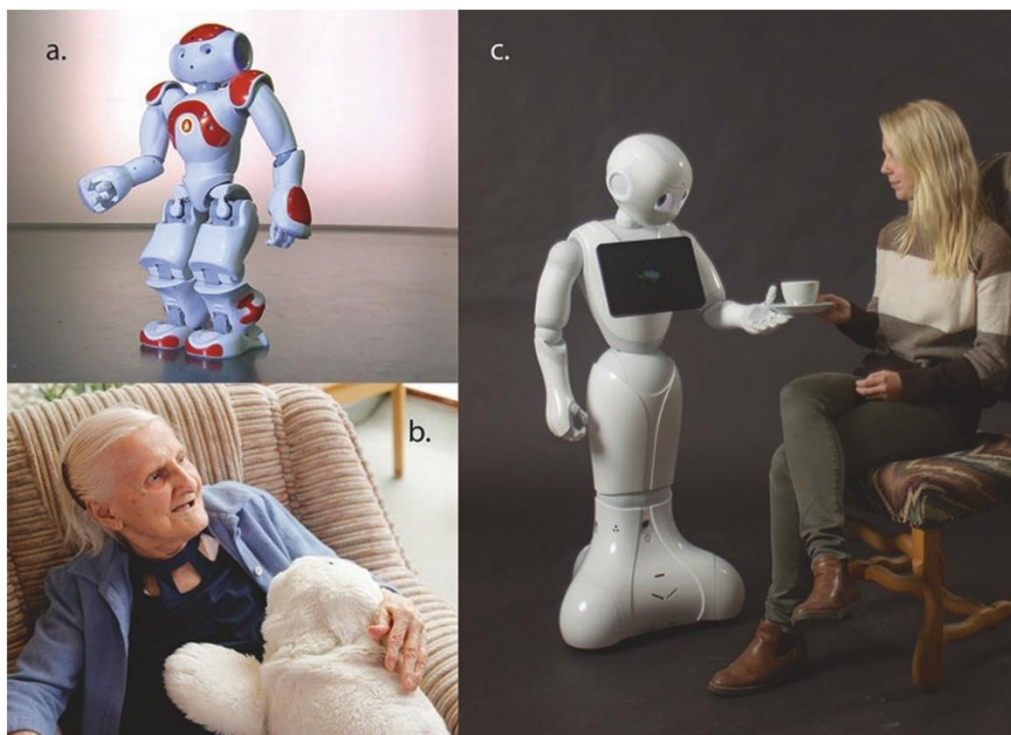
Zur Erklärung von Entstehung und Funktion von Emotionen wurden verschiedene Theorien entwickelt. Eine frühe einflussreiche Theorie ist die James-Lange-Theorie (1884), die einen physiologischen Ansatz verfolgt. William James und Carl Lange postulierten, dass körperliche Veränderungen die Ursache von Emotionen sind (Winder, 2006, S.32). Demnach folgt auf einen auslösenden Reiz zunächst unwillkürlich eine körperliche Reaktion, und das Bewusstsein dieser Reaktion wird als Emotion (Gefühl) erlebt (Winder, 2006, S.32). Im Kontrast dazu stehen kognitive Bewertungstheorien, die die Einschätzung der Situation in den Vordergrund rücken. Nach Arnold entsteht eine Emotion erst dadurch, dass ein Reiz vom Individuum als relevant bewertet wird. Dieser Bewertungsprozess kann auch unbewusst und sehr schnell ablaufen (Winder, 2006, S.34). Vereinfacht gesagt, ob ein lautes Geräusch Angst auslöst, hängt davon ab, wie die Person dieses

Ereignis interpretiert (als Gefahr oder als harmlos). Daneben gibt es evolutionspsychologische Ansätze, etwa Darwins Idee grundlegender Ausdrucksformen und Paul Ekman's Konzept von Basisemotionen. Ekman identifizierte sechs Basis oder primäre Emotionen (Freude, Furcht, Wut, Ekel, Traurigkeit, Überraschung), die er als universal bei allen Menschen vorkommend ansah und die jeweils mit charakteristischen Gesichtsausdrücken verbunden seien (Yazdani & Leidinger, 2021). Dieses Modell der Universalität ist zwar umstritten (Yazdani & Leidinger, 2021), bildet aber die Grundlage für viele praktische Anwendungen, etwa bei der automatisierten Gesichtsausdruckserkennung in der Technik.

2.2 Emotionen im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion

In der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), insbesondere in Bereichen wie Social Robotics und Affective Computing, gelten Emotionen als Schlüssel für natürlichere und effektivere Interaktionen. Da Emotionen im Mensch-Mensch-Kontext essenziell für Verständnis und Empathie sind, versucht man, diese Komponenten auch in die Mensch-Computer-Interaktion zu integrieren (Yazdani & Leidinger, 2021). Emotionale Signale des Nutzers zu erkennen und angemessen darauf zu reagieren, kann die Usability und Akzeptanz technischer Systeme erhöhen. So wird etwa berichtet, dass sozial interagierende Roboter mehr Vertrauen und positiveres Feedback hervorrufen, wenn sie Emotionen zeigen oder darauf eingehen (Schulze et al., 2021a, S.10). Ein praktisches Motiv ist zudem die Verbesserung der Kooperation: *„Um das Zusammenleben zwischen Menschen und Robotern zu verbessern, ist es wichtig, dass Roboter Emotionen darstellen können.“* (Feigl, 2018, S.1). Ein Roboter, der z.B. Mitgefühl ausdrückt oder auf die Frustration des Gegenübers eingeht, kann menschenähnlicher wirken und effektiver unterstützen (etwa in der Pflege oder Bildung).

Abbildung 1: Beispiele für soziale Roboter



Quelle 1: Übernommen aus Korn et al., 2021, S. 63

Die automatische Erkennung und Interpretation menschlicher Emotionen durch Maschinen sind äußerst anspruchsvoll. Zwar können moderne Systeme unter Laborbedingungen bereits verschiedene verbale, nonverbale und paraverbale Hinweisreize auswerten, um Emotionen relativ zuverlässig zu identifizieren, Jedoch sinken die Erkennungsraten in unbegrenzten, realen Umgebungen deutlich (Schulze et al., 2021a, S.10). Trotzdem werden bereits diverse Ansätze der emotionalen MMI erprobt. Sprachassistenten wie Amazons Alexa sollen künftig anhand der Stimme Stimmungen der Nutzer erkennen können (Yazdani & Leidinger, 2021). Amazon arbeitet an einer entsprechenden Erweiterung der KI-Assistentin, um etwa Ärger oder Freude im Tonfall zu detektieren und die Reaktionen des Systems darauf abzustimmen. Der Musikdienst Spotify hat sogar patentiert, die emotionale Verfassung von Nutzer*innen zu analysieren, um passende Musik vorzuschlagen (Yazdani & Leidinger, 2021). In kontrollierten Tests können solche Systeme bereits gewisse Emotionen des Gegenübers erkennen und z. B. mit freundlicher Stimme und passender Gestik darauf eingehen, auch wenn die Zuverlässigkeit im Alltag noch begrenzt ist. Ein anderes Beispiel sind emotionsorientierte Assistenzroboter in der Pflege. Ziel solcher *Companion*-Roboter ist es, positive emotionale Erlebnisse bei den Nutzern auszulösen (Baisch et al., 2017, S.16). Tatsächlich werden Roboter bereits in Pflegeeinrichtungen eingesetzt und können Studien zufolge beim Kontakt mit diesen emotionalen Roboter bei älteren Menschen Stress und Einsamkeit reduzieren und das Wohlbefinden sowie die Stimmung heben (Baisch et al., 2017, S.16; Schubert, 2021, S.32). Diese Beispiele zeigen, dass die Integration von Emotionen in die Mensch-Maschine-Interaktion bereits heute in unterschiedlichen Formen stattfindet, von sprachbasierten Assistenten bis zu sozialen Robotern, und dass sie als vielversprechend erachtet wird, um die Interaktion natürlicher, menschenzentrierter und effektiver zu gestalten.

3. Methoden zur Erkennung und Bewertung von Emotionen in der MMI

Es gibt zahlreiche verschiedene Methoden mit denen Emotionen in der Mensch-Maschine-Interaktion erkannt und bewertet werden können. Solche Verfahren entstammen dem Gebiet des Affective Computing und nutzen sowohl physiologische Signale als auch visuelle, auditive und textuelle Hinweise, um auf den emotionalen Zustand einer Person zu schließen (Yazdani & Leidinger, 2021; Cai et al., 2023, S.2). Jede der nachfolgend beschriebenen Kategorien von Methoden hat eigene Stärken und Schwächen, weshalb in der Praxis oft mehrere Ansätze kombiniert werden, um robustere Ergebnisse zu erzielen (Cai et al., 2023, S.2-5).

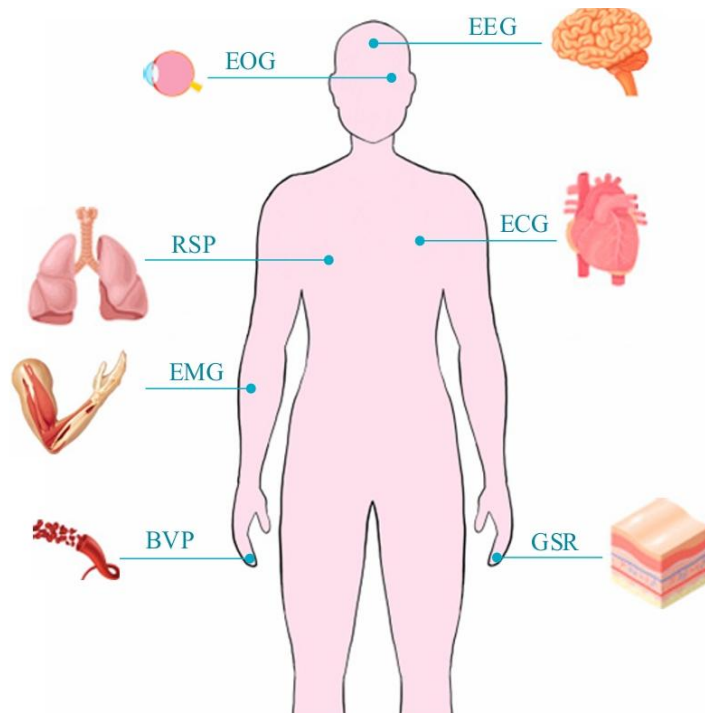
3.1 Physiologische Messmethoden

Physiologische Emotionserkennung basiert auf der Erfassung biologischer Reaktionen des Körpers, die mit emotionalen Zuständen einhergehen. Verschiedene Emotionen rufen charakteristische Änderungen in vitalen Parametern hervor (Cai et al., 2023, S.6). So führt etwa die durch Freude, Ärger oder Angst ausgelöste Erregung häufig zu einer erhöhten Herzfrequenz (Cai et al., 2023, S.6). Positive Emotionen können die Atemfrequenz steigern, während depressive Emotionen mit

gedrosselter Atmung einhergehen (Cai et al., 2023, S.6). Ebenso ändern sich Parameter wie der Blutdruck und die Hautleitfähigkeit (galvanische Hautreaktion) unter emotionalem Stress. Über direkte Messungen am Körper, z. B. mittels EKG zu Messung der Herzaktivität, Hautleitwertsensoren oder EEG-Elektroden am Kopf, lassen sich diese physiologischen Reaktionen quantifizieren (Yazdani & Leidinger, 2021). Beispielsweise wird bei der EEG-basierten Emotionserkennung die elektrische Aktivität verschiedener Hirnareale erfasst, da bestimmte Muster (etwa im präfrontalen Kortex) mit emotionaler Erregung oder Valenz in Zusammenhang stehen (Cai et al., 2023, S.7-10).

Dank technischer Fortschritte können viele biometrische Daten mittlerweile mit Wearables und Sensoren im Alltag aufgezeichnet werden. Smartwatches und Fitness-Armbänder nutzen etwa die

Abbildung 2: Sensorisch erfassbare physiologische Signale.



Quelle 2: Übernommen aus Cai et al., 2023, S. 7

Photoplethysmographie (PPG), eine optische Methode, um die Herzschlagrate kontinuierlich am Handgelenk zu messen (Cai et al., 2023, S.4). Solche tragbaren Geräte ermöglichen eine unaufdringliche Emotionserkennung durch Überwachung von Stressindikatoren wie Herzfrequenzvariabilität oder Hautfeuchtigkeit im täglichen Leben. Sogar kamerabasierte Verfahren können physiologische Signale aus der Ferne erfassen. Bei der Remote-PPG analysiert eine RGB-Kamera minimale Farbänderungen im Gesicht, die durch pulsbedingte Blutflussänderungen entstehen (Cai et al., 2023, S.4). Auf diese Weise kann z.B. der Grad der peripheren Gefäßverengung ermittelt werden, der bei Angst oder Wut typischerweise erhöht ist (Cai et al., 2023, S.5).

Physiologische Messmethoden liefern objektive Daten und sind schwer willentlich zu unterdrücken. Sie eignen sich besonders zur Erkennung des Arousal (Erregungsniveau) einer Emotion. Allerdings ist die Interpretation schwierig. Aus einem beschleunigten Puls allein lässt sich nicht eindeutig

ableiten, ob etwa Freude oder Angst vorliegt. Oft müssen der Kontext oder weitere Signale hinzugezogen werden, um die valente Gefühlsqualität zu bestimmen (Cai et al., 2023, S.5). Zudem erfordern manche Messungen einen gewissen technischen Aufwand und können in alltagsnahen Anwendungen als störend empfunden werden (Cai et al., 2023, S.5).

3.2 Gesichtserkennung und Mimik-Analyse

Die Mimik ist ein zentraler Träger von emotionaler Informationen. Ein einflussreiches manuelles Kodierungssystem zur Analyse der Mimik ist das Facial Action Coding System (FACS) nach Paul Ekman (Bischofs, 2021, S.29). FACS basiert auf der Annahme, dass bestimmte Basisemotionen universell mit gleichen mimischen Muskelbewegungen einhergehen (Yazdani & Leidinger, 2021). Bei FACS werden die Bewegungen der über 90 Gesichtsmuskeln in 44 sogenannte Action Units übersetzt, die jeweils einem bestimmten Bestandteil eines Gesichtsausdrucks entsprechen (Bischofs, 2021, S.29). Durch Kombination der Action Units lässt sich ein beobachteter Gesichtsausdruck objektiv beschreiben und einer Emotion zuordnen (Bischofs, 2021, S.29). Zum Beispiel kennzeichnen hochgezogene Wangen und verengte Augenlider einen fröhlichen Ausdruck (Feigl, 2018, S.9), während ein Zusammenziehen der Augenbrauen mit geöffneten Augen auf Wut hindeuten kann (Feigl, 2018, S.9). FACS wird oft von trainierten Codierern per Videoanalyse angewandt, um die Gefühlsregungen von Probanden zu erfassen (Bischofs, 2021, S.28).

Abbildung 3: Prozess der Gesichtsanalyse



Quelle 3: Übernommen aus Cai et al., 2023, S. 4

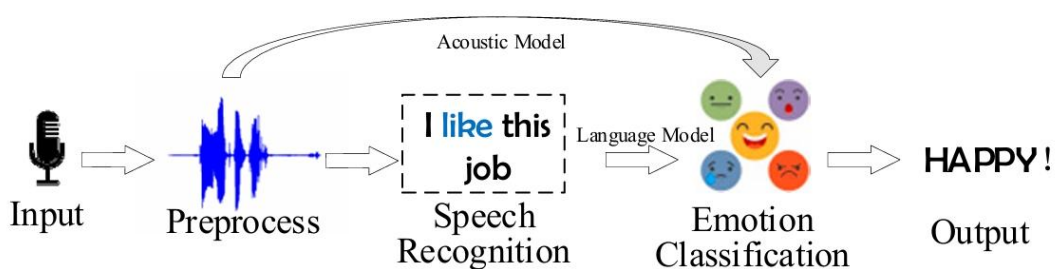
Neben solchen manuellen Verfahren kommen zunehmend KI-gestützte Ansätze zum Einsatz, um Emotionen aus Gesichtern automatisch zu erkennen. Moderne *Computer-Vision*-Algorithmen, insbesondere Convolutional Neural Networks (CNNs), können in Echtzeit Gesichter in Bildern oder Videos analysieren und auf erlernte Emotionsklassen klassifizieren (Cai et al., 2023, S.16). In kontrollierten Tests werden mit solchen maschinellen Lernverfahren Genauigkeiten von über 80 Prozent bei der Unterscheidung emotionaler Gesichtsausdrücke erzielt (Cai et al., 2023, S.16). Sie lernen dazu auf großen Trainingsdatensätzen mit gekennzeichneten Bildern die charakteristischen Merkmalsmuster verschiedener Emotionen. Trotz dieser Fortschritte gibt es beträchtliche Herausforderungen bei der Emotionserkennung durch Gesichtsanalyse. Ein Problem ist die interindividuelle Variabilität. Individuen unterscheiden sich in Physiognomie und mimischem Ausdrucksverhalten, sodass dieselbe Emotion bei verschiedenen Menschen unterschiedlich aussehen kann (Cai et al., 2023, S.4). Gleichzeitig können unterschiedliche Gefühlszustände sehr ähnliche Gesichtszüge hervorrufen, was zu geringen Unterschieden zwischen den Emotionsklassen

führt (Cai et al., 2023, S.4). Hinzu kommen praktische Probleme. Mimik lässt sich schlecht auswerten, wenn das Gesicht ganz oder teilweise verdeckt ist oder aus ungünstigem Winkel von der Kamera erfasst wird (Cai et al., 2023, S.4). Auch die Beleuchtung und Bildqualität beeinflussen die Erkennungsrate. Darüber hinaus wird die Universalität mimischer Ausdrucksmuster mittlerweile kritisch hinterfragt (Yazdani & Leidinger, 2021). Kulturelle Unterschiede und individuelle Gewohnheiten können bewirken, dass Menschen ihre Gefühle nicht immer in der von Ekman beschriebenen Standardform zeigen (Yazdani & Leidinger, 2021). Diese Aspekte limitieren die Zuverlässigkeit rein mimikbasierter Emotionserkennung.

3.3 Sprachanalyse und Tonfallbewertung

Neben der visuellen Mimik spielt auch die Stimme eine wesentliche Rolle beim Ausdruck von Emotionen. Bereits ohne inhaltliche Analyse der Wörter lassen Tonfall, Sprachmelodie und Sprechtempo einer Äußerung Rückschlüsse auf den Gefühlszustand zu. So kann etwa eine zitternde, gepresste Stimme auf Angst hindeuten, während lautes, schnelleres Sprechen mit scharfer Tonlage oft auf Ärger oder Erregung hindeutet. Verfahren der Sprachanalyse machen sich dies zunutze, indem sie Sprachsignale aufnehmen und charakteristische Prosodiemerkmale extrahieren. Typische analysierte Eigenschaften sind beispielsweise die Grundfrequenz der Stimme, Schwankungen in der Lautstärke, die Sprechgeschwindigkeit sowie die Sprachmodulation (Rhythmus, Pausen, Timbre). Moderne Ansätze der Speech Emotion Recognition (SER) durchlaufen meist mehrere Verarbeitungsschritte. Zunächst wird das Audiosignal gefiltert und segmentiert, um Störgeräusche zu reduzieren (Cai et al., 2023, S.6). Anschließend werden Merkmale aus dem Signal berechnet, die als Input für einen Klassifikationsalgorithmus dienen (Cai et al., 2023, S.6). Häufig kommen hier Machine-Learning-Modelle zum Einsatz, die anhand großer Sprach-Datensätze gelernt haben, welche Merkmalsmuster „typisch“ sind (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Grundlagen der Emotionserkennung“; Studysmarter, o.J., Abschnitt „Anwendungsgebiete der Emotionserkennung“). Mithilfe neuronaler Netze können multimodale Ansätze sogar den gesprochenen Inhalt und den Klang analysieren, um die Emotion genauer zu erfassen (Cai et al., 2023, S.6).

Abbildung 4: Prozess der SER-Analyse



Quelle 4: Übernommen aus Cai et al., 2023, S. 6

Sprachanalytische Emotionsdetektoren kommen bereits zum Einsatz. Ein Beispiel sind sogenannte Aggressions-Detektoren, die in einigen Schulen oder öffentlichen Bereichen installiert wurden (Yazdani & Leidinger, 2021). In einem Test erwies sich allerdings, dass auch freudige Ausrufe

fälschlich als Aggression erkannt werden konnten (Yazdani & Leidinger, 2021). Dieses Beispiel verdeutlicht einerseits das Potenzial von Tonfallerkennung, andererseits aber auch die Fehlerraten, die bei isolierter Betrachtung des Stimmklangs auftreten können. Aus der hohen Variabilität und Kontextabhängigkeit der Stimme ergeben sich Herausforderungen der Emotionserkennung aus Sprache. Unterschiedliche Personen haben sehr verschiedene Sprechstile, Timbres und Dialekte, was eine Generalisierung erschwert (Cai et al., 2023, S.6). Derselbe Satz kann mit unterschiedlicher Intonation vollkommen verschiedene Emotionen transportieren (Cai et al., 2023, S.6). Solche Fälle sind für automatisierte Systeme schwer zu durchschauen, da sie sowohl akustische als auch sprachliche Kontextinformationen korrekt interpretieren müssten. Kulturelle Gewohnheiten spielen ebenfalls hinein, so werden bestimmte Emotionen in manchen Sprachen tendenziell lauter oder leiser ausgedrückt als in anderen (Cai et al., 2023, S.6). All dies führt dazu, dass die Treffsicherheit reiner Tonfallanalysen begrenzt sein kann. Um die Erkennungsgenauigkeit zu erhöhen, kombinieren fortgeschrittene SER-Systeme akustische Analysen mit Sprachverstehen oder beziehen bekannte Sprecherprofile mit ein (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Grundlagen der Emotionserkennung“; Feigl, 2018, S.9). Trotz der Herausforderungen ermöglicht die Sprachanalyse einen wertvollen Blick auf die emotionale Befindlichkeit, insbesondere in Szenarien, in denen visuelle Informationen fehlen.

3.4 Körperhaltung und Gestikanalyse

Ein großer Teil zwischenmenschlicher Kommunikation erfolgt nonverbal durch Körpersprache, also Gestik und Haltung (Seng, 2023). Studien legen nahe, dass über die Hälfte der emotionalen Botschaft nicht über Worte, sondern über Gesichtsausdruck, Handgesten und Körperhaltung vermittelt wird (Seng, 2023). Beispielsweise kann ein eingesunkener Oberkörper mit hängenden Schultern Niedergeschlagenheit signalisieren, während lebhaft, weitausholende Bewegungen Aufregung oder Dominanz ausdrücken. In der MMI wird daher versucht, auch diese körpersprachlichen Hinweise mit technischen Mitteln zu erfassen und zu interpretieren. Unter Gestenerkennung versteht man Technologien, die menschliche Körperbewegungen mittels Sensoren oder Kameras aufnehmen und automatisch auswerten (Studysmart, o.J., Abschnitt „Gestenerkennung Definition“). Bei kamerabasierten Verfahren kommen Verfahren der Bildverarbeitung zum Einsatz, die etwa die Position von Gelenkpunkten im Videobild ermitteln und daraus Haltungsmuster oder spezifische Gesten ableiten. Alternativ können Sensoren am Körper oder in Smartphones die Bewegungen im Raum tracken.

Experimentelle Studien haben etwa gezeigt, dass offene, zugewandte Körperhaltungen häufiger bei positiven, freundlichen Interaktionen auftreten, während verschränkte Arme oder abgewandter Blick eher negative Einstellungen anzeigen. Allerdings sind körpersprachliche Signale meist subtil und stark vom Kontext abhängig. Dieselbe Geste kann Unterschiedliches bedeuten: Ein verschränktes Armhalten kann Abwehr und Unsicherheit ausdrücken, aber mitunter auch einfach eine bequeme Sitzposition ohne tieferen Emotionsgehalt sein. Ein automatisiertes System muss daher versuchen, den Zusammenhang zu berücksichtigen, in dem eine Geste auftritt. Ansätze dazu kombinieren die

Erkennung von Gesten mit zusätzlichem Wissen, etwa der Situationsanalyse oder dem Verlauf der Interaktion, um die richtige Schlussfolgerung zu ziehen (Feigl, 2018, S.9). Zudem zeigt die Erfahrung, dass Menschen, die einander gut kennen, die Körpersprache des Gegenübers wesentlich treffsicherer „lesen“ können als Fremde (Feigl, 2018, S.9). Diese persönlichen Feinabstimmungen fehlen einer generischen KI zunächst. Die Interpretation von Körpersprache durch Maschinen steckt entsprechend noch in den Anfängen, trägt aber wesentlich dazu bei, eine ganzheitliche Einschätzung der Emotion zu ermöglichen. Insbesondere in multimodalen Systemen, wenn also Gestik zusammen mit Mimik und Stimme ausgewertet wird, verbessert die Berücksichtigung der Körperhaltung die Robustheit der Emotionserkennung (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Grundlagen und Techniken der Emotionserkennung“; Cai et al., 2023, S.2).

3.5 Textbasierte Emotionserkennung

In textbasierten Mensch-Maschine-Dialogen (z. B. Chats) fehlen die nonverbalen Kanäle vollständig. Dennoch können auch geschriebene Worte emotionale Färbungen tragen. Die textbasierte Emotionserkennung, oft als Sentimentanalyse bezeichnet – versucht, Stimmungen in schriftlichen Inhalten zu erkennen (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Anwendungsgebiete der Emotionserkennung“). Hierbei kommen Methoden der Verarbeitung natürlicher Sprache (NLP) zum Einsatz (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Anwendungsgebiete der Emotionserkennung“). Algorithmen analysieren Texte und klassifizieren sie nach emotionalem Gehalt, z. B. positiv, neutral oder negativ. Einfachere Systeme arbeiten mit Wörterbüchern vordefinierter positiver bzw. negativer Wörter. Moderne Ansätze nutzen maschinelles Lernen. Sie wurden auf großen Textkorpora trainiert, in denen Passagen mit Emotionstags versehen sind, und lernen so komplexe Muster der Sprache zu erkennen, die auf Emotionen hindeuten (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Anwendungsgebiete der Emotionserkennung“). Insbesondere Transformerbasierte Sprachmodelle zeigen in letzter Zeit hohe Leistungsfähigkeit darin, auch kontextabhängige Stimmungsnuancen zu erfassen. So kann ein gutes System den Unterschied erfassen zwischen „*Das ist ja großartig.*“ (wörtlich und tatsächlich positiv) und „*Na toll...*“ (wörtlich positiv, aber sarkastisch-negativ gemeint), eine Unterscheidung, die reinen Wortlisten nicht möglich wäre.

Textbasierte Sentimentanalyse kommt bereits vielfach zum Einsatz. Chatbots nutzen sie, um die Laune des Benutzers einzuschätzen und entsprechend angemessen zu reagieren. In der Marktforschung und Sozialen Medien erlaubt Sentimentanalyse, öffentliche Stimmungen zu Produkten oder Ereignissen zu quantifizieren, indem Millionen von Tweets oder Posts nach tonalen Mustern durchsucht werden (Studysmarter, o.J., Abschnitt „Techniken zur Emotionserkennung“). Ein bekanntes Beispiel war, dass Facebook zeitweise Werbekunden ermöglicht hat, gezielt Anzeigen an vermeintlich „traurige“ oder verunsicherte Teenager auszuspielen (Yazdani & Leidinger, 2021). Diese Praxis war ethisch umstritten, zeigt jedoch die technischen Fähigkeiten solcher Systeme. Bei rein textueller Emotionserkennung liegt vor allem in der Abwesenheit nonverbaler Hinweise die größte Herausforderung. Ironie und Sarkasmus sind für Menschen oft an Tonfall oder Mimik erkennbar, was

Fehlinterpretationen begünstigt. Zwar versuchen fortgeschrittene NLP-Modelle, auch indirekte Hinweise zu berücksichtigen (etwa Wortwahl, Übertreibungen, Kontextwissen), jedoch bleibt die korrekte Erkennung von subtilen Gefühlsnuancen schwierig. Die Stimmungsanalyse kann zwar im Idealfall sogar komplexe Phänomene wie Verwirrung oder Misstrauen aus Texten herauslesen (Stryker & Holdsworth, 2024), stößt aber an Grenzen, wenn es um kulturelle Unterschiede in der Sprache oder um kreative Ausdrucksweisen geht. In der Praxis wird versucht, wenn möglich auch textbasierten Systemen zusätzlichen Input zu geben, etwa die Verlaufsdaten eines Chatgesprächs oder Profileigenschaften des Nutzers, um die Interpretation zu verbessern. Trotz dieser Limitierungen ist die Sentimentanalyse ein wertvolles Werkzeug, um Stimmungen in reiner Textkommunikation zu erschließen.

4. Herausforderungen und ethische Aspekte der Emotionserkennung in der MMI

Emotionserkennung durch Maschinen steht vor erheblichen Herausforderungen und wirft diverse ethische Fragen auf. Im Folgenden werden erneut zentrale technische Herausforderungen, insbesondere Fehlinterpretationen von Emotionen, kulturelle Unterschiede und Datenschutzprobleme sowie relevante ethische Fragestellungen etwa zur Manipulation von Emotionen, gesellschaftlichen Risiken und Verantwortlichkeiten diskutiert.

4.1 Technische Herausforderungen

Eine zentrale technische Hürde bei der automatisierten Emotionserkennung ist die hohe Fehlerrate bei der Interpretation von Gefühlsausdrücken. Systeme können menschliche Reaktionen falsch deuten, was zu Fehldiagnosen führt. So haben sogenannte Aggressionsdetektoren in US-Schulen Begeisterungsschreie fälschlich als Aggression erkannt und Alarm ausgelöst (Yazdani & Leidinger, 2021). Selbst Hersteller geben zu, dass ihre Software nicht zuverlässig arbeitet und etwa harsche Töne oft irrtümlich als Wut interpretiert werden (Yazdani & Leidinger, 2021). Insgesamt fehlt es an einer belastbaren wissenschaftlichen Grundlage. Versprechen einer objektiven Gefühlsanalyse können derzeit nicht eingehalten werden (Yazdani & Leidinger, 2021).

Ein weiteres Problem sind kulturelle Unterschiede in der Emotionserkennung. Mimik und Gestik bedeuten nicht in allen Kulturen dasselbe, was universelle Modelle erschwert. Frühere Theorien wie die von Ekman postulierten sechs Basisemotionen sind umstritten (Yazdani & Leidinger, 2021). Tatsächlich variiert die Art und Weise, wie Menschen Wut, Angst, Freude oder Trauer ausdrücken, erheblich abhängig von Kulturkreis, Situation und Person (Yazdani & Leidinger, 2021). Ähnliche Gesichtsausdrücke können in unterschiedlichen Kontexten verschiedene Emotionen signalisieren (Yazdani & Leidinger, 2021). Ein starres Erkennungsmodell ohne Berücksichtigung solcher Variabilität führt daher leicht zu Fehlinterpretationen.

Schließlich wirft die Erfassung persönlicher emotionaler Daten Datenschutzprobleme auf. Emotionale Reaktionen gelten als sensible Informationen, deren Aufzeichnung und Auswertung ohne explizite Einwilligung kritisch ist. In der Praxis weisen etwa soziale Roboter im öffentlichen

Raum selten auf geltende Datenschutzbestimmungen hin (Bendel & Kreis, 2021b, S.117). Die mangelnde Transparenz verletzt die informationelle Autonomie der Betroffenen (Bendel & Kreis, 2021b, S.117). Es entsteht ein Machtungleichgewicht zwischen Beobachter und Beobachtetem, da Nutzer oft nicht wissen, welche emotionalen Daten über sie gesammelt und wie sie verwendet werden (Bendel & Kreis, 2021b, S.117). Diese Intransparenz und mögliche Weitergabe intimer Gefühlsdaten an Dritte stellt ein gravierendes technisches und rechtliches Risiko dar.

4.2 Ethische Fragestellungen

Neben technischen Aspekten rücken ethische Fragen in den Vordergrund. Dürfen Maschinen Emotionen manipulieren? Die Möglichkeit, menschliche Gefühle gezielt durch KI zu beeinflussen, wird kontrovers diskutiert. Einerseits könnten empathische Roboter z.B. in der Pflege positive Stimmungen fördern; andererseits besteht die Gefahr der Täuschung. Kritiker betonen, dass die emotionale Beeinflussung durch Maschinen schnell zu Manipulation und Missbrauch führen kann (Binswanger, 2021, S.111). Insbesondere wenn Roboter echte menschliche Zuwendung ersetzen, wird dies als ethisch bedenklich angesehen – der Einsatz von Robotern als Ersatz für menschlichen Kontakt könnte soziale Isolation sogar verstärken (Baisch et al., 2017, S.17). Die größte Gefahr sozial interagierender KI liegt laut Experten genau in diesem Potenzial zur manipulativen Einflussnahme auf Menschen (Binswanger, 2021, S.111). Entsprechend wird gefordert, sehr sorgfältig abzuwägen, in wessen Hände derartig einflussreiche Technologien gegeben werden und zu welchen Zwecken sie eingesetzt werden.

Risiken von emotional intelligenten Maschinen in der Gesellschaft ergeben sich vor allem durch möglichen Missbrauch der Technologie. Forscherinnen warnen davor, dass umfassende Emotionserkennungssysteme zu neuer Überwachung und Unterdrückung in der Gesellschaft beitragen könnten (Richter, 2019). Autoritäre Regime oder Unternehmen könnten emotionale KI verwenden, um Menschen zu kontrollieren oder zu manipulieren. Ebenso besteht die Gefahr, dass algorithmische Verzerrungen gewisse Gruppen systematisch benachteiligen. Die Technologien könnten soziale Ungleichheiten eher verschärfen, statt sie abzubauen (Yazdani & Leidinger, 2021). So weisen Studien darauf hin, dass fehlerhafte Emotionserkennungen etwa in Bewerbungsverfahren Bewerberinnen unfair benachteiligen könnten (Peters, 2021). Aufgrund der Unsicherheiten und potenziell gravierenden Folgen fordern Experten sogar, den Einsatz von Emotionserkennung in entscheidungsrelevanten Bereichen (z.B. Einstellungsgesprächen oder Strafverfolgung) vorläufig zu verbieten (Richter, 2019). Dies soll verhindern, dass unzuverlässige oder voreingenommene Systeme folgenschwere Entscheidungen über Menschen beeinflussen (Richter, 2019).

Schließlich trägt die Verantwortung bei der Entwicklung und Nutzung emotionaler KI wesentlich zur ethischen Gestaltung bei. Entwickler, Unternehmen und Anwender stehen in der Pflicht, hohen Sorgfaltsmaßstäben zu genügen. Unter dem Stichwort „*algorithmic accountability*“ wird diskutiert, Hersteller und Betreiber für die Auswirkungen ihrer Systeme zur Rechenschaft zu ziehen (Schulze, 2021a, S.14). Konkret bedeutet dies, dass bereits im Design auf Fairness, Transparenz und

Datenschutz geachtet wird und gründliche Tests mögliche Verzerrungen aufdecken. Fachleute empfehlen zudem eine begleitende Kontrolle solcher KI durch Ethik-Kommissionen und interdisziplinäre Prüfinstanzen (Schulze, 2021b, S.158). Diese Gremien sollen sicherstellen, dass emotionserkennende Technologien im Einklang mit gesellschaftlichen Werten stehen und keinem Individuum Schaden zufügen. Nicht zuletzt ist auch der Gesetzgeber gefordert, klare Leitlinien und gegebenenfalls Verbote für hochriskante Anwendungen emotionaler KI auszusprechen, um Missbrauch vorzubeugen (Richter, 2019). Durch ein Zusammenspiel aus technischer Sorgfalt, ethischer Reflexion und regulatorischer Aufsicht kann die Verantwortung bei Entwicklung und Einsatz emotional intelligenter Maschinen wahrgenommen und das Vertrauen der Gesellschaft in diese Technologien gesichert werden.

5. Fazit

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass die emotionale Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) ein großes Potenzial für natürlichere und effektivere Kommunikation zwischen Menschen und technischen Systemen bietet. Moderne soziale Roboter und KI-Systeme können in kontrollierten Umgebungen bereits zuverlässig menschliche Emotionen erkennen und mit scheinbar empathischen Reaktionen darauf antworten (Schulze, Schubert, Bendel, 2021, S.18). Erste Anwendungen finden sich in Bereichen wie der Betreuung älterer oder beeinträchtigter Personen, im Bildungswesen und im Kundenservice (Schulze, 2021a, S.10). Allerdings besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen dem technischen Potenzial und der realen Leistungsfähigkeit aktueller Systeme. Unter Alltagsbedingungen sinken die Erkennungsraten für Emotionen und Inhalte noch erheblich (Schulze, Schubert, Bendel, 2021b, S.18). Trotz dieser Einschränkungen deuten Studien auf eine hinreichende Akzeptanz solcher Systeme hin. Insbesondere in der Altenpflege können Roboter das psychische Wohlbefinden steigern sowie Gefühle von Einsamkeit reduzieren (Baisch et al., 2017, S.17).

Aus den Befunden lassen sich Chancen wie auch Risiken der emotionalen MMI ableiten. Zu den Vorteilen zählt die Möglichkeit, Interaktionen intuitiver zu gestalten und positive Emotionen zu fördern. Risiken ergeben sich vor allem durch mögliche Täuschung und ethische Konflikte. Da Maschinen Emotionen nur simulieren, besteht die Gefahr, dass Nutzer, insbesondere vulnerable Gruppen, diese als echte Empathie missverstehen (Schulze et al., 2021a, S.11). Eine unethische Verwendung als Ersatz für menschliche Zuwendung könnte dazu führen, dass psychosoziale Bedürfnisse nicht erfüllt werden und soziale Isolation eher verstärkt wird (Baisch et al., 2017, S.17). Weiterhin stellen Datenschutz und Sicherheit ein Risiko dar, weil emotionale MMI zur Gefühlserkennung intime Daten auswertet (Schulze et al., 2021a, S.11).

Die Entwicklung emotionaler KI steht erst am Anfang und bietet vielfältige Zukunftschancen. Technologisch ist zu erwarten, dass immer ausgereifere multimodale Emotionserkennung (aus Gesichtsausdruck, Stimme, Gestik und biologischen Signalen) und glaubhaftere emotive Reaktionen der Maschinen ermöglicht werden. Bereits heute boomt der *Markt für*

Emotionserkennungssysteme, obwohl deren wissenschaftliche Fundierung teils umstritten ist und manche Anwendungen unzuverlässig arbeiten (Yazdani & Leidinger, 2021). Künftige Entwicklungsmöglichkeiten umfassen verbesserte KI-Modelle, die kontextabhängig Emotionen differenzierter interpretieren und angemessener darauf reagieren können. Solche Fortschritte eröffnen große Potenziale für Gesellschaft und Arbeitswelt. Empathiefähige Assistenzsysteme könnten die Versorgung einer alternden Gesellschaft unterstützen, inklusivere Bildungsangebote ermöglichen und in Unternehmen das Wohlbefinden sowie die Produktivität steigern. Gleichzeitig müssen jedoch die Risiken für Gesellschaft und Arbeit berücksichtigt werden. Eine breite Einführung emotionaler MMI könnte etablierte zwischenmenschliche Kulturpraktiken verändern. Der Umgang mit Care-Robotern tangiert grundlegende Werte wie Fürsorge und Empathie (Schulze et al., 2021a, S.10). Es besteht die Gefahr, dass dauerhafte algorithmische Gefühlsanalyse zu einer Erosion der Privatsphäre führt oder dass fehlerhafte emotionale KI-Entscheidungen zu sozialer Schieflage führen (Yazdani & Leidinger, 2021). In der Arbeitswelt könnte die Automatisierung emotionaler Dienstleistungsarbeit zu Arbeitsplatzverlusten führen, sofern kein adäquater Strukturwandel erfolgt. Entscheidend wird sein, wie diese Technologie eingeführt wird. Ein partizipativer Ansatz unter Einbezug von Öffentlichkeit, Beschäftigten und Entscheidungsträgern gilt als essenziell, um Leitplanken für den sinnvollen Einsatz zu setzen (Schulze et al., 2021a, S.10). Durch rechtzeitige Anpassung regulatorischer Rahmenbedingungen und Schulung der Arbeitskräfte kann gewährleistet werden, dass die Vorteile emotionaler MMI ausgeschöpft werden, ohne die gesellschaftlichen Werte und den Arbeitsmarkt zu gefährden.

Literaturverzeichnis

- Baisch, S., Kolling, T., Rühl, S., Klein, B., Pantel, J., Oswald, F., & Knopf, M. (2017). *Emotionale Roboter im Pflegekontext: Empirische Analyse des bisherigen Einsatzes und der Wirkungen von Paro und Pleo*. Zeitschrift Für Gerontologie Und Geriatrie, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00391-017-1346-8>
- Bendel O., & Kreis J., (2021a). *Grundlagen zu sozialen Robotern und zu Emotionen und Empathie*. In Schulze H. et al. (Hrsg.) *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive* (S. 22-29) TA-SWISS. Bern. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Bendel O. & Kreis J. (2021b) *Soziale Roboter aus ethischer Sicht*. In Schulze et al. (2021): *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive*. TA-SWISS: Bern, S. 112-129. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Binswanger M. (2021) *Abschätzung volkswirtschaftlicher Auswirkungen*. In Schulze et al. (2021): *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive*. TA-SWISS: Bern, S. 101-111. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Bischofs, A., (2021) *Das epistemische Verhältnis der Sozialrobotik zur Gesellschaft*. In O. Bendel (Hrsg.), *Soziale Roboter: Technikwissenschaftliche, wirtschaftswissenschaftliche, philosophische, psychologische und soziologische Grundlagen* (S. 191–210). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31114-8_10
- Cai, Y., Li, X., Li, J., (2023) *Emotion Recognition Using Different Sensors, Emotion Models, Methods and Datasets: A Comprehensive Review*. Sensors. <https://doi.org/10.3390/s23052455>
- Feigl, M. (2018). *Modellierung von Emotionen mittels assistiver Roboter* [Masterarbeit, Technische Universität Dresden].
- Korn, O., Buchweitz, L., Theil, A., Fracasso, F., Cesta, A., (2021). *Akzeptanz und Marktfähigkeit sozialer Roboter*. In Bendel O. (Hrsg.), *Soziale Roboter: Technikwissenschaftliche, wirtschaftswissenschaftliche, philosophische, psychologische und sozio-logische Grundlagen* (S. 59–88). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31114-8_10
- Ludewig E. (2011, 17 November). *Stimmung und Emotion: Wo liegen die Unterschiede und wie lassen sie sich beeinflussen?* Abgerufen von <https://www.usabilityblog.de/stimmung-und-emotion-wo-liegen-die-unterschiede-und-wie-lassen-sie-sich-beeinflussen/>

- Mainzer, K. (2021). *Soziale Robotik und künstliches Bewusstsein*. In O. Bendel (Hrsg.), *Soziale Roboter: Technikwissenschaftliche, wirtschaftswissenschaftliche, philosophische, psychologische und soziologische Grundlagen* (S. 191–210). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31114-8_10
- Peters, R. (2021, Mai). *Emotionserkennung mittels künstlicher Intelligenz – Perspektiven und Grenzen von Technologien zur Analyse von Gesichtsbewegungen* (Themenkurzprofil Nr. 48). Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). <https://www.bundestag.de/resource/blob/848996/b0a0e4dc737c35ee2626cdf2ffc8d31d/Themenkurzprofil-048.pdf>
- Richter, F. (2019, 17. Dezember). *Forschungsinstitut warnt vor sozialen Folgen von KI*. Netropolitik. <https://netropolitik.org/2019/forschungsinstitut-warnt-vor-sozialen-folgen-von-ki/>
- Schubert, M., Zigan, N., Kramer, I., Tanner, A., Rüegg, M., Flückiger, S., Reimer, R., Schulze, H., (2021): *Rechtliche Aspekte sozialer Roboter*. In: Schulze et al. (2021): *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive*. TA-SWISS: Bern, S. 30–45. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Schulze, H., Bendel, O., Schubert, M., Binswanger, M., Simmler, M., Reimer, R., Tanner, A., Urech, A., Kreis, J., Zigan, N., Kramer, I., Flückiger, S., Rüegg, M., Künzi, C., Kochs, K., Zingg, O. (2021a): *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive*. TA-SWISS: Bern. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Schulze, H., Schubert, M., Bendel O., (2021) *Einleitung*. In Schulze et al. (2021): *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive*. TA-SWISS: Bern, S. 18-21. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Schulze, H., Bendel, O., Schubert, M., Binswanger, M., Simmler, M., Reimer, R., Tanner, A., Urech, A., Kreis, J., Zigan, N., Kramer, I., Flückiger, S., Rüegg, M., Künzi, C., Kochs, K., Zingg, O. (2021b) *Empfehlungen zum Umgang mit sozialen Robotern in der Schweiz*. In Schulze et al. (2021): *Soziale Roboter, Empathie und Emotionen. Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive*. TA-SWISS: Bern, S. 149-158. DOI: 10.5281/zenodo.5554564.
- Seng L. (2023) *Reden ohne Worte*. dasGehirn.info. <https://www.thebrain.info/node/1368>
- Stryker, C., Holdsworth J., (2024, 11. August) *Was ist NLP (Natural Language Processing)?* IBM. <https://www.ibm.com/de-de/think/topics/natural-language-processing>

Studysmarter. (o.J.). *Künstliche Intelligenz Studium: Erkennung von Emotionen*. Abgerufen am 7. März 2025, von <https://www.studysmarter.de/studium/informatik-studium/kuenstliche-intelligenz-studium/erkennung-von-emotionen/>

Studysmarter. (o.J.). *Gestenerkennung*. Abgerufen am 6. März 2025, von <https://www.studysmarter.de/studium/informatik-studium/kuenstliche-intelligenz-studium/gestenerkennung/>

Wikipedia-Autoren. (2022, 6. Januar). Stimmung (Psychologie). Wikipedia. Abgerufen am 22. Januar 2023 von [https://de.wikipedia.org/wiki/Stimmung_\(Psychologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Stimmung_(Psychologie))

Winder, T. (2006) *Emotionen im Marketingkontext*. In Schweiger, G. (Hrsg.) *Emotionen Im Marketing: Verstehen - Messen – Nutzen* (S. 1-136). Deutscher Universitäts Verlag. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=9632d104-bebf-3fc4-b8f8-9682c9237d8e>

Yazdani, N., & Leidinger, M. (2021, 17. Mai). *Die Vermessung der Emotionen*. Gunda-Werner-Institut, Heinrich-Böll-Stiftung. <http://www.gwi-boell.de/de/2021/05/17/die-vermessung-der-emotionen>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für Soziale Roboter (Korn et al., 2021, S. 63)	3
Abbildung 2: Sensorisch erfassbare physiologische Signale (Cai et al., 2023, S. 7)	5
Abbildung 3: Prozess der Gesichtsanalyse (Cai et al., S. 4)	6
Abbildung 4: Prozess der SER-Analyse (Cai et al., 2023, S. 6)	7