

BACHELORTHESIS  
Paul Richter

# Ein Embedded System basiertes Designobjekt als Quantified Self Companion

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK  
Department Informatik

Faculty of Computer Science and Engineering  
Department Computer Science

Paul Richter

# Ein Embedded System basiertes Designobjekt als Quantified Self Companion

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang *Bachelor of Science Technische Informatik*  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Kai von Luck  
Zweitgutachterin: Dr. Susanne Draheim

Eingereicht am: 31. Mai 2021

**Paul Richter**

**Thema der Arbeit**

Ein Embedded System basiertes Designobjekt als Quantified Self Companion

**Stichworte**

Quantified Self, Self-Tracking, Mensch Computer Interaktion, Embodied Interaction, Companion System, Eingebettete Systeme

**Kurzzusammenfassung**

Self-Tracking ist heutzutage kaum mehr vom Smartphone zu trennen: Mithilfe von Apps werden die Resultate des Self-Trackings informativ dargestellt, wobei jedoch die Verbindung zwischen Daten und Selbstwahrnehmung in den Hintergrund rückt. Wie kann die Interaktion zwischen Person und ihren Daten gestaltet werden, um diesem Verbindungsverlust vorzubeugen? Wie kann die Selbstwahrnehmung wieder Teil der Betrachtung werden? Diese Arbeit untersucht die Hintergründe von Self-Tracking und Human Computer Interaction und stellt dar, wie ein System aussehen könnte, das Self-Tracking-Daten und Selbstwahrnehmung zusammenführt.

**Paul Richter**

**Title of Thesis**

An Embedded System based design object as a Quantified Self Companion

**Keywords**

Quantified Self, Self-Tracking, Human Computer Interaction, Embodied Interaction, Companion System, Embedded Systems

**Abstract**

Self-tracking can hardly be separated from the smartphone these days: Through apps, the results of self-tracking are presented in an informative way, but the connection between data and sense of self is pushed into the background. How can the interaction between the person and their data be designed to prevent this disconnect? How can the sense

---

of self become part of the consideration again? This paper explores the background of self-tracking and human computer interaction in order to present a system that connects self-tracking data and sense of self.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Analyse</b>	<b>4</b>
2.1 Quantified Self . . . . .	4
2.1.1 Strukturieren des Lernprozesses . . . . .	5
2.1.2 Was kann getrackt werden? . . . . .	6
2.1.3 Motivationen . . . . .	9
2.1.4 Äußere Umstände . . . . .	10
2.1.5 Technologie . . . . .	11
2.1.6 Kritische Betrachtungen . . . . .	13
2.2 Human Computer Interaction . . . . .	16
2.2.1 Ubiquitous Computing . . . . .	17
2.2.2 Calm Technology . . . . .	19
2.2.3 Embodied Interaction . . . . .	20
2.2.4 Tangible User Interfaces . . . . .	21
2.3 Companion Technologie . . . . .	23
2.3.1 Artificial Companions . . . . .	23
2.3.2 Companion Systeme . . . . .	25
2.4 Spiegel . . . . .	26
2.4.1 Historischer Hintergrund . . . . .	27
2.4.2 Selbstwahrnehmung . . . . .	27
2.4.3 Selbstoptimierung . . . . .	29
2.4.4 Spiegelprojekte . . . . .	29

2.5	Ansprüche und Anforderungen . . . . .	31
2.5.1	Ansprüche an die Interaktion . . . . .	32
2.5.2	Anforderungen . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Design</b>	<b>35</b>
3.1	Komponenten . . . . .	35
3.2	Datenbeschaffung . . . . .	36
3.3	Datenverarbeitung . . . . .	37
3.4	Interaktionskomponenten . . . . .	38
3.4.1	Embodiment . . . . .	38
3.4.2	Gesichtserkennung . . . . .	39
3.4.3	Darstellungskomponente . . . . .	39
3.5	Internes Kommunikationsschema . . . . .	40
3.6	Loose Kopplung . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Realisierung des Systems</b>	<b>43</b>
4.1	Überblick der MQTT-Kommunikation . . . . .	44
4.2	Android-App . . . . .	45
4.3	Datenverarbeitung . . . . .	46
4.4	Gesichtserkennung: ESP-EYE . . . . .	47
4.5	Darstellungskomponente: Mikrocontroller . . . . .	48
4.6	Aktorik und Embodiment . . . . .	49
4.7	Ergebnisse der Umsetzung . . . . .	50
4.7.1	Funktionale Evaluation . . . . .	51
4.7.2	Erste Reaktionen . . . . .	52
4.7.3	Fazit der Evaluation . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>54</b>
5.1	Zusammenfassung . . . . .	54
5.2	Ausblick . . . . .	55
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>62</b>
A.1	Design des Spiegels . . . . .	62
A.2	Aufbau des physischen Objekts . . . . .	65
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>72</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	<i>Stage-Based Model of Personal Informatics Systems</i> von Li et al. (2010)	6
2.2	Wearables in unterschiedlichen Formen <sup>1</sup>	12
2.3	Entwicklung der Computersysteme seit 1970 <sup>2</sup>	18
2.4	Vergleich von Graphical und Tangible User Interface (Ishii, 2008)	22
2.5	Anzeigen der Pulsrate auf dem Magic Mirror	30
3.1	Übersicht der Systemkomponenten	36
3.2	Entity Relationship Diagram (ERD) der System-Datenbank	38
3.3	Sequenzdiagramm für Datenupdates	40
3.4	Sequenzdiagramm für die Interaktion mit dem System	41
4.1	Aufgabenverteilung der Komponenten	44
4.2	Übersicht der Kommunikation über die verschiedenen MQTT Topics	45
4.3	Übersicht über die eingesetzte Hardware	46
4.4	Front des komplett aufgebauten Spiegels	51
A.1	Erste Idee für den Aufbau der Spiegeloberfläche	62
A.2	Letztendlich umgesetzte Idee für den Aufbau der Spiegeloberfläche	63
A.3	3D-Modell (OpenSCAD) des Aufbaus im Inneren des Spiegelobjekts	64
A.4	Erster Aufbau von ESP32, ESP-EYE und PCA9685 auf Breadboard	65
A.5	Basisplatte mit Stelzen zur Befestigung der Spiegelemente	66
A.6	3D-Modell (OpenSCAD) der Zahnstangenhalterung (in Gelb) für den RS-2 Servomotor, RS-2 eingeblendet zur Orientierung	67
A.7	Servomotor mit Zahnstangenhalterung, befestigt auf der Basisplatte	68
A.8	Innenraum des Spiegels	69
A.9	Rückseite der Spiegeloberfläche mit daran befestigtem ESP-EYE	70
A.10	Interaktion: Alle Außenelemente maximal nach vorne geneigt	71

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Das Sammeln der eigenen persönlichen Daten ist kein Phänomen des 21. Jahrhunderts - schon in der Antike hielten Menschen Erlebnisse und Träume fest, das Tagebuchschreiben wurde in der Renaissance populär. Vor einigen Jahren entstand allerdings eine neue Form dieser Protokollierung: Die Digitalisierung der eigenen Person und das Sammeln quantifizierbarer Daten.

Möglich ist das digitale Datensammeln dank technischen Fortschritts: War es vor 20 Jahren noch unüblich, einen tragbaren Computer wie ein Notebook zu besitzen, so besitzen heutzutage die meisten Menschen ein Smartphone, das rund um die Uhr die Schritte zählen kann, wenn es in der Hosentasche getragen wird. Millionen Menschen verwenden ihre Smartphones, Smartwatches und spezialisierte Fitness-Tracker um Self-Tracking zu betreiben, also eigene Daten zu erfassen. Hersteller verarbeiten die Daten auf ihren Servern, die Resultate werden den Anwender\*innen in Smartphone-Apps präsentiert. Häufig geben diese Apps Rückmeldungen in Form von Smileys oder Farbskalen, wie gesund sich die Nutzer\*innen derzeit verhalten.

Die Ergebnisse und Rückmeldungen werden als Erweiterung der Selbstbetrachtung genutzt: Mit dem Ziel, die eigene Gesundheit und das Wohlbefinden zu verbessern, werden gegebenenfalls Ess- und Schlafverhalten und die tägliche Bewegung optimiert.

Während die Menge der erfassten Daten wächst, hat sich die Art der Visualisierung dieser Daten nicht grundlegend verändert. Die klassische Form der Human Computer Interaction, also der Interaktion zwischen Mensch und Computer, ist die Verwendung eines Bildschirms als Ausgabemedium. Die Eingabe geschieht über eine Tastatur - oder ein Touchscreen vereint Ein- und Ausgabemedium im Bildschirm. Nach wie vor wird überwiegend die *WIMP-Metapher* (“Windows”, “Icons”, “Menüs” und “Pointer”) verwendet.

Was in beiden Fällen schwer bleibt, ist die Verbindung herzustellen zwischen digitalen Daten in Form von Graphen, Tabellen oder Scores und dem analogen Selbst. Da es schwierig ist, Selbstwahrnehmung und Daten zu vereinen, stellt sich die Frage, ob beim Prozess der Selbstoptimierung noch in erster Linie das Wohlbefinden oder viel mehr die Self-Tracking-Daten optimiert werden.

Es gibt jedoch auch neue Ansätze an Human Computer Interaction. Eine Möglichkeit ist, im Sinne der *Calm Technology* nach Weiser and Brown (1997) Computer unauffälliger in den Alltag zu integrieren, sodass die Interaktion weniger Aufmerksamkeit erfordert. Solche User Interfaces instrumentalisieren verschiedene Objekte zur Repräsentation digitaler Daten, um den Aufmerksamkeitsbedarf und die Transferleistung auf Anwender\*innen-Seite zu erleichtern. Ein Alltagsobjekt wie ein Spiegel könnte so die Betrachtung des eigenen Körpers mit der Betrachtung der Self-Tracking-Daten vereinen.

Damit Selbstoptimierung nicht zum sturen Optimieren der eigenen Daten wird, muss nichtsdestotrotz die Selbstwahrnehmung trainiert werden. Dafür braucht es eine Form der Darstellung für Self-Tracking-Daten, die zum einen eine emotionale Verbindung zwischen der eigenen Person und den Daten herstellt. Zum anderen soll eine Art Selbst-reflexion angeregt werden, die die Selbstwahrnehmung stärkt und vermeidet, dass die Selbstoptimierung auf Kosten des eigenen Wohlbefindens geht.

## 1.2 Zielsetzung und Abgrenzung

Im Rahmen dieser Arbeit soll deshalb eine Architektur für ein verteiltes System entworfen werden, das Anwender\*innen ihre Self-Tracking-Daten präsentiert. Aufgaben des Systems sind die Erfassung und Auswertung der Daten und die Datenverbindung zu einem Präsentationsobjekt.

Die Architektur soll an den Self-Tracking-Kontext angepasst sein und für Menschen interessant sein, die selbst Self-Tracking betreiben. Außerdem sollen Erkenntnisse aus dem Bereich der Human Computer Interaction bei der Konzeptionierung des Systems berücksichtigt werden.

Zur funktionalen Evaluation des Systems wird eine prototypische Implementierung der Architektur umgesetzt. Als Präsentationsobjekt soll ein Spiegelobjekt entworfen werden, das durch Veränderung seiner Form die Datenlage der Tracking-Daten ausdrückt.

**Abgrenzung** Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Erarbeitung von Systemkomponenten und der Interkomponentenkommunikation. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit der prototypischen Umsetzung des Systems erhoben. Insbesondere die Verarbeitung der Daten anhand aufwändiger Data Mining Methoden wird vernachlässigt.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden wissenschaftliche Gebiete untersucht, die für die Entwicklung eines Systems zur Darstellung von Self-Tracking-Daten relevant sind. Dafür wird zunächst in 2.1 ein Überblick zum Thema Quantified Self gegeben. Des Weiteren werden in 2.2 Ansätze an Human Computer Interaction und daran anschließend in 2.3 das Gebiet der Companion Technologie erläutert. Zuletzt wird in 2.4 die Bedeutung des Alltagsgegenstands Spiegel als Instrument zur Selbstreflexion untersucht. Als Schlussfolgerung dieser Analyse werden in 2.5 Ansprüche und Anforderungen an das System definiert.

Kapitel 3 behandelt das Design des verteilten Systems. Dafür werden zunächst die Systemkomponenten beschrieben, danach die systeminterne Kommunikation.

Die Umsetzung eines Systemprototyps wird in Kapitel 4 beschrieben. Auf Basis dieses Prototyps wird schließlich evaluiert, inwieweit das Design dazu geeignet ist, die Anforderungen aus 2.5 zu erfüllen.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse und ein Ausblick, inwiefern das System zur weiteren Forschung eingesetzt und wie es weiterentwickelt werden kann, wird in Kapitel 5 beschrieben.

## 2 Analyse

### 2.1 Quantified Self

Quantified Self (quantifiziertes Selbst) bezeichnet die Ausmessung und Auswertung persönlicher Daten. Die Gesamtheit dieser *quantifizierten* Daten, die bei allen möglichen, auch alltäglichen Aktivitäten anfällt, und deren Auswertung machen das Quantified Self aus. Neben *Quantified Self* werden auch die Namen *Personal Analytics* und *Personal Informatics* verwendet, um eine Art von Systemen oder Praktiken zu bezeichnen, die beim Sammeln und der Reflexion von persönlichen Informationen unterstützen. (Choe et al., 2014). Der *Quantified Self*-Begriff wurde im Jahr 2007 von den *Wired*-Redakteuren Gary Wolf und Kevin Kelly eingeführt (s. Lupton, 2016, Kap. 1).

Wolf und Kelly bemerkten das Aufkommen neuer Verfahren zur Protokollierung des Lebens, zur Standortverfolgung und zur Erfassung biometrischer Daten (Wolf, 2011). Wolf benennt die Verbindung zwischen diesen Praktiken als *Erweiterung gewöhnlicher Existenz um eine rechnerische Dimension*.

Als Plattform zum Austausch über neue Entwicklungen und Erfahrungen mit diesen neuen Self-Tracking-Systemen gründeten sie die Webseite “Quantified Self” und eine Gruppe auf dem Online-Gruppen-Dienst *Meetup*. Die Gruppe ist seitdem Teil einer weltweiten Subkultur des Self-Trackings. 2020 gibt es auf [meetup.com](https://www.meetup.com) 198 Meetup-Gruppen in 34 Ländern mit insgesamt über 95.000 Mitgliedern (Meetup, 2020).

Im 2009 erschienenen Artikel “Know Thyself: Tracking Every Facet of Life, from Sleep to Mood to Pain, 24/7/365” auf *Wired* geht Wolf erstmals auf das Quantified Self Konzept “Self-knowledge through numbers” ein (Wolf, 2009). Angelehnt an die lateinische Philosophie, in der Selbsterkenntnis Resultat von Selbstprüfung und Reflexion war, sei Self-Tracking der neue Weg zur Selbsterkenntnis.

Der *Quantified Self*-Begriff ist dementsprechend eng verbunden mit dem Begriff *Self-Tracking*. Mit Self-Tracking wird das Erfassen der eigenen personenbezogenen Daten

bezeichnet. Zu den erfassbaren Daten zählen unter anderem Größen wie Gewicht, Ernährung, sportliche Aktivität und Schlafqualität, medizinische Werte wie Blutdruck und Puls, aber auch Banküberweisungen, Listen gelesener Bücher und Tagebucheinträge. Die Datenaufnahme wird in *explizit* und *implizit* unterteilt. Bei expliziter Aufnahme werden Daten händisch in eine Datenbank eingefügt, zum Beispiel Fotos oder Briefe. Implizite Aufnahme funktioniert hingegen automatisiert, indem ein Messgerät wie das Smartphone zu jeder Zeit Daten wie die Schrittzahl misst.

Self-Tracking und damit auch Quantified Self kann sehr unterschiedlich betrieben werden: Verschiedene Werte können getrackt werden, dabei können sowohl digitale Technologie als auch nicht-digitale Techniken zur Anwendung kommen und auch die Motivation und Umstände sind unterschiedlich.

### 2.1.1 Strukturieren des Lernprozesses

Im weitesten Sinne ist das Ziel von Quantified Self der Gewinn von Erkenntnissen aus den eigenen Daten. Aus diesen Erkenntnissen wird die Lebensweise angepasst, um wiederum neue Erkenntnisse zu gewinnen. Quantified Self ist somit ein iterativer Lern- und Optimierungsprozess. Hierfür wurden unterschiedliche stufenbasierte Modelle entwickelt.

Li et al. (2010) entwickelten eine Strategie zum Erkenntnisgewinn und der Integration dieser Erkenntnisse in den Alltag. Hierfür analysierten sie anhand einer Umfrage die Praktiken und Probleme von Self-Tracking. Das Modell ist in 5 Phasen unterteilt. Die erste Phase, die **Preparation Stage**, beinhaltet die Auseinandersetzung mit der Motivation der Anwendung und die Planung, welche Daten erfasst werden und wie diese erfasst werden. In der darauf folgenden **Collection Stage** findet das eigentliche Self-Tracking statt. Die **Integration Stage** ist die Phase, in der die Daten aufbereitet werden, damit sie in der **Reflection Stage** ausgewertet werden können. In der Reflection Stage werden die eigentlichen Erkenntnisse herausgearbeitet. Zuletzt wird gewonnenes Wissen in der **Action Stage** umgesetzt, indem beispielsweise ein Laster abtrainiert oder eine neue Angewohnheit eingeführt wird. Abbildung 2.1 stellt dieses iterative Verfahren dar. Das Modell soll dabei helfen, strukturiert an das Vorhaben des Erkenntnisgewinns heranzugehen. So sollen häufig auftretende Fehler vermieden werden, da vor allem Probleme in einer frühen Phase sich auf die späteren Phasen auswirken. Dies bezeichnen Li et al. als "Barriers Cascade".

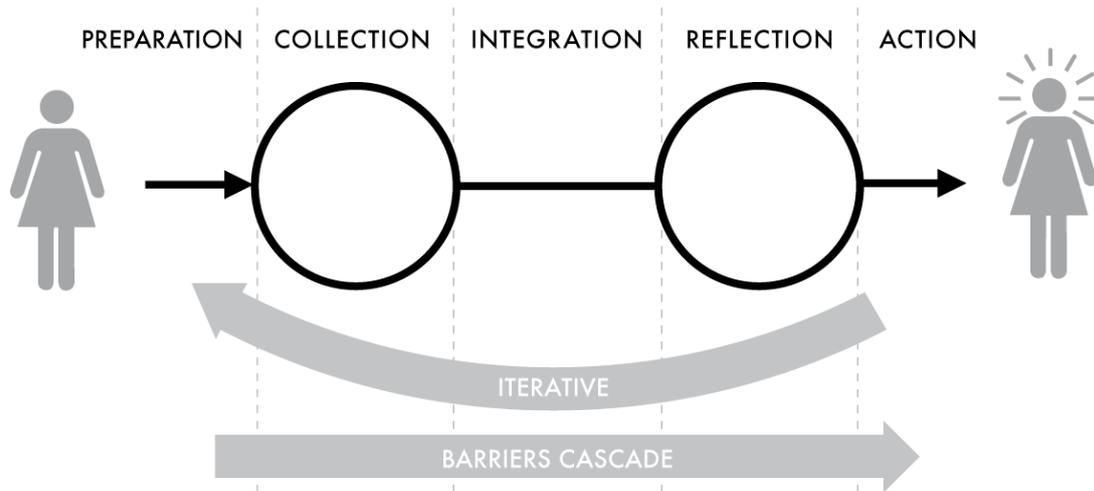


Abbildung 2.1: *Stage-Based Model of Personal Informatics Systems* von Li et al. (2010)

Einen neuen, allgemeineren Ansatz entwickelten Wolf and De Groot (2020). Ihr Modell ist eine Herangehensweise an die Erforschung persönlicher Problemstellungen, was Wolf und De Groot als “Personal Science” bezeichnen. Zuerst definiert die Person die Fragestellung (“Questioning”). Danach werden die Methoden zur Untersuchung des Problems festgelegt oder entworfen (“Designing”). Anhand dieser Methoden werden die Beobachtungen angestellt, es wird also Self-Tracking betrieben (“Observing”). Wenn eine ausreichende Datenmenge gesammelt wurde, werden anhand von Visualisierungs- und Analysemethoden Rückschlüsse aus den Daten gezogen (“Reasoning”). Im letzten Schritt konsolidiert der\*die Anwender\*in die gewonnenen Erkenntnisse, indem der Alltag aktiv auf der Grundlage des neuen Wissens verbessert wird, und teilt sie mit anderen Menschen in Foren und öffentlichen Diskussionen (“Discovering”). Auch dieses Modell kann iterativ angewendet werden, da der Discovering-Schritt wiederum neue Fragen aufwerfen kann.

### 2.1.2 Was kann getrackt werden?

Self-Tracking Projekte erstrecken sich über alle Lebensbereiche, weshalb die trackbaren Werte häufig in Kategorien eingeteilt werden. Emmert (2013) definiert auf Grundlage des “Guide to Self-Tracking Tools” der Quantified-Self Webseite die Kategorien *Medizin*, *Gesundheit*, *Ernährung*, *Freizeitverhalten*, *Produktivität*, *Persönliches* und *Umwelt*.

**Medizinisch** orientierte Anwendungen zielen zumeist auf Symptome von schweren oder chronischen Krankheiten. Dabei werden Häufigkeit und Intensität der Symptome sowie Einnahme von Medikamenten und äußere Einflüsse aufgezeichnet.

Das Tracken der eigenen **Gesundheit** beinhaltet in vielen Fällen alltägliche körperliche Aktivitäten, die in Verbindung mit Fitness stehen. Dazu zählt das Messen der Schrittzahl, die mit dem Fahrrad zurückgelegte Distanz oder die Länge des Workouts. Zusätzlich können Werte wie Puls oder Kalorienverbrauch, Gewicht und Körperfettanteil gemessen bzw. berechnet werden. Auch Länge und Qualität des Schlafs sind Werte, die zur allgemeinen Gesundheit zählen.

Die Kategorie **Ernährung** beinhaltet alle Daten, die Mahlzeiten und Getränken quantifizieren. Je nach Anwendungsziel wird die Menge des Essens und Getränks in Kalorien bzw. Liter, die tägliche Anzahl der Mahlzeiten oder auch der zeitliche Abstand zwischen Mahlzeiten gemessen.

Zu **Freizeitverhalten** zählen freizeitleiche Aktivitäten, die nicht mit Fitness in Verbindung stehen, wie das Shoppingverhalten oder Ausflüge mit Freund\*innen. Auch der private Medienkonsum ist Teil dieser Kategorie, wie zum Beispiel die Zeit der Internetnutzung oder das Lesen von Büchern.

Der Medienkonsum kann auch Teil der Kategorie **Produktivität** sein, wenn er als Ablenkungsquelle oder "Zeitfresser" wahrgenommen wird. Zusätzliche Werte für Produktivität sind Arbeitszeit, Anzahl der bearbeiteten E-Mails oder andere Maßstäbe für Produktivität.

Die Kategorie **Persönliches** - häufig auch als Well-Being bezeichnet - umfasst Gefühle, Gemütszustände und Stress. Diese Größen werden häufig mittels einer Skala quantifiziert oder in vordefinierte Kategorien eingeordnet. Qualität von Beziehungen und intime Daten wie Häufigkeit des Sexualverkehrs oder Toilettengänge können ebenso in die Kategorie Persönliches fallen.

In die Kategorie **Umwelt** fallen zum einen nicht-körperliche Werte wie der Benzin- und Energieverbrauch, die von der trackenden Person abhängen. Zum anderen können extrinsische Bedingungen wie das Wetter, Pollenbelastung, die CO<sub>2</sub>-Belastung im Büro getrackt werden. Wenn diese in Verbindung mit anderen Kategorien gebracht werden, sind sie ebenso Teil des Self-Trackings.

Aus einer Online-Befragung von 2019 mit 1.193 befragten Personen geht hervor, dass die meisten Menschen Daten aus dem Fitness-Bereich tracken, also in der Kategorie Gesundheit (SplendidResearchGmbH, 2019). Über 20% der Teilnehmer\*innen nutzten Fitness-Tracking-Apps. Auch unter Self-Tracker\*innen ist es am weitesten verbreitet, in

der Kategorie Gesundheit zu tracken: Choe et al. (2014) führten eine Analyse von Anwendungen der “Quantified-Selfers” durch, indem sie 52 Videos auf der Quantified Self Webseite auswerteten, in denen die Mitglieder eigene Self-Tracking Projekte vorstellten. 67% der Videos beinhalteten das Tracken eines oder mehrerer gesundheitsbezogener Werte; dabei zielten 40% der Projekte auf “activity”, 29% auf das Körpergewicht und 25% auf das Schlafverhalten. Die nächstbeliebteste Kategorie war Ernährung: In knapp einem Drittel der Videos wurde “food” getrackt. Außerdem wurde in vielen Videos die Produktivität anhand der Terminverteilung im Kalender und anderer Methoden getrackt.

### **Holistic Lifelogging**

Eine spezielle Art des Self-Tracking ist das Holistic Lifelogging. Der Ansatz ist, Daten aus möglichst vielen unterschiedlichen Lebensbereichen zu sammeln. Diese Daten werden sowohl implizit als auch explizit gesammelt.

Lupton zählt Projekte von Künstler\*innen und Designer\*innen auf, die über Jahre hinweg Fotos und Videos von täglichen Aktivitäten, Bücher und Briefe, Träume, Lieder und weitere Dinge archivierten (s. Lupton, 2016, S.11). Sie beschreibt beispielsweise, wie der japanische Konzeptkünstler On Kawara mehrere Jahrzehnte festhielt, an welchen Orten er war, wann er aufgewacht war und welche Bücher er gelesen hatte. Im Rahmen seines Projektes “I Met” notierte er außerdem jeden Tag von 1968 bis 1979 die Namen aller Menschen, die er traf (Guggenheim, 2015).

Die Verbindung von Holistic Lifelogging und Quantified Self gestaltet sich häufig kompliziert. Explizites Datensammeln bringt Probleme bei automatischer Datenaufbereitung mit sich, implizit gesammelte Daten müssen gegebenenfalls hinsichtlich ihrer Nützlichkeit bewertet werden (Kamenz, 2014).

Umfassendes Self-Tracking bietet jedoch auch Chancen. Zum einen als Erinnerungshilfe, darüber hinaus lässt sich Well-Being mithilfe von vielen Datensätzen besser quantifizieren und optimieren, wie Schraefel (2014) beschreibt. Mithilfe ihres Modells *Inbodied5* soll auf unterschiedlichen Ebenen getrackt werden, um eine ganzheitliche Sicht auf Well-Being zu erhalten. So soll auf Ziele wie Gewichtsverlust effektiver hingearbeitet werden können.

### 2.1.3 Motivationen

Die übergeordnete Motivation des Quantified Self ist die Selbstoptimierung. Dazu gehört insbesondere das Steigern des Bewusstseins für die eigenen Gewohnheiten und das Optimieren dieser (Berg, 2019).

Choe et al. (2014) identifizierten in ihrer Studie drei Hauptmotivationen für privates Self-Tracking. Die ersten zwei Motivationen stehen im Zeichen der Selbstoptimierung: Die häufigste Motivation ist die Verbesserung der Gesundheit, die zweithäufigste Motivation ist, andere Eigenschaften wie Produktivität oder Achtsamkeit zu verbessern. Die dritte Motivation ist das Interesse am Self-Tracking selbst und das Sammeln neuer Erfahrungen.

Gimpel et al. (2013) befragten 2013 150 self-trackende Personen zu ihren Self-Tracking-Gewohnheiten. Sie analysierten vor allem Zusammenhänge von Motivation und Art der getrackten Daten. Dafür wurde ein Fünf-Faktoren-Framework entwickelt, das sich aus den Motivationen "Self-entertainment", "Self-association", "Self-design", "Self-discipline" und "Self-healing" zusammensetzt: Der Spaß am Self-Tracking selbst wurde als Self-entertainment bezeichnet, Self-association meinte das Verlangen, durch Self-Tracking einer Gruppe zugehörig zu sein; Self-design bedeutete Selbstoptimierung, Self-discipline das Steigern der Selbstkontrolle zum Erreichen eines Ziels oder einer Belohnung. Unter Self-healing verstand man Gesundheitsverbesserung.

Die trackbaren Parameter wurden eingeteilt in die Kategorien *Physische Aktivitäten, Körper, Well-Being, Ernährung, Medizin, Suchtverhalten, Umwelt, Beziehungen* und *Anderere*.

Die Studie ergab, dass Personen, die Self-Tracking für Self-entertainment betreiben, vorwiegend ihre Umwelt trackten. Die Motivation Self-association betraf vor allem das Tracken des Suchtverhaltens, wobei Gimpel et al. eine Kausalität hier für unwahrscheinlich hielten. Für Self-design und Self-healing trackten die Befragten in den Bereichen Well-Being, Ernährung und Medizin. Hierbei trackten besonders viele derer, die Self-healing als Motivation angaben, ihre Ernährung. Self-discipline betraf die vier Bereiche Physische Aktivitäten, Körper, Ernährung und Medizin.

### 2.1.4 Äußere Umstände

Übergeordnet zu intrinsischen Motivationen können die Umstände von Self-Tracking verschiedenen Bereichen zugeordnet werden. Lupton definiert hierfür die 5 Kategorien *privat* (private), *gemeinschaftlich* (communal), *gedrängt* (pushed), *aufgezwungen* (imposed) und *ausgenutzt* (exploited) (Lupton, 2014).

**Privates Self-Tracking (“private self-tracking”):** Self-Tracking zum Ziel der Selbsterkenntnis und der Selbstoptimierung im eigenen Interesse bezeichnet Lupton als privates Self-Tracking. Die Daten werden privat gehalten oder nur mit wenigen ausgewählten Personen geteilt.

Die Erfassung der Daten ist beim privaten Self-Tracking freiwillig. Meist ist sie Teil einer spielerischen Begeisterung daran, eigene Gewohnheiten herauszufinden und gegebenenfalls zu verbessern. Eine Annahme des privaten Self-Tracking ist, dass die Daten einer Person und die Erkenntnisse daraus individuell sind. Eine Folgerung dessen ist, dass die Daten für andere Personen uninteressant sind, weil die Erkenntnisse nur schwer übertragbar sind.

**Gemeinschaftliches Self-Tracking (“communal self-tracking”):** Entgegen der Individualität der eigenen Daten steht das Phänomen, die eigenen Erfahrungen mit anderen zu teilen. Diese Ausprägung von Self-Tracking nennt Lupton gemeinschaftliches Self-Tracking. Self-Tracker\*innen vernetzen sich untereinander über Social Media und spezialisierteren Plattformen und tauschen sich über ihre Erlebnisse aus.

Zu solchen Plattformen zählt die Quantified Self Webseite, auf der neue Möglichkeiten des Self-Trackings diskutiert werden, aber auch das soziale Netzwerk und Sport-Tracking-Dienst *Strava*, auf dem Nutzer\*innen ihre Aktivitäten mit anderen teilen.

**Gedrängtes Self-Tracking (“pushed self-tracking”):** Das gedrängte Self-Tracking grenzt sich vom privaten Self-Tracking darin ab, dass anstelle des rein persönlichen Interesses ein externer Anreiz Grund für das Self-Tracking ist. Die Entscheidung zum Self-Tracking ist hierbei freiwillig. Zu gedrängtem Self-Tracking zählen sogenannte *Corporate Wellness Programs*, in denen Unternehmen ihren Mitarbeiter\*innen Self-Tracking-Geräte anbieten (Hamblen, 2018).

**Aufgezwungenes Self-Tracking (“imposed self-tracking”):** Als aufgezwungenes Self-Tracking bezeichnet Lupton, wenn Personen die Nutzung von Self-Tracking Geräten von anderen vorgeschrieben wird. Diese anderen haben meist ein eigenes Interesse daran, dass eine Person Self-Tracking betreibt. Ein Beispiel dafür sind Unternehmen, die Mitarbeiter\*innen die Verwendung von Wearables vorschreiben, um die Arbeitseffizienz zu steigern.

**Ausgenutztes Self-Tracking (“exploited self-tracking”):** Zuletzt führt Lupton das ausgenutzte Self-Tracking an. Sind die gesammelten Daten vieler Personen zugänglich für Unternehmen, können diese daraus wirtschaftlichen Nutzen erzeugen. Zum einen können Unternehmen generelle Aussagen über Personengruppen treffen, die für die Marktforschung interessant sind. Zum anderen lassen sich auch Profile einzelner Konsument\*innen erstellen, die für personalisierte Werbung, Marktforschung und in anderen Bereichen wertvoll sind.

**Überschneidungen:** Die Kategorien sind nicht gegenseitig ausschließend: Lupton führt beispielsweise Überschneidungen zwischen privaten und gemeinschaftlichen Interessen und auch ausgenutzten Interessen an, konkret im Fall von Plattformen, auf denen Patient\*innen ihre Erfahrungen untereinander teilen können.

Ein Beispiel für die Überschneidung von gedrängtem und ausgenutztem Self-Tracking ist das Anbieten von Self-Tracking Geräten an Mitarbeiter\*innen, denen im Gegenzug günstigere (unternehmensinterne) Krankenversicherungen angeboten werden, wie im Fall von BP (Olson and Tilley, 2014). BP hatte in diesem Fall das Ziel, die Ausgaben für Gesundheitsversorgung zu reduzieren, indem den Mitarbeiter\*innen anhand von Self-Tracking zu einem gesünderen Alltag verholfen werden sollte.

### 2.1.5 Technologie

Wie Wolf (2009) ausführt, ist die explizite Datenerfassung, insbesondere bei regelmäßiger Anwendung, mit hohem Aufwand verbunden. Die Möglichkeit, die Datenerfassung zu automatisieren, sei daher ein Grund für die wachsende Beliebtheit von Self-Tracking. Lupton (2014) zählt hier internetfähige Geräte, mit Sensorik ausgestattete Geräte und Umgebungen und Cloud-Computing Technologien zu den wichtigsten Faktoren.

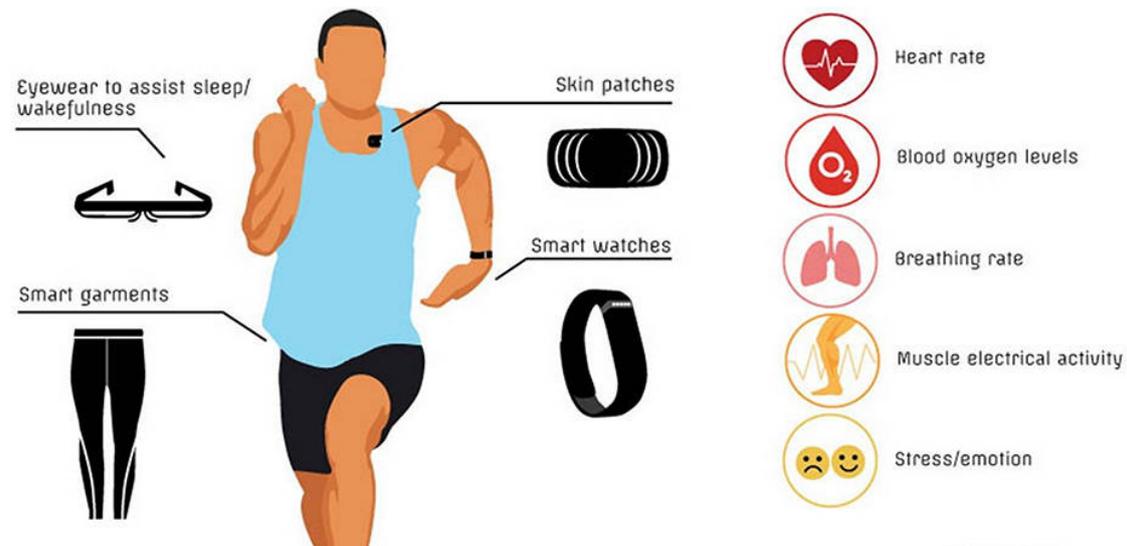


Abbildung 2.2: Wearables in unterschiedlichen Formen <sup>1</sup>

Das wahrscheinlich am häufigsten für Self-Tracking verwendete Hilfsmittel ist das mit viel Sensorik ausgestattete Smartphone. In vielen aktuellen Smartphones sind Funktionen wie Schrittzähler, Pulsmesser und andere Sensoren wie GPS integriert, die sich für Self-Tracking eignen. Fitness- und Gesundheitsapps wie Apple Health bieten hierfür eine Oberfläche zur Einrichtung automatischer Datenerfassung, zum Einstellen von Erinnerungen und zur Darstellung von Daten.

Anwender\*innen, die ein Wearable wie eine Smartwatch oder einen Fitnesstracker besitzen, können diese zusätzlich mit bestimmten Smartphone-Apps verbinden. Ergänzend zu den Sensoren im Smartphone werden häufig auch Wearables zum Tracken physischer Daten verwendet. Wearables sind tragbare oder in Kleidungsstücke integrierte elektronische Geräte. Abbildung 2.2 zeigt unterschiedliche Formen vom Hautpflaster über Kleidung bis zum smarten Armband. Je nach Anwendungszweck können verschiedene Formen von Vorteil sein.

Die meisten Wearables sind dafür vorgesehen, mit einer zugehörigen App auf dem Smartphone der Anwender\*innen verbunden zu werden. Je nach Art des Wearables wird die Funktionalität so erweitert oder überhaupt ermöglicht. Wearables wie Smartwatches sind jedoch nicht nur zum Messen von Körperdaten nützlich, sondern erweitern in Verbindung mit einem Smartphone auch dessen Bedienoberfläche.

<sup>1</sup><https://spie.org/news/spie-professional-magazine-archive/2019-january/wearables-move-beyond-the-consumer>

Motti (2019) zählt zu den Stärken von Wearables, dass sie häufig unauffällig aussehen und sich auch in der Anwendung von ihren *gewöhnlichen* Pendants nur geringfügig unterscheiden, gleichzeitig aber dauerhaft Sensordaten messen und die tragende Person unterstützen können. Des Weiteren können Wearables konsistenter Daten erfassen als andere Sensorik, da sie nicht nur zu bestimmten Zeiten, sondern auch im Alltag getragen werden können. Wearables können zusätzlich autonom bestimmte Zustände der Tragenden Person erkennen.

Dabei kommt der technische Fortschritt der Entwicklung von Wearables derzeit merkbar zugute: Amazons smartes Armband “Amazon Halo” hat bereits genügend Rechenleistung, um mithilfe von künstlicher Intelligenz die Stimme beim Sprechen zu analysieren und dem\*der Tragenden Rückmeldung zu geben, wie die Tonlage von anderen wahrgenommen wird (Amazon, 2020). Auch die Energieeffizienz von Wearables nimmt zu; Armbänder wie das “Mi Band 5” von Xiaomi erreichen Batterie-Laufzeiten von mehr als 14 Tagen pro Aufladung (Xiaomi, 2020). Diese Weiterentwicklungen machten einen Wearable-Kauf in den letzten Jahren immer attraktiver. Laut Klöß (2020) lag der Absatz von Wearables in Deutschland 2016 noch bei 3,25 Millionen Geräten, 2019 betrug er 5,26 Millionen Geräte. Für 2022 prognostiziert er einen Absatz von 6,47 Millionen Wearables.

Neben mobiler Sensorik gibt es auch stationäre Sensoren, die in der Wohnung oder in Büroräumen installiert werden. Anhand von Systemen wie vernetzten Heizungen oder CO<sub>2</sub>-Sensoren kann so die Temperatur und Qualität der Luft oder auch andere Umgebungsfaktoren gemessen und gespeichert werden. Wie Lupton (2014) beschreibt, gibt es außerdem stationäre Sensorik, die Körperdaten erfasst. Smarte Matratzen können die Schlafqualität von Schlafenden messen; auch die mittlerweile verbreitete Sensorik in Autos, die die Konzentration der Person am Steuer kontrolliert, kann als stationär gezählt werden. Da mit Sensorik ausgestattete Umgebungen jedoch selten mit Self-Tracking in Zusammenhang gebracht werden, ist das Beziehen der Daten und Automatisieren der Datenauswertung meist mit großem Aufwand verbunden.

### 2.1.6 Kritische Betrachtungen

**Trägerische Genauigkeit** Ein technisches Problem entspringt schon bei der Messung der Daten. Spiel et al. (2018) führen an, dass Fitness-Tracker ein systemisches Bias transportieren, da bestimmte Bewegungen als intensiver gelten als andere. Das Schieben eines Kinderwagens zählt beispielsweise geringer als das Wiegen eines Babys. Unterschiedliche

Personen passen demnach unterschiedlich gut zu den zugrunde liegenden Modellen, so dass die einen bei gleicher körperlicher Aktivität bessere Tracking-Ergebnisse erzielen als andere.

Die Schlussfolgerung aus dieser Beobachtung ist zumeist das *Kalibrierungsproblem* (“calibration issue”). Endbenutzer\*innen wird also geraten, ihre Geräte besser zu kalibrieren. Spiel et al. merken jedoch an, dass die Grundkonzeptualisierung des Schrittes unzureichend ist: Zum einen werden Annahmen über den Körperbau und die Bewegungsabläufe der tragenden Person getroffen, die von der Wirklichkeit oft abweichen. Zum anderen werden die meisten Schrittzähler am Handgelenk getragen. Diese Einschränkung der Messmethode führt zwangsweise zu Kompromissen bei der Erkennung eines Schrittes, wie das Beispiel des Kinderwagens zeigt. Spiel et al. nennen weitere Unzulänglichkeiten in der Konzeptualisierung von Körperdaten, beispielsweise die Diskriminierung von Menschen mit dunkleren Hauttönen, bei denen die Pulsmessung fehlschlägt, weil die Infrarot-Sensoren für weiße Menschen kalibriert sind.

Spiel et al. kritisieren, dass ohne Transparenz über systemischen Bias und Messungenauigkeit immer wieder konkrete und detaillierte Zahlen präsentiert werden. Nach Berg (2019) können falsche Daten oder die falsche Interpretation der Daten zu falschen Schlussfolgerungen der Benutzer\*innen über ihre Gesundheit, zu Frustration oder auch zu Ablehnung des Tracking-Geräts führen.

**Healthism** Die Priorisierung der Gesundheit über andere Aspekte des Lebens und der eigenen Identität wird als “Healthism” bezeichnet. Quantified Self zielt zwar auch auf nicht-gesundheitliche Lebensbereiche, Lupton (2013) merkt jedoch an, dass der Gedanke, die Gesundheit ließe sich durch Self-Tracking erhöhen, ein dominantes Argument in Diskussionen der Quantified Self Community ist.

Zusammen mit der Überzeugung, das Schicksal könne durch die *richtigen* persönlichen Handlungen kontrolliert werden, hat Healthism den Effekt, dass alltägliche Aktivitäten und Gedanken dauerhaft auf das Ziel der Gesundheit ausgerichtet werden. In diesem Kontext bietet Self-Tracking Anwender\*innen eine Strategie, die ihnen das Gefühl gibt, die Übersicht und Kontrolle über ihre Gesundheit zu behalten. Fitnesstracker sind allerdings keine Assistenz auf dem Weg zum gesünderen Leben, viel mehr definieren sie die Vorstellungen vom gesunden Leben neu, indem sie intransparente Ziele als allgemeingültige Gesundheit darstellen (Spiel et al., 2018).

Lupton (2013) berichtet von Menschen, die durch Self-Tracking einen übermäßigen Fokus

auf ihre Gesundheit entwickelten, woraus Versagensgefühle, Angstzustände und Selbsthass entstanden.

**Nudging (Drängen)** Lupton (2013) beschreibt, dass Self-Tracking Technologien häufig das Potential der Selbstermächtigung über die eigene Gesundheit zugeschrieben wird. Das führt zu einer Verschiebung der Verantwortung für die allgemeine Gesundheit: Die Verantwortung liegt jetzt weniger beim Gesundheitssystem und mehr beim Individuum. Es entsteht das Bild der mündigen Bürger\*innen, die eigenverantwortlich nach einer gesunden Lebensweise streben. Eine solche implizite Nötigung, aber auch explizite Anreize (siehe 2.1.4) sind häufig ein Beweggrund für Menschen, Self-Tracking zu betreiben.

**Normative Grundannahmen** Spiel et al. (2018) weisen auf die normativen Ontologien von Self-Tracking und Selbstoptimierung hin. Fitnesstracker bauen auf unterschiedlichen Grundannahmen über Körper und Lebensweise auf, die kritisch hinterfragt werden sollten:

1. Jeder Körper erfordert Verbesserung.
2. Körperliche Gesundheit unterliegt der Kontrolle der einzelnen Person.
3. Schritte, die der Fitnesstracker misst, repräsentieren die Fitness.
4. Mehr Schritte sind immer besser.
5. Ein gestresster Schritt zählt gleich viel wie gelassener Schritt.
6. Abweichungen von den Bedingungen des Trackers sind Probleme der Einzelperson.

Diese Annahmen scheinen im ersten Moment harmlos, sind in ihrer Gesamtheit aber diskriminierend, da sie verschiedene marginalisierte Gruppen vernachlässigen. Wie Spiel et al. ausführen, schließen die beschriebenen Normen die Menschen aus, die bereits gesellschaftlich unprivilegiert sind, nämlich People of Color, nicht schlanke, Menschen mit Behinderung, Neurodiverse, Religiöse, chronisch Kranke etc. Eine solche Benachteiligung entspricht nicht der Theorie eines fairen Systems nach Rawls (Berg, 2019, Kap. 6.7). Berg führt aus, dass demnach ein faires System gesellschaftliche Privilegien ausgleicht, indem es an erster Stelle den Bedürfnissen der Benachteiligten nachkommt. Benutzer\*innen von Quantified-Self-Geräten können nur innerhalb der Möglichkeiten handeln, die ihnen diese Geräte bieten. Durch die Nichtbeachtung der Bedürfnisse unprivilegierter Menschen und

normative Grundannahmen von Self-Tracking-Systemen sind viele Menschen nicht Teil der Zielgruppe von Quantified Self Anwendungen.

**Metriken ersetzen Gefühle** Die gemessene und berechnete Fitness ist nur ein Aspekt von Lebensqualität. Tracking von überwiegend Fitness-bezogenen Werten, wie es häufig praktiziert wird, bietet also nur eine eingeschränkte Sicht auf das Wohlbefinden. Anwendungen wie Fitness-Apps suggerieren Anwender\*innen dennoch, dass sie ein zuverlässiges und objektives Abbild von Well-Being präsentieren (Spiel et al., 2018).

Die visualisierten Körperdaten, die mit denen der vergangenen Tage oder denen anderer Leute verglichen werden können, haben eine Neukonzeptualisierung von Körper und Gesundheit zur Folge (Lupton, 2013). Die verlockende Wirkung dieser Zahlen ist ein wichtiger Teil in der Vermarktung von Self-Tracking Geräten. Lupton zufolge ermutigen Self-Tracking-Technologien dazu, den Körper und das Selbst durch Zahlen zu betrachten. Die Implikation ist, dass Self-Tracking der bestmögliche Weg zur Selbsterkenntnis ist, weshalb die Erzeugung quantifizierter Daten ein erstrebenswertes Ziel ist: Je mehr wir über uns und unseren Körper wissen, desto produktiver, wohlhabender, weiser, gesünder und emotional stabiler können wir sein.

Das Attraktive an Self-Tracking-Daten ist, dass sie wissenschaftlich neutral erscheinen (Lupton, 2016). Wissenschaftlich erscheinende Visualisierungstechniken erwecken Vertrauen; den scheinbar objektiven Zahlen zu vertrauen ist leichter und verspricht mehr Erkenntnis als in sich "Hineinzufühlen".

## 2.2 Human Computer Interaction

Wie Vogt (2011) ausführt, wurde die Interaktion zwischen Mensch und Computer schon 1965 als zentrale Frage bei der Entwicklung von Systemarchitekturen deklariert.

Die vorherrschende Form der Computerbedienung ist seit mehreren Jahrzehnten die grafische Desktopmetapher. Auf einem Bildschirm wird der Desktop (Schreibtisch) zweidimensional dargestellt. Auch andere bekannte Elemente aus dem Bürobereich wie Ordner und Papierkorb haben in den verbreitetsten Betriebssystemen mit grafischer Oberfläche ihr elektronisches Gegenstück. Vogt beschreibt am Beispiel von Mac OS, dass diese Desktopmetapher seit 1984 nicht verändert wurde. Für die meisten Anwendungen ist der digitale Schreibtisch ausreichend. Für viele Aufgaben gibt es jedoch angepasste Mechanismen, die die Bedienung des Computers erleichtern können.

### 2.2.1 Ubiquitous Computing

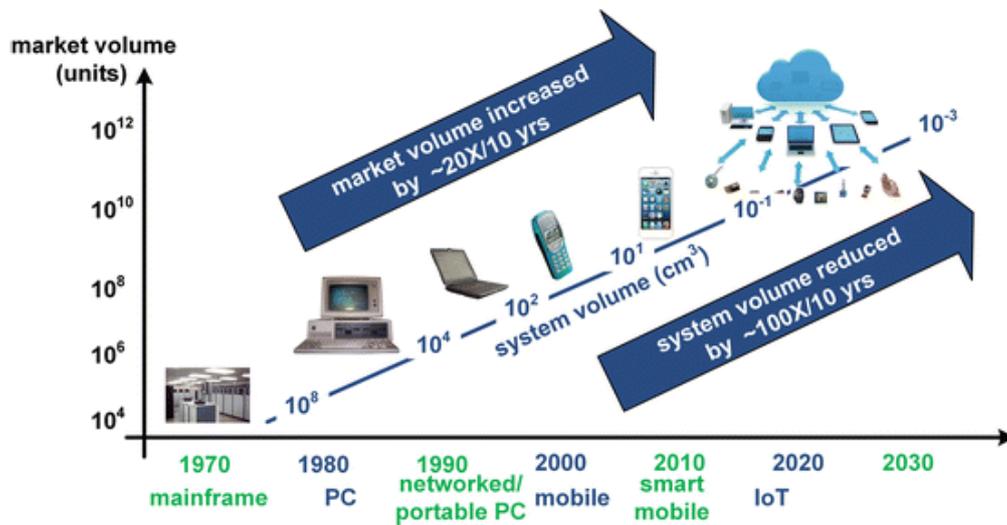
Unabhängig von der Interaktionsform hat sich die Art der Nutzung des Computers seit seiner Erfindung stark gewandelt. Die ersten Rechner waren große Anlagen, auf die wenige Expert\*innen Zugriff hatten. Sie waren kostenintensiv und sehr groß, sodass mehrere Menschen denselben Computer verwendeten. Diese erste Phase der Human Computer Interaction bezeichnen Weiser and Brown (1997) als “Mainframe Era” (Großrechner-Ära). Die gemeinsame Nutzung eines Computers, die noch heute in Form von geteilten Bürorechnern oder zur Berechnung aufwändiger Simulationen Anwendung findet, nennen Weiser und Brown “mainframe computing”.

Die darauf folgende Phase ist die “PC Era”. Durch sinkende Kosten und kleinere Geräte verbreitete sich der *Personal Computer* (PC), sodass bereits 1984 mehr Menschen einen PC verwendeten als einen Großrechner. Weiser und Brown führen an, dass die Nutzung eines PCs eine intime Verbindung zum Gerät mit sich bringt. Die exklusive Verwendung eines Computers von einer einzelnen Person wird als “personal computing” bezeichnet.

Das Internet verbindet laut Weiser und Brown Elemente von mainframe und personal computing: Mittels eines PC greifen Nutzer\*innen auf einen oder mehrere Großrechner-Server zu. Durch das Internet werden andererseits mehrere kleinere Computer verbunden. Das ermöglicht die Zusammenarbeit vieler Computer, um deren Funktionalität und Effektivität zu erweitern.

Die letzte Phase, die Weiser und Brown benennen, ist die “Ubiquitous Computing Era”. “Ubiquitous computing” (UC) bedeutet **allgegenwärtiges computing**. Allgegenwärtig ist diese Form der Interaktion dadurch, dass ein Mensch Zugriff auf viele Computer hat, die in alltägliche Gegenstände integriert oder so gut versteckt sind, dass für Anwender\*innen idealerweise unsichtbar sind.

Weiser (1993) zählt in seinem Artikel “Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing” die Herausforderungen bei der Entwicklung von UC-Geräten auf: Zum einen ist es wichtig, dass die Hardware klein und energiesparend ist, um die Verwendung vieler Computer pro Person praktikabel zu machen. Des Weiteren stellen sich Fragen zur Verbindung der Computer untereinander, es benötigt also Protokolle und Hardware zum Aufbau eines Netzwerks von UC-Systemen. Die größte Aufgabe ist jedoch die Konzeption der eigentlichen Interaktion.

Abbildung 2.3: Entwicklung der Computersysteme seit 1970 <sup>2</sup>

Laut Weiser ist die Problematik beim personal computing, dass der PC immer Teil der Arbeit ist, die verrichtet werden soll. Wenn der Computer aktiv wahrgenommen wird, ist er Teil der Aufgabe und erschwert diese. Dem soll Abhilfe geschafft werden, indem man Computer nicht mehr als Werkzeug, sondern als eine unsichtbare Assistenz konzipiert. Der Schritt zur unsichtbaren Assistenz erfordert laut Weiser (1993) eine grundsätzlich andere Herangehensweise an den Kontext des Computers. Anstatt ein herkömmliches *Graphical User Interface* zu verwenden ist das Ziel von UC, eine unaufdringliche Art der Interaktion zu schaffen. Anstatt Objekte der realen Welt in der digitalen Welt abzubilden, sollte das Digitale in bestenfalls alltägliche Objekte integriert werden.

Durch technischen Fortschritt können Computer heute kleiner, leistungsfähiger und kostengünstiger produziert und verkauft werden als in den letzten Jahrzehnten. Abbildung 2.3 stellt den Trend der kleiner werdenden elektronischen Geräte und deren wachsende Anzahl dar. Diese Entwicklung begünstigt das Voranschreiten von UC, weil passende Hardware heutzutage leicht zugänglich ist und nicht mehr eigens entwickelt werden muss.

Im Ansatz, Computer in alltägliche Objekte zu integrieren, sind Parallelen zum heutigen *Internet of Things* (IOT) erkennbar. Das IOT verbindet mittels eingebetteter Systeme alltägliche Objekte untereinander, sodass ein Netzwerk allgegenwärtiger Elektronik entsteht (Xia et al., 2012). Der IOT-Gedanke an sich beinhaltet allerdings kein Umdenken

<sup>2</sup>Bild: Alioto (2017)

in der Interaktion mit solchen Computern. So werden heute in viele IOT-Geräte lediglich herkömmliche Bildschirme und Eingabeterminals wie Tastenfelder oder Touchscreens verbaut.

Beispielhaft kann hier der “Family Hub”-Kühlschrank von Samsung genannt werden (Samsung, 2021). Der Kühlschrank kann mit anderen Haushaltsgeräten und dem Internet verbunden werden. Zur Bedienung ist der Kühlschrank jedoch mit einem Touchscreen ausgestattet, weshalb der Kühlschrank zwar in die IOT-, aber nicht zur UC-Kategorie gezählt werden kann.

### 2.2.2 Calm Technology

Mit der wachsenden Anzahl und Allgegenwärtigkeit von Computern kommt das Problem der geteilten Aufmerksamkeit auf. Welcher Computer soll gerade beachtet werden?

Wenn jeder Computer die volle Aufmerksamkeit der Anwender\*innen erfordert, bleibt dem Menschen nur das ruhelose Hin- und Herwechsell zwischen Anwendungen übrig. Die Alternative ist, dass bestimmte Systeme weniger die vordergründige Aufmerksamkeit sondern die periphere Wahrnehmung des Menschen ausnutzen.

Buxton (1995) ist der Überzeugung, dass der größte Nutzen durch ein symbiotisches Zusammenspiel unterschiedlicher Anwendungen und Computersysteme entsteht. Dafür ist ein gesamtheitlicher Ansatz an die Human Computer Interaction nötig, der das Zusammenspiel mehrerer Systeme betrachtet. Dafür teilt Buxton die Arten von Interaktion vor allem in die Kategorien **vordergründig** und **hintergründig** ein.

Damit wird keine Aussage über die Wichtigkeit einer Anwendung getroffen, sondern unterschieden, wie bewusst die Interaktion stattfindet. Absichtliche, bewusste Aktivitäten wie das Drücken eines Lichtschalters werden als vordergründig bezeichnet. Weniger bewusste Wahrnehmungen und Aktionen wie das Hören von Schritten im Flur werden als hintergründig bezeichnet.

Während vordergründige Aktivitäten essenziell für den Austausch von Informationen sind, erweitert die Gesamtheit der peripheren Wahrnehmungen diesen Informationsfluss um wichtige Elemente. Ein Telefongespräch kann informativ sein, die Vorzüge der Präsenz im Büro - zu wissen, welche Kolleg\*innen gerade ansprechbar sind und andere unterbewusste Informationen - kann es jedoch nicht ersetzen.

Computersysteme, die das Zentrum und zugleich die Peripherie der Aufmerksamkeit ansprechen, nennen Weiser and Brown (1997) **Calm Technology**. Genauer gesagt wechseln

solche Systeme zwischen Zentrum und Peripherie. Zumeist befinden sie sich am Rande der Wahrnehmung, bei einem ungewöhnlichen Zustand aber rücken sie ins Zentrum der Aufmerksamkeit. Diese gleitenden Übergänge sind laut Weiser beruhigend. Beruhigend sind sie dadurch, dass weit mehr Dinge zur selben Zeit unterschwellig wahrgenommen werden können als Dinge, auf die man sich konzentrieren muss. Daraus entspringt die Gewissheit, viele Dinge im Blick zu haben.

Weiser merkt an, dass eine periphere Wahrnehmung auch beunruhigend sein kann. Durch das Bewusstmachen der Wahrnehmung und das Finden der Ursache übernimmt man allerdings die Kontrolle über diese Sache. Das unangenehme Gefühl, etwas stimme nicht, wird allein durch das Finden der Ursache abgeschwächt. Diese hohe Informationskapazität der peripheren Wahrnehmung soll mithilfe von Calm Technology ausgenutzt werden.

Weiser zählt Anzeichen von Calm Technology auf: Sie verstärkt die Peripherie, indem sie mehr Details in die Reichweite der peripheren Wahrnehmung rückt, ohne dabei mehr Konzentration einzufordern. Sie wechselt zudem sanft zwischen Rand und Zentrum der Aufmerksamkeit. Der letztendliche Effekt ist das beruhigende Gefühl, die Übersicht zu haben über das, was um eine\*n herum geschieht.

### 2.2.3 Embodied Interaction

Hill (2002) unterteilt die Interaktion zwischen Mensch und elektronischen Inhalten in drei Komponenten. Eine Komponente ist die interne Struktur der Informationen, was Hill als "organizational space" bezeichnet. Die dem gegenüberstehende Komponente ist die Interaktion des Menschen, also die körperlichen Aktivitäten zur Bedienung der Maschine. Die dritte Komponente ist das Interface (Schnittstelle). Dieses befindet sich zwischen den ersten beiden Komponenten, also zwischen Körper und Information.

Um elektronische Inhalte effektiv zu vermitteln, braucht es nach Hill zum einen eine tiefsitzende Verbindung des Inhalts mit ihrem Träger, der Schnittstelle, zum anderen eine funktionierende Beziehung von Schnittstelle zu Körper.

Die Schnittstellen gängiger Computer - Bildschirm, Maus, Keyboard oder Touchscreen - sind für ein breites Feld von Aufgaben hinreichend, können aber aufgrund ihres breiten Anwendungsspektrums keine spezielle Aufgabe verkörpern, sodass die Art der Interaktion zur Anwendung passt. Die physischen Komponenten werden als **Embodiment** des

Computers bezeichnet. Dieses Embodiment an die Anwendung anzupassen ist das Ziel der Embodied Interaction.

Der Körper spielt in der Interaktion laut Hollan et al. (2000) auch kognitiv eine bedeutende Rolle. Die kausale Verbindung des Körpers mit seiner unmittelbaren Umgebung spiegelt sich im menschlichen Denken wider: Das Gehirn ist demnach nicht separiert von der Außenwelt und baut nicht lediglich interne Modelle der externen Welt auf. Stattdessen sind kognitive Prozesse eng verflochten mit externen Ressourcen wie den eigenen Gliedmaßen und auch Materialien und Werkzeugen, die uns umgeben.

So kann die Verwendung von Arbeitsmaterialien nach Hollan et al. inhärent Teil des Denkens sein. Für die Entwicklung von Human Computer Interaction ist es also von Vorteil, dies auszunutzen und dem Design der physischen Instrumente des Interfaces hohe Bedeutung zuzumessen.

Um mithilfe eines auf die Anwendung zugeschnittenen Embodiments die Interaktion zu verbessern, entwickelten Fishkin et al. (2000) Handheld-Geräte für spezielle elektronische Aufgaben, zu denen es eine analoge physische Aufgabe gibt, wie das Umblättern einer Buchseite. Am Vorbild der analogen physischen Interaktionen entwickelten sie unterschiedliche Artefakte zur Interaktion mit dem Handheld-Gerät. So bauten sie unter anderem ein Gerät zum Durchscrollen eines elektronischen Karteikarten-Stapels.

Durch die Anlehnung der Interaktion an bekannte Bewegungen und Steuerungsmechanismen verringerten sie die kognitive Transferleistung bei der Bedienung der Handhelds. Die entwickelten Geräte vereinten so die Vorzüge der elektronischen Datenverwaltung mit denen der physischen, intuitiven Interaktion.

### 2.2.4 Tangible User Interfaces

Eine spezielle Form der Embodied Interaction beschreiben Ishii and Ullmer (1997). Mit dem Ziel, Computing mühelos und damit unsichtbar zu machen, entwickelten sie die "Tangible User Interfaces". Diese Interfaces statten physische Objekte mit "computational augmentations" aus, also elektronischen Erweiterungen. Auf diese Weise sollen digitale Informationen anfassbar, zu sogenannten *Tangible Bits* (greifbare Bits) gemacht werden.

Als Schlüsselkonzepte der Tangible Bits nennen Ishii and Ullmer (1997) interaktive Oberflächen, Koppeln von Bits und Atomen und die Verwendung ambienter Medien. **Interaktive Oberflächen** bedeutet, dass architektonische Oberflächen wie Wände, Fenster

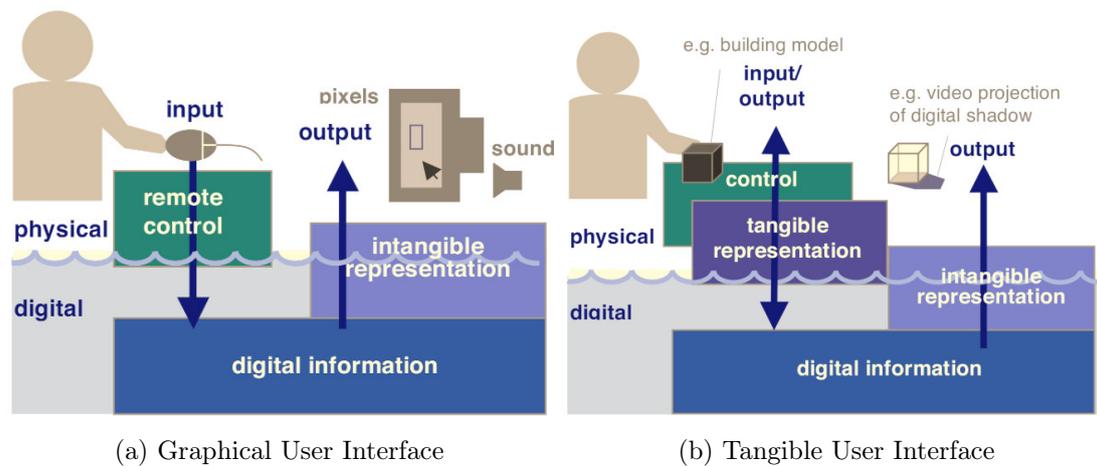


Abbildung 2.4: Vergleich von Graphical und Tangible User Interface (Ishii, 2008)

oder Schreibtischoberflächen als aktive Bedienschnittstellen genutzt werden. Mit **Kopeln von Bits und Atomen** wird ausgedrückt, dass Alltagsgegenstände wie Karteikarten oder Stifte mit ihren zugehörigen digitalen Informationen verbunden werden. Zu **ambienten Medien** zählen unter anderem Klang, Hintergrundbeleuchtung und Luftbewegung. Diese sollen das Verständnis der Schnittstelle, ähnlich zum Konzept der Calm Technology, über die periphere Wahrnehmung unterstützen.

Als größtes Hindernis bei der Interaktion mit GUIs identifiziert Ishii (2008) die “see, point and click” Mechanik, trotz ihres offensichtlichen Vorteils gegenüber der vorangegangenen “remember and type” Domäne der Command User Interfaces. Die Interaktion mit Pixeln auf GUI-Bildschirmen bezeichnet er als grundsätzlich anders als alle anderen Interaktionen mit der physischen Umwelt, da die Eingabe separiert ist von ihren Auswirkungen.

Abbildung 2.4a verdeutlicht, dass bei der GUI die Eingabe von der Ausgabe losgelöst ist. Aus diesem Grund bezeichnet Ishii sie als “remote control” (Fernsteuerung). Digitale Informationen werden ausschließlich über die ungreifbaren Medien Bildschirm und Ton vermittelt (“intangible representation”).

Im Modell der Tangible User Interfaces hingegen (Abbildung 2.4b) ist die Eingabe mit der Ausgabe in Form eines physischen Objekts vereint (“tangible representation”). Entscheidend ist, dass das physische Objekt eine Repräsentation der digitalen Informationen ist und gleichzeitig die Eingabe überwacht. Die ungreifbare Repräsentation nimmt eine ergänzende Rolle zum physischen Objekt ein.

Mit dem Konzept der “Radical Atoms” erweitern Ishii et al. (2012) die Tangible User Interfaces. Anstelle der Aufteilung in greifbare Medien als Ein- und Ausgabe und ungreifbare Medien zur Unterstützung der greifbaren Darstellung, sollen als Radical Atoms bewegliche Materialien eingesetzt werden, die ganz ohne die ungreifbare Repräsentation auskommen. Die physische Ausgabe der Radical Atoms ist eindeutig, sodass die greifbaren Elemente im Gegensatz zu den Tangible Bits die gesamte Ein- und Ausgabe darstellen.

### 2.3 Companion Technologie

Bezüglich der Mensch-Computer-Beziehung stellt sich grundsätzlich die Frage, wie Besitzende und Anwender\*innen ihre Computer wahrnehmen: Betrachten sie sie als reines Werkzeug oder Gegenstand? Oder messen sie ihm einen emotionalen Wert bei, sehen den Computer sogar als eine Art Gegenüber, ähnlich einem Haustier? Wie bereits in 2.2.1 beschrieben, intensiviert sich die persönliche Bindung zu einem Computer, je mehr Zeit man damit verbringt. Turkle (2010) beschreibt, dass zum Beispiel der Laptop Teil des eigenen Selbst wird - durch regelmäßige Nutzung und dadurch, dass die Daten auf einem Laptop Teil des eigenen Lebens sind. Auch ein gutes Beispiel für eine emotionale Mensch-Computer-Beziehung ist das Tamagotchi, ein kleines Gerät, das trotz stark begrenzter Kommunikationsmöglichkeiten Fürsorge und Schuldgefühle bei den Besitzenden hervorrief. Das Tamagotchi zeigt, dass Menschen bereit sind, Computern eine Persönlichkeit zuzusprechen. Daraus entstand die Idee der Companion Technologie: Systeme, die sich auf ihre Besitzer\*innen einstellen, sodass eine persönliche Verbindung zu ihnen entwickelt werden kann. Dabei beschreibt *Companions* eine bestimmte Art von Software-Systemen, die im Vergleich zu sozialen Agenten keine eigene Agenda verfolgen (VDI, 2018), sondern deren oberstes Ziel das Wohlbefinden ihrer Besitzer\*innen ist.

#### 2.3.1 Artificial Companions

Wilks (2010) zeigt in “Introducing Artificial Companions” seine Vision von Robotern, den *Artificial Companions*, die einen Menschen durch sein Leben begleiten und deren Hauptfunktion es ist, sich mit ihren Besitzer\*innen zu unterhalten. Aufgrund fortschreitender Entwicklungen in den Bereichen Sprachverarbeitung, Sprachgenerierung und künstlicher

Intelligenz im Allgemeinen rückt die Realisierung von Artificial Companions immer näher. Am Beispiel eines “Senior Companions”, einem Begleiter für alte Menschen, verdeutlicht Wilks, welche Skills ein Companion-Roboter beherrschen sollte.

Er spricht an, dass alte Menschen vor allem durch Verluste der motorischen Fähigkeiten effektiv von der Informationstechnologie ausgeschlossen sind. Ein Companion, mit dem man sich unterhalten kann, kann hier Hilfe im Umgang mit Computeranwendungen anbieten, zum Beispiel der Nutzung des Internets. Zudem kann er den\*die Besitzer\*in beim Schriftverkehr mit öffentlichen Stellen wie Banken und Versicherungen unterstützen oder an Termine und Vorhaben erinnern. Wilks bezeichnet Companions in dieser Hinsicht als *mentale Prothese*.

Wichtig ist, dass eine persönliche Verbindung zum Companion aufgebaut werden kann. Dafür muss sich der Companion an seine\*n Besitzer\*in anpassen: Wie er mit ihnen redet, ob er ein eher passiver oder aktiver Gesprächspartner sein soll et cetera. Durch die Unterhaltung mit dem Companion erfährt dieser außerdem auch etwas über den Lebenslauf des\*der Besitzer\*in. Es ist eine Reihe an internen Modellen notwendig, um diese Informationen zu strukturieren. Um ein interessanter Gesprächspartner zu sein, sollte ein Companion beispielsweise Erinnerungen zeitlich einordnen und Erzählungen zu Personen zuordnen können.

Wilks betont zudem die Frage, was für eine Identität der Companion einnimmt. Dies kann je nach Rolle unterschiedlich sein: Gegenüber dem\*der Besitzer\*in ist der Companion ein Gegenüber, vergleichbar mit einem Haustier. Im Internet übernehmen Companions möglicherweise die Identität ihrer Besitzer\*innen, zum Beispiel beim Versenden von E-Mails in deren Namen. Im Gespräch mit den Angehörigen, auch nach dem Tod des\*der Besitzer\*in, sind beide Optionen denkbar. In jedem Fall soll ein Companion ein Teil des Lebens und des Selbst des\*der Besitzenden sein.

Turkle weist darauf hin, dass manche Menschen die Schwierigkeiten im Umgang mit anderen Menschen als ermüdend empfinden. Sie geht hierbei auf das Konzept des *Self-Objects* des Psychoanalytikers Heinz Kohut ein, nach dem Menschen ihr fragiles Selbstgefühl vorübergehend stärken, indem sie eine andere Person zum Self-Object machen. Die Person in der Rolle des Self-Objects wird als Teil des eigenen Selbst erlebt. Turkle vergleicht das Self-Object mit einem Ersatzteil für das eigene Selbst. Ein Artificial Companion ist für diese Rolle besser geeignet als menschliche Personen: Als uneigenständiges, von dem\*der Besitzer\*in abhängiges Artefakt ist ein Companion per Definition ein Ersatzteil. Gegenüber einer Person hat er den Vorteil, dass er keine Ansprüche erhebt, auf

verlässliche Weise fürsorgliches Verhalten “produziert” und kein Risiko von persönlichen Enttäuschungen darstellt.

### 2.3.2 Companion Systeme

Eine andere Sicht auf Companion-Technologie beschreiben Biundo and Wendemuth (2017). Sie thematisieren die Problematik der wachsenden funktionalen Intelligenz technischer Systeme, während die Arten der Bereitstellung dieser Funktionalitäten nicht im gleichen Maße fortschreiten. Der Zugriff auf komplexe Funktionalitäten erfordert dementsprechend viel Knowhow, da technische Systeme nicht selbsterklärend sind und sich nicht an die Voraussetzungen einzelner Nutzer\*innen anpassen. *Companion Systeme* (CS) sollen die Lücke zwischen Anwender\*in und Computer schließen, indem sie Nutzende bei der Anwendung unterstützen, einzelne Funktionalitäten des Systems vorschlagen und erklären. Das Ziel von CS ist es, allen möglichen Arten von Systemen *Companion-Charakteristiken* zu verleihen.

Die Companion-Charakteristiken definieren Biundo und Wendemuth als Individualität, Anpassungsfähigkeit, Kompetenz, Vertrauenswürdigkeit, Kooperativität und Verfügbarkeit. Im Folgenden wird das Konzept von Biundo und Wendemuth erläutert, das beschreibt, wie ein CS die einzelnen Charakteristiken umsetzen kann.

Charakteristisch für CS ist, dass sie sich an die persönliche Situation, den emotionalen Zustand und die aktuellen Ziele der Nutzenden anpassen. Jede\*r Anwender\*in hat individuelle Vorstellungen und Bedürfnisse, wie das System sich verhalten soll.

Das System kann daher den Kontext der Umgebung und des\*der Nutzer\*in wahrnehmen und das eigene Verhalten entsprechend anpassen. Dazu zählt auch die technische Erfahrung der jeweiligen Person, die anhand ihrer Reaktionen und Eingaben ermittelt wird. Ein CS muss relevante Änderungen der Umwelt und des Nutzer\*innenzustands kontinuierlich erkennen und angemessen interpretieren können, um **Individualität** und **Anpassungsfähigkeit** zu gewährleisten.

Ein CS verwaltet außerdem eine Wissensbasis, die verschiedene Modelle enthält: Das *Ontology*-Modell mit Beschreibungen der Systemfunktionalitäten, das *Planning*-Modell, das die Programmabläufe und mögliche Aktionen definiert, und das *User*-Modell, das Informationen über die einzelnen Nutzer\*innen wie ihre technische Erfahrung, Vorlieben und Bedürfnisse enthält. Die **Kompetenz** besteht darin, auf der Wissensbasis in Abhängigkeit vom derzeitigen Umgebungs- und Nutzer\*innen-Kontext die Planung und

Entscheidungsfindung durchzuführen. Resultierende Pläne führt das CS entweder eigenständig aus oder präsentiert sie dem\*der Nutzer\*in als Vorschlag. Anpassungsfähig ist das System auch dadurch, dass es auch bei unerwartetem Anwender\*innenverhalten sinnvolle Pläne erstellt. Damit das System als **vertrauenswürdig** empfunden wird, muss es in der Lage sein, die Pläne gegenüber den Nutzenden zu erklären und Entscheidungen zu begründen.

Genau wie bei einem Artificial Companion ist eine Hauptaufgabe der CS, einen Dialog mit dem\*der Anwender\*in zu führen. Ein **kooperationsbereites** System generiert Pläne interaktiv zusammen mit dem\*der Anwender\*in. Es interagiert über verschiedene Kanäle, eine Vielzahl von Eingabe- und Ausgabegeräten und motiviert Nutzende zum Dialog. Hierbei ist eine geringe Latenz, also hohe **Verfügbarkeit** essenziell, damit ein anregender Dialog entstehen kann, da Nutzende bei Wartezeit schnell das Interesse an der Interaktion verlieren.

Zusammengefasst sind sowohl Companion Systeme als auch Artificial Companions Systeme, die Anwender\*innen bei verschiedenen Aufgaben unterstützen. Dabei ist ein zentraler Aspekt, dass sie die Human Computer Interaction vereinfachen, indem sie sich auf die technischen Vorkenntnisse sowie die emotionale Verfassung des\*der Anwender\*in anpassen. So soll mehr Menschen beispielsweise die Nutzung des Internets ermöglicht werden.

### 2.4 Spiegel

Quantified Self ist die Betrachtung des Selbst anhand der gesammelten quantifizierten Daten. Demgegenüber stehen die Selbstwahrnehmung und Selbstbetrachtung ohne elektronische Hilfsmittel: Ohne darüber nachzudenken sehen die meisten Menschen mehrmals täglich ihr Spiegelbild. Der Spiegel ist ein gewöhnlicher Alltagsgegenstand, der jedoch eine lange Geschichte hat und dem schon immer eine metaphorische Bedeutung beigegeben wurde. Spiegel können sowohl die Realität abbilden als auch verzerren und unsere Wahrnehmung täuschen.

### 2.4.1 Historischer Hintergrund

Pendergrast (2008) gibt einen Überblick über die Geschichte und Psychologie des Artefakts Spiegel. Spiegel wurde schon in der Antike eine magische Bedeutung zugesprochen, sodass sie zum Beispiel zu Toten ins Grab gelegt wurden, um diese zu schützen oder ins Jenseits zu begleiten. Spiegel stehen zudem in engem Zusammenhang mit Licht, dem mysteriösen Medium, das die Menschheit bis heute nicht vollständig verstanden hat.

Pendergrast beschreibt, dass die ersten Spiegel um 3000 v. Chr. aus unterschiedlichen Metallen oder Gesteinen hergestellt wurden. Im antiken Rom wurden erstmals konvexe Spiegel aus Glas angefertigt, die jedoch von geringer Qualität waren. Erst im 15. Jahrhundert n. Chr. wurden große, flache Spiegel aus Glas hergestellt, die zunächst teure Luxusgüter waren, mit der Zeit jedoch erschwinglicher und alltäglicher wurden. Pendergrast erklärt mit dem technologischen Fortschritt und der Verbreitung als gewöhnliches Objekt, dass Spiegel weniger mit Magie, sondern mehr und mehr mit Wissenschaft assoziiert werden. Der technologische Fortschritt führte dazu, dass sich die Kultur von übernatürlichen Vorstellungen entfernte, da Phänomene wie die Brechung des Lichts in einem Spiegel wissenschaftlich erklärbar und normaler wurden. Viele Menschen glaubten noch an das Übernatürliche, es entfernte sich allerdings von ihrer Lebensrealität. Im Hofleben des frühneuzeitlichen Englands zum Beispiel wurden Spiegel nur noch als Hilfsmittel für die Pflege der äußeren Erscheinung verwendet, wie Anderson (2008) beschreibt. Heutzutage sind Spiegel allgegenwärtig - im Badezimmer, als Dekorationsmöbel, im Auto. Spiegel werden als dekorativ und nützlich, aber nicht mehr als mysteriöse Objekte wahrgenommen. Anzumerken ist dabei auch, dass aufgrund der heutzutage hohen Herstellungsqualität die Spiegeloberfläche an sich kaum noch wahrgenommen wird, stattdessen liegt der Fokus auf dem Spiegelbild.

### 2.4.2 Selbstwahrnehmung

Ein besonderes Phänomen ist es, sich selbst im Spiegel zu betrachten. Es erscheint selbstverständlich, dass die Person im Spiegelbild dieselbe Person ist wie die, die in den Spiegel sieht. Das Erkennen des Selbst im Spiegelbild ist jedoch eine Eigenschaft, die fast nur der Mensch innehat. Pendergrast berichtet von Verhaltensexperimenten an unterschiedlichen Tieren, anhand derer man herausfand, dass neben dem Menschen nur Elefanten, Delfine und Schimpansen in der Lage sind, das eigene Spiegelbild nicht für einen Artgenossen zu

halten. Sich selbst zu erkennen benötigt ein gewisses Verständnis des eigenen Selbst, das Selbstgefühl oder auch Ich-Gefühl.

Pendergrast spricht eine Theorie des Soziologen Charles Horton Cooley an, nach der das Selbstverständnis nur durch soziale Interaktion entsteht. Das eigene Selbst ist demnach die Vorstellung davon, wie andere einen wahrnehmen. Schimpansen, die ohne soziale Kontakte aufwuchsen, scheiterten dementsprechend bei den Verhaltensexperimenten. Menschen erkennen ihr Spiegelbild erst ab einem Alter von ungefähr 20 Monaten.

Wie Anderson (2008) anführt, erweitert das sich selbst im Spiegel Ansehen das Selbstgefühl, da man durch das Spiegelbild erfährt, welche Außenwirkung der eigene Körper hat. Laut Anderson haben wir gelernt, uns selbst grundlegend in Bezug auf das zu verstehen, was wir in einem Spiegel reflektiert sehen. Dies steigert das Selbstgefühl insofern, als dass man sowohl das Subjekt ist, das in den Spiegel schaut, als auch das sichtbare Objekt im Spiegel. Anderson bezeichnet den Spiegel demnach als kognitives Artefakt, das der Innenwirkung des eigenen Verhaltens unmittelbar dessen Außenwirkung gegenüberstellt.

Hulkes (2008) geht in "The Philosophic Mirror in the Younger Seneca's *De Clementia*" auf das Buch *De Ira* (*Über den Zorn*) des antiken römischen Philosophen Seneca ein, in dem beschrieben wird, wie ein wütender Mann mit funkelnden Augen und blutrotem Antlitz in einen Spiegel schaut. Der Mann sieht die Auswirkungen der Wut in seinem Gesicht und erschrickt. Seneca beschreibt, dass die Seele, also der Ursprung des Bewusstseins, durch unser physisches Wesen gefiltert nach außen vermittelt wird. Hulkes schlussfolgert, dass Körper und Seele untrennbar miteinander verbunden sind und dass sich die Seele immer in der Physis widerspiegelt. Gleichzeitig betrachtet der wütende Mann durch den Spiegel sich selbst, und nimmt so seine Außenwirkung wahr.

Anderson bezeichnet das innere Wahrnehmen des eigenen Körpers als **inside-out**. Das inside-out ist unsere eigene Wahrnehmung der körperlichen Ausdrücke, die sowohl bewusst als auch unbewusst unsere Gedanken und Gefühle nach außen repräsentieren. Das Sehen des eigenen Spiegelbilds nennt Anderson **outside-in**. Durch das outside-in erfahren wir eine Parallele des Blicks von außen auf unsere Ausdrücke, die es anderen ermöglichen, zu "lesen", was wir denken und fühlen. Die Auseinandersetzung mit den eigenen Gesichtsausdrücken fördert die Fähigkeit, die eigenen Gedanken darzustellen und zudem, die Gedanken anderer Menschen zu erkennen.

Der wiederholte Prozess von Externalisieren und Neu-Wahrnehmen ist vergleichbar mit dem Verwenden eines Sketchbooks, wie es Künstler\*innen tun: Entwerfen, Reflektieren und Umgestalten.

### 2.4.3 Selbstoptimierung

Selbstwahrnehmung und Selbstreflexion sind verbunden mit Selbsterkenntnis, Weisheit und Besonnenheit, aber auch im negativen Sinn mit Selbstverliebtheit, Eitelkeit und Stolz. Laut Anderson führt Selbstreflexion zu Selbsterkenntnis, die wiederum ein Auslöser für Selbstoptimierung ist.

Pendergrast berichtet vom Stamm der Biami in Neuguinea, die lange isoliert von anderen Kulturen lebten. Dementsprechend kannten sie keine Spiegel, bis der Anthropologe Edmund Carpenter 1975 ihnen erstmals herkömmliche Spiegel zeigte. Ihre erste Reaktion war Erstarren, Verdecken der Mäuler und Einziehen des Kopfes. Carpenter bezeichnete die Reaktion als *Schrecken der Selbsterkenntnis*. Nach einigen Tagen pflegten sie sich jedoch offen vor den Spiegeln. Spiegel mögen nicht die Auslöser für Selbstoptimierung sein, doch die Selbstwahrnehmung und darauf aufbauende Selbstreflexion regen offenbar den Drang zur Selbstverbesserung an.

Melchior-Bonnet (2001) verweist auf das Prinzip "Know Thyself", das dem Orakel von Delphi entstammt. Sie deutet es als das Abwenden von äußerlichen Erscheinungen und die Konzentration stattdessen auf die eigene Seele zu lenken. Sich im Spiegel zu sehen sei daher der niedrigste Grad der Erkenntnis. Durch richtige Verwendung könne der Spiegel aber hilfreich sein bei der moralischen Vermittlung zwischen Mensch und sich selbst: Sokrates forderte junge Menschen auf, sich selbst im Spiegel zu betrachten. Waren sie hübsch, sollten sie ihrer Schönheit würdig werden - waren sie hässlich, sollten sie ihre Hässlichkeit durch Lernen verbergen. Melchior-Bonnet beschreibt den Spiegel als "tool to 'know thyself'", der Menschen daran erinnert, sich nicht mit Gott zu verwechseln, Stolz zu vermeiden und sich selbst zu verbessern.

### 2.4.4 Spiegelprojekte

Abschließend werden drei Projekte vorgestellt, die einen Spiegel zum Verkörpern bestimmter Funktionen einsetzen oder ihn um bestimmte Funktionen erweitern. Ähnlich zu dieser Arbeit thematisieren die Projekte Quantified Self, Human Computer Interaction und Companion Technologie.



Abbildung 2.5: Anzeigen der Pulsrate auf dem Magic Mirror

**Magic Mirror** Der “Magic Mirror” von Subramonyam (2015) ist ein gestengesteuerter Ganzkörperspiegel, der Self-Tracking Werte der sich betrachtenden Person anzeigt.

Subramonyam greift auf, dass die Darstellung von Self-Tracking-Daten zumeist in mobilen und Web-Apps in Form von Tabellen und Graphen implementiert ist. Diese Trennung der Daten von ihrem Kontext, dem menschlichen Körper, sei hinderlich für Reflexion und Interpretation der Daten. Subramonyam geht außerdem auf die Theorie der Embodied Interaction ein, nach der der Verstand nicht vom Körper getrennt ist. So begründet er die Verwendung der Gestensteuerung.

Der Magic Mirror besteht aus einem Kinect-Sensor, einem Computer und einem Projektor. Mithilfe des Kinect-Sensors werden Gesten aufgenommen, die das Anzeigen bestimmter Daten auslösen: Beispielsweise zum Anzeigen der Pulsrate imitiert die Person mit einer Hand einen Herzschlag auf ihrer Brust (Abb. 2.5). Außerdem kann der Magic Mirror die Anzahl der verbrannten Kalorien, der Schritte und die Schlafmenge anzeigen. Zusätzlich wird eine Silhouette um den Körper gezeichnet, deren Farbe einen Wellness-Quotienten repräsentiert, der aus der Gesamtheit der Trackingdaten berechnet wird.

**Mirror Ritual** “Mirror Ritual” ist ein Projekt von Rajcic and McCormack (2020), das Emotionserkennung mit Poesiegenerierung in einem Spiegel verbindet.

Sie gehen auf den Bereich des *Affective Computing* (AC) ein, der Forschung an Computersystemen, die menschliche Affekte erkennen, simulieren oder ausdrücken können. Dabei ist es Rajcic und McCormack wichtig, nicht die mit Affective Computing oft verbundene Illusion zu erwecken, dass die eigenen Emotionen vollends verstanden oder sogar

berechnet werden können. Stattdessen vertreten sie den interaktionalen Ansatz von AC: die Ko-Konstruktion von Emotionen durch Austausch von möglichen Interpretationen und Interaktion zwischen Mensch und Computer. Sprache spielt hier eine entscheidende Rolle: Affect labelling zum Beispiel, also unsere Gefühle in Worte fassen, kann als eine Form der impliziten Emotionsregulierung angesehen werden, da es messbar den akuten Affekt beeinflusst. Für die Interaktion ist es daher wichtig, keine festen Klassifizierungen wie *traurig* oder *glücklich* zu kommunizieren, um ergebnisoffene Interpretationen der Berechnungen zu ermöglichen.

Anhand der Emotionserkennung mittels eines neuronalen Netzes klassifiziert “Mirror Ritual” die Emotion der interagierenden Person. Intern werden basierend auf der Klassifizierung eine Reihe von Emotionswörtern wie *glad* oder *ecstatic* generiert. Die Sprachgenerierungssoftware GPT-2 von OpenAI wird zur Generierung eines Gedichts auf Basis der Emotionswörter eingesetzt, das Gedicht wird auf einem Display innerhalb des Spiegels angezeigt. Auf diese Weise motiviert “Mirror Ritual” den\*die Benutzer\*in zur selbstständigen Konzeptualisierung des eigenen emotionalen Zustands.

**Quantified Self Companion** Im Rahmen der Entwicklung eines Systems zur Erweiterung der Selbstwahrnehmung durch Self-Tracking-Daten setzte Lüdemann (2020) prototypisch einen Ganzkörperspiegel um, der die Quantified Self Werte anzeigt. Der Fokus lag hier jedoch auf der Datenextraktion und der Auswertung der Trackingdaten mit verschiedenen Data Mining-Methoden. Für die Bedienung des Spiegels ist eine Touch-Eingabe, Sprachsteuerung oder Gestensteuerung vorgesehen. Lüdemann merkt an, dass auch andere Formen der Interaktion neben dem Spiegel denkbar sind, der Spiegel sei jedoch “seit jeher ein Ort, sich selbst zu begegnen, das Sichtbare aufzuzeigen”.

## 2.5 Ansprüche und Anforderungen

Es soll ein System zur Verarbeitung und Darstellung von Self-Tracking-Daten entwickelt werden. Für die Datensammlung wird als kostengünstiges Consumer-Produkt das *Mi Smart Band 4* (im Folgenden *Mi Band 4* oder *Mi Band*) <sup>3</sup>-Fitnessarmband verwendet. Die Wahl des Fitnessarmbands ist willkürlich, da der Fokus dieser Arbeit auf der konzeptuellen Architektur liegt.

---

<sup>3</sup><https://www.mi.com/de/mi-smart-band-4/>

Als Visualisierungswerkzeug soll ein Spiegel-Objekt entworfen werden. Wie in 2.4 thematisiert, ist der Spiegel ein Artefakt der Selbstwahrnehmung und ferner der Selbstreflexion. Die Verbindung zum Quantified Self liegt auf der Hand: Das Quantified Self stellt die Perspektive der messbaren Daten auf das Selbst dar, während die subjektive Selbstwahrnehmung sich im Spiegelbild manifestiert. Die Integration des Spiegelbilds in das Objekt verbindet so die *analoge* Selbstwahrnehmung mit dem digitalen Quantified Self.

Der Spiegel kann als Companion verstanden werden. Er stellt insofern ein Self-Object dar, dass er als Teil des eigenen Selbst erlebt werden kann, da er Anwender\*innen ihr eigenes Quantified Self gegenüberstellt. Für Darstellung des Quantified Self einer Person ist natürlich die Personalisierung essenziell, weshalb eine Gesichtserkennung integriert werden soll.

### 2.5.1 Ansprüche an die Interaktion

Im Gegensatz zum *Magic Mirror* (Subramonyam, 2015) sollen die Daten nicht als Zahlenwert oder in Form von digitalen Grafiken auf dem Spiegel dargestellt werden. Stattdessen sollen die Daten physisch repräsentiert werden. Wie Lupton (2017) beschreibt, helfen physische Repräsentationen, ein besseres Gespür für die persönlichen Daten zu bekommen und sich emotional damit zu beschäftigen. Auf diese Weise soll das System auf emotionaler Ebene die Beziehung zwischen Person und ihren Daten ausdrücken.

Anstelle von Selbstoptimierungswahn ist Well-Being das Ziel der Interaktion mit dem System. Dafür soll emotionale Reflexion über Self-Tracking-Angewohnheiten und -Ziele provoziert werden. In diesem Zusammenhang ist auch eine *Critical Design*-Wirkung erwünscht, um Personen dazu anzuregen, die Objektivität ihrer Self-Tracking-Daten grundsätzlich zu hinterfragen. Der Anspruch der Reflexion hat Parallelen zu *Mirror Ritual* (siehe 2.4.4). Die Reflexion soll allerdings nicht in Bezug auf die akuten Emotionen sondern auf den Gesamtkontext des Quantified Self angeregt werden.

Der Anspruch an das Embodiment ist, dass es sich in eine natürliche Wohnumgebung einfügt. Im inaktiven Zustand soll das Objekt wenig Aufmerksamkeit auf sich ziehen und nicht als störend auffälliger Gegenstand wahrgenommen werden.

Die Interaktion sollte mühelos und beruhigend sein. Erfordert nämlich die Interaktion selbst wenig kognitiven Aufwand, rückt die Aussage der Darstellung in den Mittelpunkt. Auch wenn die Interaktion nicht vollständig in der peripheren Wahrnehmung stattfindet, sollte die Interaktion so natürlich wie möglich sein. Deshalb soll das System ohne

manuelle Eingabe mithilfe einer Kamera die Person erkennen, mit der es interagiert, und selbstständig die Visualisierung starten.

### 2.5.2 Anforderungen

Für das angestrebte System werden die folgenden Anforderungen definiert. Die in dieser Arbeit beschriebene prototypische Umsetzung erfüllt die meisten dieser Anforderungen.

#### Datenbeschaffung

1. Das System muss Self-Tracking-Daten des Mi Band 4 auslesen können.
2. Nach anfänglicher Konfiguration führt das System die Datenabfrage automatisch durch, sobald sich das Mi Band 4 in der Nähe des Systems befindet.
3. Das System persistiert die Daten in einer Datenbank.

#### Datenverarbeitung

Als Auswertung der Daten muss das System Metriken zur Quantifizierung der Lebensqualität, die die Daten widerspiegeln, implementieren. Für die Visualisierung errechnet das System Kennwerte der Daten in einem vordefinierten Wertebereich.

Die Datenverarbeitung wird in dieser Arbeit nicht tiefer thematisiert. Die Anforderungen in diesem Bereich sind daher grob gehalten.

#### Gesichtserkennung

1. Das System stellt die Funktionalität zum Einspeichern eines Gesichts bereit.
2. Das System erkennt automatisch die Person, mit der es gerade interagiert.

### **Visualisierung**

1. Das System beinhaltet ein Spiegel-Objekt als Embodiment, das eine Visualisierung nach den Ansprüchen in 2.5.1 ermöglicht.
2. Das System steuert basierend auf der derzeit interagierenden Person und den errechneten Kennwerten die Motorik des Spiegel-Objekts an.

## 3 Design

### 3.1 Komponenten

Die Architektur kann in drei Bereiche unterteilt werden. Der erste Teil ist die Erfassung der persönlichen Daten: Die Consumer-Sensorik, in dieser Arbeit das Mi Band, wird an das System angebunden und die Daten in einer Datenbank persistiert. Der zweite Teil ist die Verarbeitung und Aufbereitung der Daten für die Visualisierung. Der dritte Teil ist die Human Computer Interaction, bestehend aus Personenerkennung und Visualisierung der personenzugehörigen Daten.

Bei der Verwendung eines anderen Geräts als den Mi Band muss, ähnlich wie im Folgenden beschrieben, eine geeignete Schnittstelle zur Datenbeschaffung gewählt werden und die Datenverarbeitung auf das Quelldatenschema angepasst werden.

Aus der dreiteiligen Grundstruktur ergeben sich die Systemkomponenten. Die klare Trennung der Komponenten hat den Vorteil der losen Kopplung, sodass eine Komponente leicht durch eine andere Implementierung ersetzt werden kann. Abbildung 3.1 stellt die Komponenten und den Datenfluss innerhalb des Systems dar. Mithilfe einer Android-App werden die Datensätze vom Mi Band ausgelesen und an die Datenverarbeitungskomponente gesendet. Die Datenverarbeitungskomponente hält die Rohdaten in einer Datenbank fest, berechnet daraus Zustände und schickt die Zustände an die Darstellungskomponente. Zusätzlich teilt die Gesichtserkennung der Darstellungskomponente mit, ob eine Person erkannt wird. Die einzelnen Komponenten sind im Folgenden in der Reihenfolge des Datenflusses beschrieben.

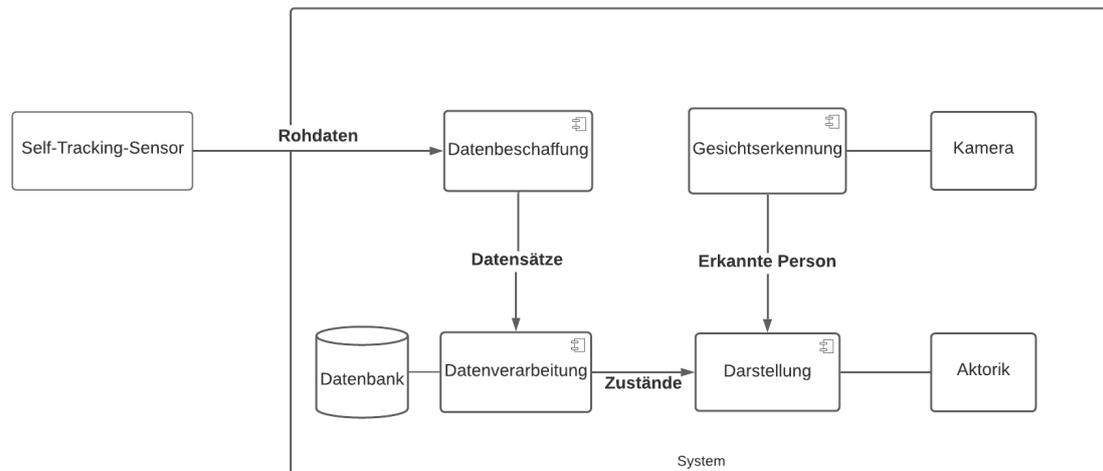


Abbildung 3.1: Übersicht der Systemkomponenten

### 3.2 Datenbeschaffung

Zunächst müssen die Daten von der Self-Tracking-Sensorik abgerufen werden. Die Datenbeschaffungskomponente muss dafür im konkreten Fall eine Schnittstelle des Mi Band-Herstellers Xiaomi ansprechen, über die die Daten abgreifbar sind.

Ein Ansatz ist, die Daten über eine Webschnittstelle von den Xiaomi-Servern abzurufen. Xiaomi stellt hierfür eine Web API <sup>1</sup> bereit, deren Benutzung jedoch per E-Mail angefragt werden muss, um einen Zugriffsschlüssel zu erhalten. Da die Anfrage für dieses Projekt unbeantwortet blieb, kommt diese Schnittstelle nicht für die Nutzung infrage.

Ein anderer Ansatz ist, mithilfe eines Smartphones eine Bluetooth-Verbindung zum Mi Band einzurichten und die Daten direkt vom Gerät auszulesen. Die Smartphone-App sendet neue Datensätze an die Datenverarbeitungskomponente. Damit Datensätze, die schon weitergeleitet wurden, nicht mehrfach gesendet werden, ist ein Synchronisierungsmechanismus erforderlich. Im Open-Source Projekt *Gadgetbridge*<sup>2</sup> sind bereits die Mechanismen zum Koppeln mit einem Mi Band 4 und anderen Fitness-Trackern in Form einer Android-App implementiert. Da Gadgetbridge unter der GNU GPL Lizenz steht, kann die App den Anforderungen angepasst und im System verwendet werden.

<sup>1</sup><https://github.com/huamitech/rest-api/wiki>

<sup>2</sup><https://gadgetbridge.org/>

Bezeichnung	Datentyp
Unix-Zeitstempel	Integer
Schritte	Integer
Puls	Integer
Bewegungsintensität	Integer
Klassifizierung	Integer

Tabelle 3.1: Attribute eines einzelnen Mi Band 4 Datensatzes

### Schema der Quelldaten

Tabelle 3.1 listet die Attribute eines Datensatzes auf, die Gadgetbridge vom Mi Band abrufen. Da das Gadgetbridge Projekt nicht von Xiaomi unterstützt ist, wurde die Bedeutung der Werte durch Reverse Engineering festgelegt, und es sind nicht alle Semantiken bekannt.

Pro Minute erstellt das Mi Band einen Datensatz. Die Zeit des Datensatzes ist als Unix-Zeit angegeben. Der *Schritte*-Wert beschreibt die Summe der Schritte einer Minute. Die Pulsmessung kann manuell auf dem Mi Band gestartet werden, oder es wird ein Zeitintervall für automatische Pulsmessung eingestellt. Ist das Zeitintervall nicht auf eine Minute (kleinstmögliches Intervall) eingestellt, haben dementsprechend nicht alle Datensätze einen gültigen *Puls*-Wert. Die *Bewegungsintensität* ist ein Wert zwischen 0 und 200, der die Beschleunigung des Mi Bands innerhalb der Minute quantifiziert. Der Wert *Klassifizierung* beschreibt die Art der Aktivität wie Schlaf oder Sport, die das Mi Band intern erkennt.

## 3.3 Datenverarbeitung

Die Komponente Datenverarbeitung empfängt Datensätze von der Datenbeschaffungskomponente und fügt sie in die Datenbank ein. Abbildung 3.2 zeigt ein Entity-Relationship-Diagramm der Datenbank. Eingehende Datensätze werden als Samples eingefügt. Der Wert *Klassifizierung* wird nicht in die Datenbank aufgenommen, da keine Informationen zur genauen Bedeutung der Klassifizierungswerte vorliegen. Jedes Sample ist einem Mi Band zugeordnet. Für jedes Mi Band ist der Name der Person gespeichert, der das Mi Band gehört. Die Datenbank unterstützt dementsprechend den Einsatz mehrerer Mi Bands, je Person eins.

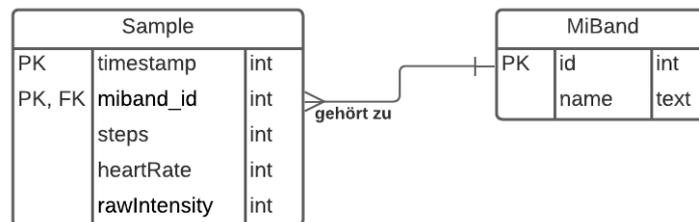


Abbildung 3.2: Entity Relationship Diagram (ERD) der System-Datenbank

Neben der Speicherung der Daten ist die Auswertung der Datensätze Aufgabe der Datenverarbeitung. Die aktuellen Daten werden auf Zustände abgebildet, die die Darstellungskomponente visualisieren kann. Die Übertragung neuer Datensätze in die Datenbank leitet eine Aktualisierung der Zustände ein. Liegen die neu berechneten Zustände vor, werden diese an die Darstellungskomponente gesendet.

Zur Festlegung der Zustände muss die Beschaffenheit der Daten genauer untersucht werden, damit die Zustände nicht willkürlich, sondern bedeutungsvoll sind. Eine Möglichkeit für eine solche Untersuchung ist die Anwendung von Data Mining, wie Maria Lüdemann (2016) sie auf Basis eines *Knowledge Discovery in Databases* Prozesses (Fayyad et al., 1996) durchgeführt hat. Die Data Mining Verfahren können zudem beim Errechnen der Zustände angewandt werden.

## 3.4 Interaktionskomponenten

### 3.4.1 Embodiment

Die Interaktion mit dem\*der Anwender\*in geschieht über das Embodiment. Das Embodiment besteht aus mehreren neigbaren Spiegelementen. In ungeneigtem Zustand aller Elemente hat das Objekt eine ebene Spiegeloberfläche, das Neigen eines Elements soll eine Verzerrung des reflektierten Bildes bewirken.

Kamera und Motorik sollen als Teil des Aufbaus in das Objekt integriert sein. Dabei muss die Kamera unbeweglich sein, damit sich der Bildwinkel für die Gesichtserkennung während der Darstellung nicht verändert.

### 3.4.2 Gesichtserkennung

Aufgabe der Gesichtserkennung ist das Mapping der Biometrik einer Person auf einen Identifikator, also eine biometrische Personenerkennung. Andere Arten der Personenerkennung sind ebenfalls denkbar. Da es zur Verwendung eines Spiegels in jedem Fall notwendig ist, die Augen auf ihn zu richten und damit ihm das Gesicht zuzuwenden, ist die Gesichtserkennung im Fall eines Spiegelobjekts naheliegend.

Die Gesichtserkennungskomponente ist verbunden mit der Kamera. Intern verwaltet sie eine Zuordnung von Gesichtern zu Personennamen. In der Komponente können bestehende Informationspaare gelöscht und neue hinzugefügt werden.

Mittels eines Gesichtserkennungsalgorithmus, beispielsweise eines neuronalen Netzes, wird ein Gesicht erkannt, wenn es sich vor der Kamera befindet. Ist das Gesicht bekannt, also liegt ein Name für das Gesicht vor, wird der Name an die Darstellungskomponente übermittelt. Liegt kein Informationspaar für ein Gesicht vor, wird die Information übermittelt, dass ein unbekanntes Gesicht registriert wurde.

### 3.4.3 Darstellungskomponente

Die Darstellung, also die Übertragung der Zustände auf die Motorik, wird von einem Mikrocontroller gesteuert. Durch den kleinen Formfaktor eines Mikrocontrollers kann dieser wie Motorik und Kamera in den Aufbau der Spiegelemente integriert werden.

Die Darstellungskomponente empfängt neue Zustände von der Datenverarbeitung. Da die Datenverarbeitung neu berechnete Zustände unmittelbar weiterleitet, liegen im Mikrocontroller immer die aktuellen Zustände vor. Im Mikrocontroller ist ein vordefiniertes Motoren-Mapping eingespeichert. Jeder Zustand wird auf einen Wert für die Motorensteuerung abgebildet. Die Motoren werden über die Ausgabe-Pins des Mikrocontrollers gesteuert.

Von der Gesichtserkennung erhält die Darstellungskomponente die Information, ob und welche Person erkannt wird. Befindet sich keine Person vor dem Spiegel, wird eine glatte Spiegeloberfläche angezeigt, indem die Motoren entsprechend angesteuert werden.

Wird eine Person erkannt, für die Zustände vorliegen, wird eine vordefinierte Begrüßungssequenz abgespielt, danach werden die zugehörigen Motoren-Mappings ausgeführt.

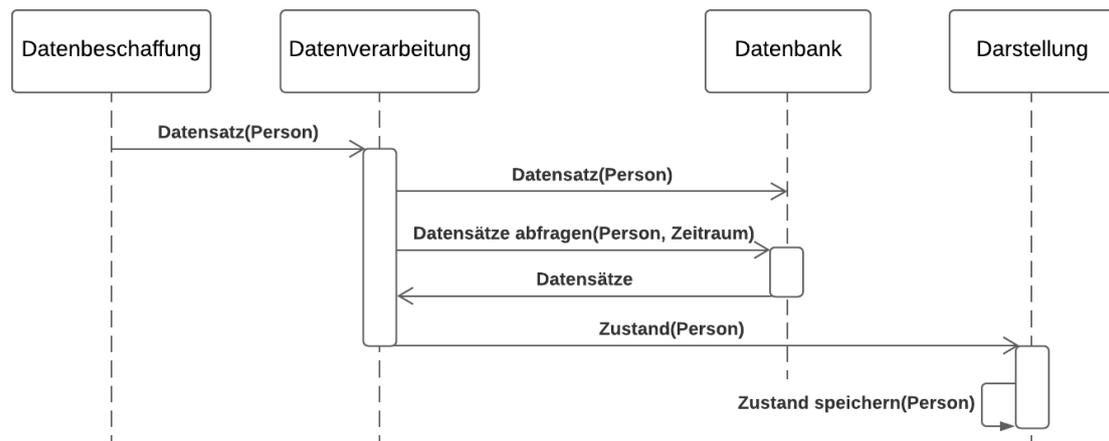


Abbildung 3.3: Sequenzdiagramm für Datenupdates

Übermittelt die Gesichtserkennung eine unbekannte Person oder einen Namen, für den keine Zustände vorliegen, so wird lediglich die Begrüßungssequenz abgespielt.

### 3.5 Internes Kommunikationsschema

Für das System sind zwei Abläufe definiert. Der erste ist das **Datenupdate**, also die Übermittlung der Daten von Datenbeschaffung über Datenverarbeitung zur Darstellungskomponente. Das Sequenzdiagramm in Abbildung 3.3 bildet die Nachrichtensequenz eines Datenupdates ab. Die Komponente Datenbeschaffung startet den Vorgang, indem sie einen neuen Datensatz, zugehörig zu einer Person, an die Datenverarbeitung sendet. Das geschieht, sobald die Datenbeschaffung neue Datensätze vom Mi Band erhält. Die Person wird über einen bestimmten Identifikator referenziert, beispielsweise den Namen der Person. Die Datenverarbeitung speist den Datensatz in die Datenbank ein. Da die Datenlage in der Datenbank jetzt aktualisiert ist, errechnet die Datenverarbeitung einen neuen Darstellungszustand. Dafür fragt sie die der Person zugehörigen Datensätze aus dem zur Berechnung relevanten Zeitraum von der Datenbank ab. Die erhaltenen Datensätze bildet die Datenverarbeitung dann nach einer der in 3.3 beschriebenen Methoden auf einen Zustand ab. Der Zustand wird dann an die Darstellungskomponente gesendet. Zuletzt speichert die Darstellung den Zustand, zusammen mit dem Namen der Person.

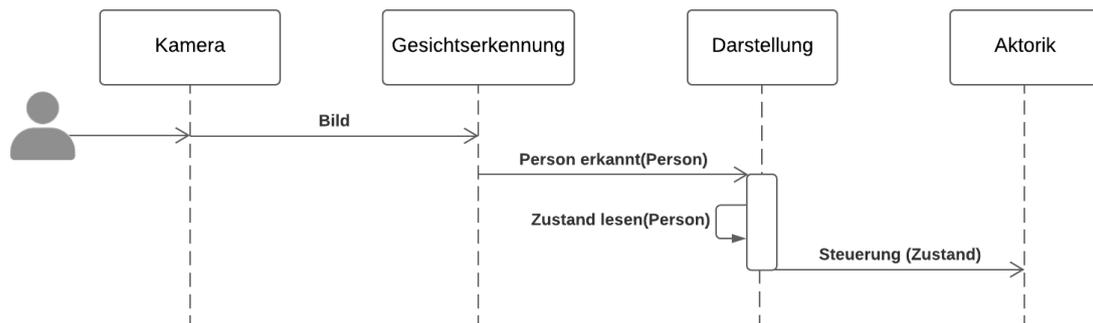


Abbildung 3.4: Sequenzdiagramm für die Interaktion mit dem System

Der zweite Ablauf ist der **Login**, also die Interaktion mit einer Person über das Spiegel-Objekt von Erkennung der Person zur Darstellung des personenbezogenen Zustands mithilfe der Aktorik. Das Sequenzdiagramm in Abbildung 3.4 bildet diesen Ablauf ab. Die Kamera sendet periodisch Bilder an die Gesichtserkennung. Die Gesichtserkennung sendet jedoch nur dann eine Nachricht an die Darstellungskomponente, wenn eine Person erkannt wird. Der Ablauf startet also dann, wenn sich eine Person vor der Kamera befindet, genauer gesagt wenn die Gesichtserkennung eine Person erkennt. Die Gesichtserkennung sendet der Darstellung die Nachricht, welche Person erkannt wurde. Hierbei muss derselbe Personenidentifikator verwendet werden wie im *Datenupdate*. Die Darstellung liest jetzt aus, ob für die Person ein Zustand gespeichert wurde. Liegt ein Zustand vor, wird dieser an die Aktorik gesendet und somit für die Person sichtbar dargestellt.

Die zwei Abläufe sind asynchron, allerdings baut der *Login*-Ablauf auf dem *Datenupdate* auf, da die Darstellungskomponente zuvor gespeicherte Zustände bei der Interaktion ausliest. Damit das System bei der Interaktion einen personenbezogenen Zustand darstellen kann, muss für diese Person vorher deshalb mindestens einmal ein *Datenupdate* initiiert werden. Tatsächlich sollte das *Datenupdate* so häufig wie möglich und am besten automatisiert periodisch gestartet werden, damit das System aktuelle Zustände darstellen kann.

### 3.6 Lose Kopplung

Die lose Kopplung ermöglicht Änderungen am System, um es für zukünftige Projekte an andere Anwendungsziele anzupassen. In 3.5 wurde aufgezeigt, dass das System zwei

Abläufe beinhaltet, die sich nur durch die Übertragung der Darstellungszustände überschneiden. Der *Datenupdate*-Ablauf kann als Abbildung von digitalen Rohdaten (“Datensätze”) auf den emotionalen Zustand einer Quantified Self Entität zusammengefasst werden. Der *Login*-Ablauf beschreibt die biometrische Erkennung einer Person und die Darstellung des ihr zugehörigen Zustands. Dazu gehört die Verlinkung des Zustands der digitalen Persona mit der anhand physischer Merkmale (hier Gesichtserkennung) erkannten realen Person.

Ist diese Verlinkung sichergestellt, kann zum einen die Implementierung der Datenverarbeitung ausgetauscht werden, sofern diese eine beliebige Abbildung von Datensätzen auf Zustände des Quantified Self bereitstellt. Zum anderen kann die biometrische Erkennung ausgetauscht werden: Anstelle von Gesichtserkennung ist ein Fingerabdrucksensor oder auch Stimmenerkennung denkbar.

Soll eine andere Datenquelle verwendet werden, kann zudem die Datenbeschaffungskomponente ausgetauscht werden. Wichtig ist hierbei allerdings, dass das Schema der Quelldaten ähnlich zu dem der hier verwendeten Quelldaten ist, ansonsten muss zusätzlich die Datenverarbeitungskomponente an das veränderte Datenschema angepasst werden. Anstatt die Datenbeschaffungskomponente auszutauschen ist es außerdem möglich, mehrere Instanzen der Komponente einzusetzen, um verschiedene Datenquellen zu nutzen.

## 4 Realisierung des Systems

Teil dieser Arbeit ist die prototypische Implementierung des Systems. Das Ziel ist dabei vor allem, das Systemdesign auf Umsetzbarkeit zu überprüfen und zu evaluieren, ob das Design für die in 2.5 aufgeführten Anforderungen geeignet ist. Dieses Kapitel enthält die Beschreibung der Systemimplementierung und eine funktionale Evaluation des Designs auf Grundlage des realisierten Prototyps.

Der Systemprototyp und das Spiegel-Objekt wurden im Living Place<sup>1</sup> der HAW Hamburg aufgebaut. Einige Implementierungsdetails sind auf diesen Kontext zurückzuführen, da die Infrastruktur bestimmte Entscheidungen begünstigt, insbesondere die Verwendung des MQTT-Protokolls und das Hosten der Datenverarbeitung auf einem der im Living Place laufenden Server.

Das Design wurde für die Umsetzung als Mehrschichtenarchitektur verstanden. Jede Komponente ist ihrer Funktion entsprechend einer der 4 Schichten Sensorschicht, Persistenzschicht, Logikschicht und Präsentationsschicht zugeordnet. Kommunikation zwischen Komponenten findet nur innerhalb einer Schicht oder mit angrenzenden Schichten statt - mit Ausnahme der Kommunikation zwischen Kamera und Gesichtserkennung. Die Kamerabilder müssen nicht persistiert werden, außerdem laufen Kamera und Gesichtserkennung auf derselben Hardware (s. 4.4), sodass eine Direktverbindung unvermeidbar ist. Abbildung 4.1 enthält die Aufgaben der Komponenten aus 3 und deren Verortung in der Mehrschichtenarchitektur. Zusätzlich sind die Frameworks eingetragen, die in der Software verwendet wurden. In der Sensorschicht werden die Rohdaten der Self-Tracking-Sensorik, also des Mi Bands abgefragt. Die Datenbeschaffung agiert als Adapter zwischen Self-Tracking-Sensor und Datenverarbeitung, indem es die Schnittstelle des Mi Bands für die Datenverarbeitung übersetzt. Die Datenbeschaffung ist in 4.2 genauer beschrieben. Die Persistenzschicht enthält die Datenverarbeitungskomponente und die Datenbank des Systems. Neben der Speicherung der Daten ist zusätzlich die Berechnung von

---

<sup>1</sup><https://livingplace.haw-hamburg.de/>

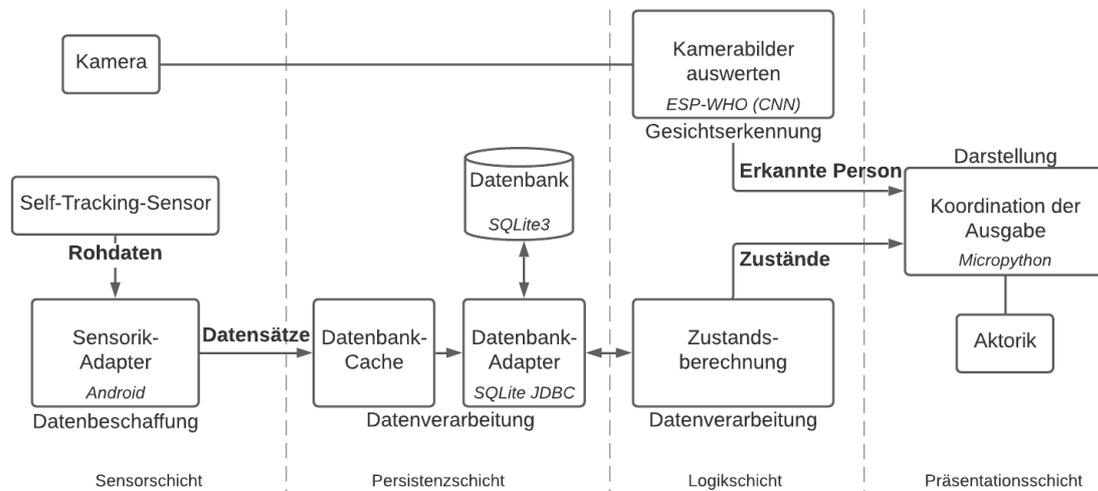


Abbildung 4.1: Aufgabenverteilung der Komponenten

Quantified-Self-Zuständen Aufgabe der Datenverarbeitung. Diese Aufgabe ist der Logikschicht zuzuordnen, deshalb erstreckt sich die Datenverarbeitungskomponente über zwei Schichten. In 4.3 wird die Umsetzung der Datenverarbeitung näher erläutert. Teil der Logikschicht ist außerdem die Gesichtserkennung, die in 4.4 beschrieben wird. Kamera und Aktorik gehören als Eingabe- bzw. Ausgabeelemente der Präsentationsschicht an. Ebenso ist die Darstellungskomponente, die die Präsentation des Systems koordiniert, der Präsentationsebene zugeordnet. Die Umsetzung der Darstellungskomponente ist in 4.5 beschrieben.

Abbildung 4.3 zeigt zusätzlich die Komponenten in Hinblick auf die verwendete Hardware und die Kommunikationsarten.

## 4.1 Überblick der MQTT-Kommunikation

Ein wichtiger Teil des Systemprototyps ist die Verwendung des Protokolls MQTT. Im Living Place steht ein MQTT-Broker und WLAN zur Verfügung, was den Einrichtungsaufwand für die Interkomponentenkommunikation verringert.

In Abbildung 4.2 ist die Verteilung der MQTT-Kommunikation auf mehrere Topics dargestellt: Die Datenbeschaffung und Datenverarbeitung kommunizieren bidirektional über die Topics "QSMirror/app" und "QSMirror/sync". Die Datenverarbeitung publiziert neue Zustände an das Topic "QSMirror/state", die Darstellung abonniert dieses Topic. Die

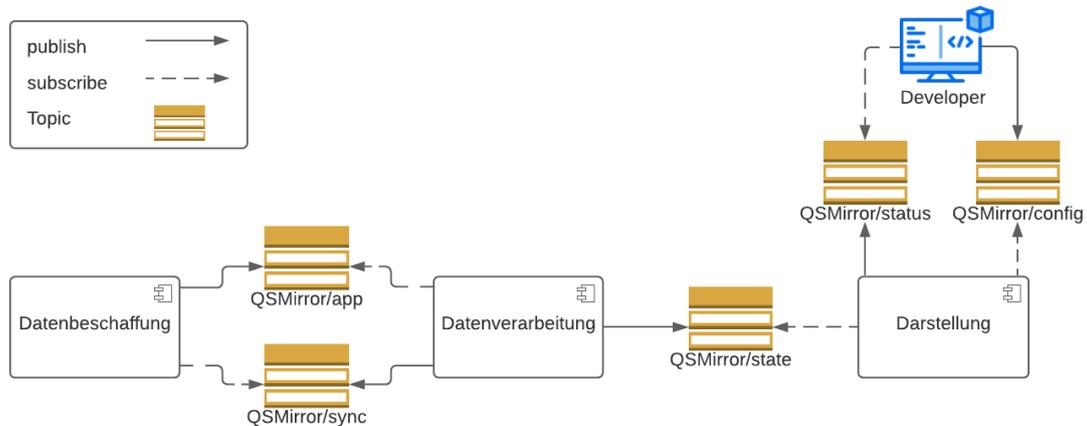


Abbildung 4.2: Übersicht der Kommunikation über die verschiedenen MQTT Topics

Darstellungskomponente hat eine Status- und Konfigurationsschnittstelle über die Topics “QSMirror/status” und “QSMirror/config”. Von Hand können Nachrichten an “QSMirror/config” gesendet werden, die entweder die Konfiguration der Gesichtserkennung oder eine Abfrage der lokalen Werte der Darstellungskomponente bewirken (siehe Abschnitt 4.5).

## 4.2 Android-App

Die Komponente Datenbeschaffung ist wie in 3.2 beschrieben in Form einer Android-App umgesetzt. Hierfür wurde die Open-Source App Gadgetbridge um die Funktion der Datensynchronisation mit der Datenverarbeitungskomponente erweitert. Die App wird per Bluetooth mit dem Mi Band gekoppelt und ruft die Datensätze vom Mi Band ab. Es können mehrere Mi Bands gleichzeitig mit der App verbunden sein. Die Datenbeschaffung nimmt so die Funktion eines Adapters für die Self-Tracking-Sensorik ein (s. Abb. 4.1).

Gadgetbridge erlaubt es, jedem Mi Band einen Namen zuzuweisen, sodass der Name der tragenden Person gewählt werden kann. Beim Ablauf *Datenupdate* labelt die Android-App die Datensätze und verknüpft sie so mit der tragenden Person. Eine Automatisierung des *Datenupdates* wurde nicht umgesetzt, stattdessen muss das Senden neuer Datensätze von Hand gestartet werden. Die App sendet über MQTT neue Datensätze an die Datenverarbeitung (siehe Abbildung 4.2). Für die Datenbank-Synchronisierung wird neben

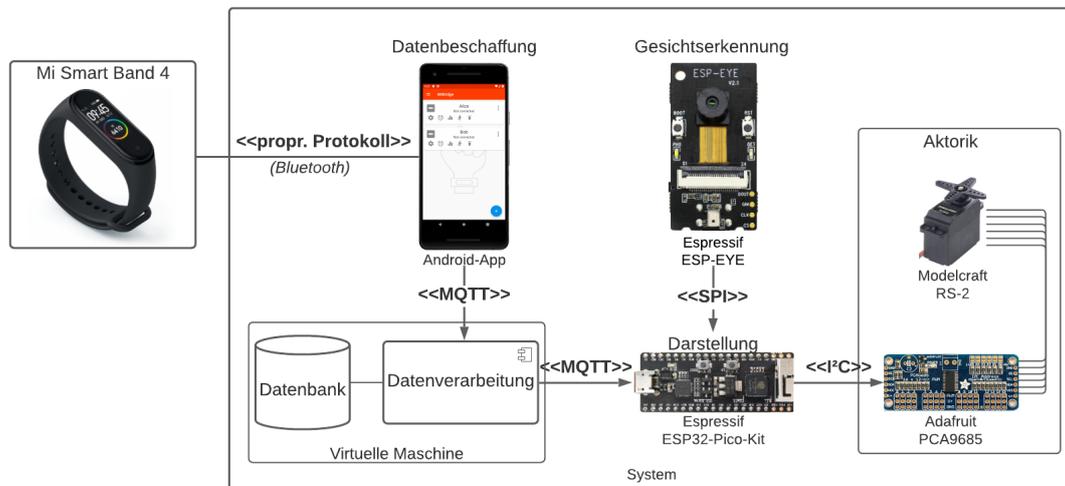


Abbildung 4.3: Übersicht über die eingesetzte Hardware

den Datensätzen zusätzlich zwischen App und Datenverarbeitung ausgetauscht, wie viele Datensätze in einem bestimmten Zeitraum in den jeweiligen Datenbanken vorliegen.

**Pairing** Für das Pairing von Mi Band und App ist ein Authentifizierungsschlüssel des Mi Bands erforderlich. Dafür muss das Mi Band einmalig mit der offiziellen “Zepp”-App<sup>2</sup> gekoppelt werden. Daraufhin kann der Authentifizierungsschlüssel mithilfe eines Python-Skripts<sup>3</sup> von den Huami-Servern ausgelesen werden.

### 4.3 Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung läuft auf einem Server in der Wohnumgebung, in der der Spiegel aufgebaut wurde. Die Software wurde in Java 11 implementiert, über die Datenbank-schnittstelle *SQLite JDBC* wird eine SQLite 3 Datenbank verwaltet. Für die Kommunikation mit dem MQTT-Broker wurde die “mqtt-client” Bibliothek von FuseSource<sup>4</sup> verwendet.

Die Datenverarbeitungskomponente empfängt Datensätze von der Android-App. Als Datenbank-Adapter wird ein *SQLite JDBC*-Treiber eingesetzt. Über diesen Treiber wer-

<sup>2</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.huami.watch.hmwatchmanager>

<sup>3</sup><https://github.com/argrento/huami-token>

<sup>4</sup><https://github.com/fusesource/mqtt-client>

den die Datensätze in die Datenbank eingefügt. Dabei wird das Namenslabel, das die Android-App zusammen mit jedem Datensatz mitsendet, als Zuordnungsschlüssel in der Datenbank übernommen.

Auf Seite der Logikschicht ist die Datenverarbeitung für die Abbildung von Datenlage auf darstellbare Zustände verantwortlich. Die Abbildung ist nur exemplarisch implementiert. Sie entspricht keinerlei wissenschaftlichem Anspruch, sondern dient lediglich zur Demonstration der Gesamtarchitektur. Es wird die Anzahl der Schritte, die Bewegungsintensität im Wachzustand, die Schlafdauer und die Bewegungsintensität im Schlaf pro Tag ausgewertet. Aus diesen Werten lässt sich ableiten, ob eine Person viel Sport getrieben, sich ausgewogen oder wenig bewegt hat und ob die Schlafqualität besser oder schlechter ausfällt als in den letzten 30 Tagen. Die Art und Menge der Bewegung werden dann klassifiziert als *intensiv*, *ausgewogen* oder *wenig*; der Schlaf als *normal*, *mehr*, *weniger* oder *unruhig* klassifiziert. Diese Klassifizierungen werden schließlich in einem der 5 Zustände *gesund*, *sportlich*, *krank*, *bewegungsarm* oder *gestresst* zusammengefasst. Die Grenzwerte für die jeweiligen Klassifizierungen wurden anhand von Visualisierungen der Quelldaten festgelegt.

Neue Zustände werden via MQTT an die Darstellungskomponente gesendet. Ein Zustand wird allerdings noch in der Datenverarbeitungskomponente in ein 6-Tupel von Ansteuerungswerten für die Aktorik (siehe Abschnitt 4.5) übersetzt. Anstelle der Zustandsbezeichnung wird dementsprechend das 6-Tupel an die Darstellungskomponente übertragen. Die Übersetzung geschieht in der Datenverarbeitungskomponente, da so die optische Repräsentation eines Zustands flexibler ist, was nachträgliche Änderungen erleichtert.

### 4.4 Gesichtserkennung: ESP-EYE

Für die Gesichtserkennung wird das ESP-EYE<sup>5</sup> von Espressif eingesetzt. Das ESP-EYE ist ein Entwicklungsboard, ausgestattet mit einem ESP32 Mikrocontroller und einer 2-Megapixel Kamera. Es wird das Framework ESP-WHO verwendet, das Convolutional Neural Networks zur Einspeicherung und Erkennung von Gesichtern einsetzt. Für die Kommunikation mit anderen Geräten ist WLAN vorgesehen, das ESP-EYE hat jedoch auch SPI-Pins, die zur Kommunikation mit der Darstellungskomponente verwendet werden.

---

<sup>5</sup><https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp-eye/overview>

Dafür wurde das ESP-WHO-Beispielprojekt *face\_recognition\_with\_command\_line*<sup>6</sup> verwendet, das Einspeicherungs- und Erkennungsfunktionalitäten demonstriert. Das Projekt wurde angepasst und um ein Software-Modul für die SPI-Kommunikation als SPI-Slave erweitert.

Werden bestimmte, vordefinierte Befehle über den SPI-Kanal empfangen, initiiert das Programm die jeweiligen Funktionen der Gesichtserkennung: Das Einspeichern eines Gesichts mitsamt Zuordnung zum zugehörigen Namen der Person, die Ausgabe (ebenfalls per SPI) aller aktuell gespeicherten Personen und das Löschen einer Person aus dem Speicher des ESP-EYE. Standardmäßig wird aber der Name eines erkannten Gesichts über den SPI-Kanal übertragen.

Das ESP-EYE ist hinter der Spiegelfläche befestigt, wie in Anhang A.9 zu sehen ist. Für die Kamera befindet sich eine Aussparung in der Spiegelfläche. So kann eine Person erkannt werden, während sie in den Spiegel sieht.

### 4.5 Darstellungskomponente: Mikrocontroller

Die Darstellungskomponente ist auf dem Entwicklungsboard ESP32-Pico-Kit V4 (im Folgenden ESP) implementiert. Auf dem ESP läuft der Python-Compiler MicroPython in der Version IDF3v1.12. Die Darstellungskomponente ist der Präsentationsschicht zugeordnet, da ihre Hauptaufgabe die Darstellung von Zuständen ist, angestoßen von der Information, welche Person aktuell erkannt wurde.

**Anschlüsse und Verbindungen** Über SPI ist das Gesichtserkennungsmodul ESP-EYE an den ESP angebunden. Zum Signalisieren von Fehlern und erfolgreicher Personenerkennung sind eine RGB-LED und ein elektromagnetischer Buzzer angeschlossen. Über I<sup>2</sup>C kommuniziert der ESP mit dem Adafruit PCA9685 PWM-Shield. Der ESP verbindet sich außerdem mit dem WLAN des Living Place und ist so mit dem MQTT-Broker verbunden.

---

<sup>6</sup>[https://github.com/espressif/esp-who/tree/master/examples/single\\_chip/face\\_recognition\\_with\\_command\\_line](https://github.com/espressif/esp-who/tree/master/examples/single_chip/face_recognition_with_command_line)

**MQTT-Kommunikation** Über das Topic “QSMirror/state” erhält der ESP neue Zustände von der Datenverarbeitung. Zustände werden mit dem Personennamen als Schlüssel in einer internen Datenbank gespeichert.

Da das ESP-EYE keine direkte MQTT-Anbindung hat, kontrolliert der ESP die Konfiguration der Gesichtserkennung. Über das Topic “QSMirror/config” werden Konfigurationsbefehle empfangen. Der ESP startet dann das Einspeichern eines Gesichts oder das Löschen eines Gesichts im ESP-EYE. Für jede Person wird eine RGB-Farbe gespeichert, die die LED anzeigt, sobald die Person erkannt wird. Diese RGB-Farben werden ebenfalls über das Topic “QSMirror/config” konfiguriert.

Über “QSMirror/config” kann außerdem die Ausgabe der gespeicherten Gesichter, der Zustände in der internen Datenbank oder der RGB-Farben angestoßen werden. Die jeweiligen Werte werden dann an das Topic “QSMirror/status” gesendet.

Da die Verlinkung von Quantified Self-Zustand und realer Person über den Namen der Person erfolgt, ist es wichtig, denselben Namen für die Konfiguration der Gesichtserkennung zu verwenden, der auch in der App für das Mi Band gewählt wurde.

**Ansteuerung der Aktorik** Die Aktorik wird über einen Adafruit PCA9685 PWM-Shield angesteuert. Der PWM-Shield kann bis zu 16 verschiedene PWM-Signale ausgeben. Über I<sup>2</sup>C überträgt der ESP die Steuersignale an den PWM-Shield. Da nur 6 Servomotoren als Aktorik eingesetzt werden (siehe 4.6), besteht ein Darstellungszustand aus 6 Einzelwerten. Jeder Zustandseinzelwert muss im Wertebereich -50 bis +50 liegen. Die Software rechnet die Einzelwerte dann in Ausgabewerte für den PWM-Shield um.

## 4.6 Aktorik und Embodiment

Wie in Abbildung 4.3 dargestellt, besteht die Aktorik aus 6 Servomotoren des Typs RS-2 von Modelcraft, die über den PWM-Shield angesteuert werden.

An den Servomotoren ist jeweils eine 3D-gedruckte Halterung für eine Zahnstange befestigt (s. Abb. A.6 und A.7). Ein Zahnrad kann so die Drehbewegung des Motors linear auf eine Zahnstange übertragen. Die resultierende Translation der Zahnstange wird dann direkt zum Bewegen der Spiegelflächen genutzt.

Die Spiegelfläche besteht aus 7 einzelnen Spiegeln. Am sechseckigen Zentralelement sind mit Scharnieren die 6 trapezförmigen Außenelemente befestigt (s. Abb. 4.4 und A.9).

Das Zentralelement ist unbeweglich, während die Außenelemente von jeweils einem Servomotor mittels der Zahnstange nach vorne und hinten gekippt werden können. Durch die Neigung der Außenelemente wird die Spiegelung gebrochen und es entstehen je nach Darstellungszustand kaleidoskopartige oder anders verzerrte Spiegelbilder, zum Beispiel wie in Abbildung A.10.

Die Spiegelemente können bis zu 15 Grad nach vorne und maximal 15 Grad nach hinten geneigt werden. Die Umrechnung der Einzelwerte der Darstellungszustände ist so kalibriert, dass ein Nullvektor einer glatten Spiegeloberfläche entspricht. Ein Einzelwert von +50 entspricht der maximalen Neigung *zum\*zur Anwender\*in hin*, der Wert -50 entspricht der maximalen Neigung *von dem\*der Anwender\*in weg*.

Da die äußeren Spiegelemente nur auf den Zahnstangen aufliegen und nicht befestigt sind, kann das Gesamtobjekt nicht senkrecht aufgebaut werden, sondern muss nach hinten gekippt werden, damit die oberen Außenelemente nicht nach vorne fallen. Der Spiegel muss deshalb um mindestens 25 Grad nach hinten geneigt sein.

Auf einer kreisförmigen, hölzernen Basisplatte ist eine Steckplatine befestigt, auf die der ESP32 gesteckt ist. Daneben ist der PWM-Shield befestigt, das zentrale Spiegelement ist auf Gewindemuffen aufgeklebt, die in die Basisplatte geschraubt sind (s. Abb. A.5). Die Servomotoren sind erhöht montiert, um den Bewegungsfreiraum der Zahnstangen zu vergrößern.

In Anhang A.1 sind die Zwischenergebnisse der Entwicklung des Spiegeldesigns von 2D-Skizzen zum 3D-Design dargestellt. Anhang A.2 enthält Fotos der Zwischenstände vom Aufbau des Spiegelobjekts.

### 4.7 Ergebnisse der Umsetzung

Wie eingangs erwähnt ist das Ziel der prototypischen Implementierung die Überprüfung des Designs aus Kapitel 3 auf Umsetzbarkeit und Eignung in Bezug auf die in 2.5 definierten Anforderungen. Außerdem wurden erste Reaktionen von an dem Projekt beteiligten Personen beobachtet. Abschließend werden Erkenntnisse aus dem Umsetzungsprozess erläutert.



Abbildung 4.4: Front des komplett aufgebauten Spiegels

#### 4.7.1 Funktionale Evaluation

**Datenbeschaffung** Die Self-Tracking-Daten des Mi Band 4 können mithilfe der Android-App ausgelesen werden. Die App speichert die Daten in einer internen Datenbank zwischen. Die Synchronisierung der App-Datenbank und der System-Datenbank funktioniert zuverlässig, die Daten eines Tages zu synchronisieren dauert jedoch ca. 20 Sekunden, so dass die Übertragung der Daten mehrerer Tage als störend lange empfunden wird.

Die Anforderung, dass die Übertragung von Datenbeschaffungskomponente automatisch abläuft, ist nicht erfüllt.

Die Datenverarbeitungskomponente verwaltet die Systemdatenbank und persistiert Self-Tracking-Daten.

**Datenverarbeitung** Die Datenverarbeitung wurde exemplarisch in Form einer Abbildung der Self-Tracking-Daten auf einen von 5 Darstellungszuständen implementiert. Die implementierte Abbildung basiert auf grob festgelegten Grenzwerten, die nicht auf Sinnhaftigkeit überprüft wurden.

Die umliegenden Komponenten ermöglichen es jedoch, anstelle der aktuellen Implementierung komplexere Data Mining Methoden einzusetzen.

**Gesichtserkennung** Für die Gesichtserkennung wurde das Entwicklungsboard ESP-EYE von Espressif zusammen mit dem AI-Framework ESP-WHO eingesetzt. Neue Gesichter können eingespeichert werden. Eingespeicherte Gesichter werden meist erkannt. Der Erfolg der Erkennung ist aber davon abhängig, inwieweit die Lichtverhältnisse von den Lichtverhältnissen beim Einspeichern abweichen. Das ist weniger bemerkbar, wenn der Spiegel dauerhaft fest an einer Position steht.

**Visualisierung** Es wurde ein Spiegel-Objekt modelliert und aufgebaut. Die Zustände werden abstrakt in Form des verzerrten Spiegelbilds dargestellt. Durch die Verwendung eines Spiegels ist der\*die Anwender\*in selbst Teil der Visualisierung, was die emotionale Verbindung von Person mit ihren Daten ermöglicht. Das gebaute Objekt ähnelt optisch einem gewöhnlichen Wandspiegel. So ist denkbar, den Spiegel unauffällig und natürlich in eine Wohnumgebung zu integrieren.

Um die Interaktion zu starten, muss eine Person lediglich in den Spiegel sehen. Bei Erkennung eines Gesichts wird der aktuell in der Darstellungskomponente vorliegende personenbezogene Zustand über die Servomotoren erfolgreich dargestellt.

### 4.7.2 Erste Reaktionen

Die erste Vorführung bestand aus einer Begutachtung des physischen Objekts, dem Aus-testen der Gesichtserkennung und der zugehörigen Darstellung der jeweiligen Zustände. Dafür wurden Zustände manuell an die Darstellungskomponente gesendet, die nicht der Datenverarbeitung entsprangen.

Die Reaktionen auf die Darstellung dieser beliebigen Zustände war zunächst die Faszination über die Mechanik, dass die Gesichtserkennung eine Formänderung der Spiegeloberfläche bewirkte und über die Verzerrungen des Spiegelbilds. Die überraschenden und schnellen Bewegungen der Servomotoren zusammen mit dem lauten Betriebsgeräusch der Motoren wirkte bei der ersten Interaktion erschreckend.

Die Darstellung von Zuständen der Datenverarbeitungskomponente, die auf Grundlage der aktuellen Self-Tracking-Daten berechnet wurden, wurde funktional getestet; Reaktionen auf das Gesamtsystem wurden bisher noch nicht untersucht.

### 4.7.3 Fazit der Evaluation

Die meisten Anforderungen konnten durch das prototypische System erfüllt werden. Es werden Self-Tracking-Daten vom Mi Band 4 ausgelesen und in einer Datenbank persistiert. Die gespeicherten Daten werden auf Quantified Self Zustände abgebildet. Über eine Gesichtserkennung werden Personen erkannt, bei vorliegenden Daten wird der persönliche Zustand der Person dargestellt. Das gebaute Spiegelobjekt ermöglicht eine natürliche Interaktion und kann Zustände abstrakt darstellen.

Die Automatisierung der Datenbeschaffung wurde nicht umgesetzt, da die Umsetzung einer automatischen Datensynchronisation in der Android-App als zu umfangreich eingeschätzt wurde. Alternativ kann das System an einen Self-Tracking-Sensor angepasst werden, dessen Daten mit geringerem Aufwand automatisch abrufbar sind, zum Beispiel durch Verwendung einer Hersteller-API. Die Genauigkeit der Gesichtserkennung ist abhängig von den Lichtverhältnissen. Es können andere Gesichtserkennungslösungen oder auch andere Erkennungsmethoden in Betracht gezogen werden. Die Abbildung der Self-Tracking-Daten auf Zustände wurde prototypisch implementiert, Weiterentwicklungen der Zustandsklassifizierung auf Basis von psychologischen, medizinischen oder anderen Aspekten sind denkbar.

# 5 Zusammenfassung und Ausblick

## 5.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Architektur für ein System, das Anwender\*innen ihre Quantified Self-Daten visualisiert.

Dafür wurden zunächst in Kapitel 2 die Bereiche Quantified Self, Human Computer Interaction, Companion Technologie und die Bedeutung des Artefakts Spiegel untersucht. Darauf aufbauend wurden die Anforderungen für das System definiert: Das System soll eine kritische Auseinandersetzung mit den eigenen Self-Tracking-Daten provozieren, um letztendlich eine emotionale Verbindung zwischen Selbstgefühl und Datenlage zu fördern.

In Kapitel 3 wurde die Architektur entworfen. Die Architektur beschreibt ein verteiltes System, in dem jeder Komponente eine spezifische Aufgabe zugeordnet ist. Das Design beinhaltet die Verteilung der Komponenten und legt Schemata für die Interkomponentenkommunikation fest.

Kapitel 4 dokumentiert die Umsetzung eines Prototyps auf Basis der Systemarchitektur. Der Prototyp wurde mit dem Ziel realisiert, die entwickelte Architektur funktional zu evaluieren. Dafür wurde der Prototyp mit den in 2.5 festgelegten Anforderungen abgeglichen. Zudem wurden erste Reaktionen bei der Interaktion mit dem System festgehalten.

Bei der Umsetzung wurden Vereinfachungen gemacht, um den Aufwand zu reduzieren. Anhand des Prototyps konnte aber gezeigt werden, dass die Architektur den Anforderungen aus 2.5 genügt.

## 5.2 Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Prototyp eines Systems zur abstrakten Darstellung von Quantified Self-Daten umgesetzt.

Zunächst steht eine Erweiterung der Implementierung aus. Unterschiedliche Methoden der Datenverarbeitung können untersucht werden, zum Beispiel durch Anwendung von Clusteranalysen oder eine Klassifizierung der Daten auf Grundlage von medizinischen Empfehlungswerten. Die Datenverarbeitung sollte dabei in Zusammenarbeit mit weiteren wissenschaftlichen Feldern entwickelt werden. Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit können bedeutungsvolle Aussagen über die Daten getroffen werden, die Fragestellungen anderer Disziplinen wie Psychologie oder Medizin berücksichtigen.

Wie in dieser Arbeit festgestellt wurde, erstreckt sich Self-Tracking über verschiedene Lebensbereiche und es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, die eigenen Daten zu tracken. Um das System an diese Vielseitigkeit von Self-Tracking anzupassen, kann es also außerdem um andere Self-Tracking-Geräte erweitert werden, auch die Verwendung mehrerer Datenquellen pro Person ist denkbar.

Es wurde in dieser Arbeit noch nicht untersucht, inwiefern externe Gegebenheiten berücksichtigt werden müssen, um den emotionalen Zustand einer Person zu beschreiben. Um die Aussagen des Systems dementsprechend zu kontextualisieren können zusätzlich äußere Umstände wie die Wetterlage getrackt und in die Datenverarbeitung integriert werden.

Auch die Rolle der Individualisierung des Systems wurde nicht vertieft betrachtet: Es muss erörtert werden, ob das System individuelle Eigenschaften wie Alter und medizinische Vorgeschichte in die Datenverarbeitung einbeziehen sollte.

Ein wichtiger Teil der Forschung, der in dieser Arbeit noch nicht in Angriff genommen wurde, ist die Evaluation des Systems auf Anwendungsebene, also die Überprüfung, dass das System für Anwender\*innen nützlich ist.

Aufbauend auf dem Prototyp oder einer Erweiterung dessen sollten deshalb Studien zu den Reaktionen von Anwender\*innen auf regelmäßige Interaktion mit dem System durchgeführt werden. Wie sind die Reaktionen und was sind die Erkenntnisse, die Anwender\*innen aus der Interaktion ziehen? Ist es möglich, eine intime Beziehung zu dem System aufzubauen? Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Architektur lediglich funktional evaluiert, die Untersuchung der Wirkung des Systems steht also noch aus.

Eine andere mögliche Frage ist außerdem, inwiefern das System in unterschiedliche Umgebungen integrierbar ist. Denkbar ist ein Aufbau im Bürokontext wie auf dem Flur oder in den Toilettenräumen; aber auch im Wohnumfeld kann untersucht werden, ob das Badezimmer, Schlaf- oder Wohnzimmer am besten als Ort für die Interaktion mit dem System geeignet ist.

# Literaturverzeichnis

- Alioto, M. (2017). *Enabling the Internet of Things*. Springer, Cham.
- Amazon (2020). Amazon Halo. <https://www.amazon.com/Amazon-Halo-Fitness-And-Health-Band/dp/B07QKPCQKW?th=1>. Zugriffsdatum: 10.02.2021.
- Anderson, M. (2008). *The Book of the Mirror: An Interdisciplinary Collection Exploring the Cultural Story of the Mirror*, chapter 8: Early Modern Mirrors, pages 105–120. Cambridge Scholars Publishing.
- Berg, N. (2019). Ethical Reflections and on and Quantified Self and Devices and and their Effects and on Humans. Master’s thesis, HAW Hamburg.
- Biundo, S. and Wendemuth, A. (2017). *An Introduction to Companion-Technology*, chapter 1, pages 1–15. Springer International Publishing.
- Buxton, B. (1995). Integrating the Periphery and Context: A New Taxonomy of Tele-matics. In *Proceedings of Graphics Interface*.
- Choe, E. K., Lee, N. B., Lee, B., Pratt, W., and Kientz, J. A. (2014). Understanding quantified-selfers’ practices in collecting and exploring personal data. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’14, page 1143–1152, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Emmert, B. (2013). Sind wir bereit für den Big-Data-Lifestyle? Master’s thesis, Hochschule Mittweida.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., and Smyth, P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*, 17(3):37.
- Fishkin, K. P., Gujar, A., Harrison, B. L., Moran, T. P., and Want, R. (2000). Embodied User Interfaces for Really Direct Manipulation. *Communications of the ACM*, 43(9):74–80.

- Gimpel, H., Nißen, M., and Görlitz, R. (2013). Quantifying the Quantified Self: A Study on the Motivations of Patients to Track Their Own Health. In *International Conference on Information Systems (ICIS 2013): Reshaping Society Through Information Systems Design*, volume 4.
- Guggenheim (2015). On Kawara: I Met, 1968-79. <https://www.guggenheim.org/audio/track/on-kawara-i-met-1968-79>. Zugriffsdatum: 15.01.2021.
- Hamblen, M. (2018). Wearables and company wellness programs go hand-in-hand. <https://www.computerworld.com/article/2937333/wearables-and-company-wellness-programs-go-hand-in-hand.html>. Zugriffsdatum: 29.12.2020.
- Hill, B. (2002). Embodied Interaction. In *ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications*, SIGGRAPH '02, page 178, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Hollan, J., Hutchins, E., and Kirsh, D. (2000). Distributed Cognition: Toward a New Foundation for Human-Computer Interaction Research. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(2):174–196.
- Hulkes, R. (2008). *The Book of the Mirror: An Interdisciplinary Collection Exploring the Cultural Story of the Mirror*, chapter 3: The Philosophic Mirror in the Younger Seneca's *De Clementia*, pages 47–58. Cambridge Scholars Publishing.
- Ishii, H. (2008). Tangible bits: Beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, page xv–xxv, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Ishii, H., Lakatos, D., Bonanni, L., and Labrune, J.-B. (2012). Radical Atoms: Beyond Tangible Bits, toward Transformable Materials. *Interactions*, 19(1):38–51.
- Ishii, H. and Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '97, page 234–241, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Kamenz, A. (2014). Quantified Self Anspruch und Realität. Seminarabgabe.
- Klöß, D. S. (2020). Die Zukunft der Consumer Technology – 2020. Technical report, Bitkom e. V., Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.

- Li, I., Dey, A., and Forlizzi, J. (2010). A Stage-Based Model of Personal Informatics Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, page 557–566, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Lupton, D. (2013). Quantifying the Body: Monitoring and Measuring Health in the Age of mHealth Technologies. *Critical Public Health*, early view online.
- Lupton, D. (2014). Self-tracking Modes: Reflexive Self-Monitoring and Data Practices. *SSRN*.
- Lupton, D. (2016). *The Quantified Self*. Polity Press, 1st edition.
- Lupton, D. (2017). Feeling your data: Touch and making sense of personal digital data. *New Media & Society*, 19:1599–1614.
- Lüdemann, M. (2016). Data Mining auf Consumer Sensor Daten für Quantified Self. Bachelor's thesis, HAW Hamburg.
- Lüdemann, M. (2020). Quantified Self - eine and explorative Selbststudie. Master's thesis, HAW Hamburg.
- Meetup (2020). Quantified Self-Meetups. <https://www.meetup.com/de-DE/topics/quantified-self/all/>. Zugriffsdatum: 30.12.2020.
- Melchior-Bonnet, S. (2001). *The Mirror - A History*. Routledge.
- Motti, V. G. (2019). Assistive Wearables: Opportunities and Challenges. In *Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers*, UbiComp/ISWC '19 Adjunct, page 1040–1043, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Olson, P. and Tilley, A. (2014). The Quantified Other: Nest And Fitbit Chase A Lucrative Side Business. <https://www.forbes.com/sites/parmyolson/2014/04/17/the-quantified-other-nest-and-fitbit-chase-a-lucrative-side-business/?sh=34f6876b2c8a>. Zugriffsdatum: 29.12.2020.
- Pendergrast, M. (2008). *The Book of the Mirror: An Interdisciplinary Collection Exploring the Cultural Story of the Mirror*, chapter 1: Mirror mirror: A Historical and Psychological Overview, pages 1–14. Cambridge Scholars Publishing.

- Rajcic, N. and McCormack, J. (2020). Mirror Ritual: An Affective Interface for Emotional Self-Reflection.
- Samsung (2021). Family Hub Refrigerator. <https://www.samsung.com/us/explore/family-hub-refrigerator/>. Zugriffsdatum: 22.02.2021.
- Schraefel, M. (2014). Inbodied5 and Future Ghosts: sense-making for QS Wellbeing Support. In *CHI 2014: Beyond Quantified Self*.
- Spiel, K., Kayali, F., Horvath, L., Penkler, M., Harrer, S., Sicart, M., and Hammer, J. (2018). Fitter, Happier, More Productive? The Normative Ontology of Fitness Trackers. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '18, page 1–10, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- SplendidResearchGmbH (2019). Studie: Einstellung der Deutschen zum Thema Self-Tracking. <https://www.splendid-research.com/de/statistiken/item/studie-einstellung-deutsche-tracking.html>. Zugriffsdatum: 13.01.2021.
- Subramonyam, H. (2015). SIGCHI: Magic Mirror - Embodied Interactions for the Quantified Self. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, page 1699–1704, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Turkle, S. (2010). In good company?: On the threshold of robotic Companions. In Wilks, Y., editor, *Close Engagements with Artificial Companions: Key Social, Psychological, Ethical and Design Issues*.
- VDI (2018). Agentensysteme in der Automatisierungstechnik - Grundlagen.
- Vogt, R. (2011). Seamless Interaction - Natürliche Interaktionen in Smart Living Umgebungen. Master's thesis, HAW Hamburg.
- Weiser, M. (1993). Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. *Commun. ACM*, 36(7):75–84.
- Weiser, M. and Brown, J. S. (1997). *The Coming Age of Calm Technology*, page 75–85. Copernicus, USA.
- Wilks, Y. (2010). Introducing artificial Companions. In *Close Engagements with Artificial Companions*, pages 11–20. John Benjamins.

- Wolf, G. (2009). Know Thyself: Tracking Every Facet of Life, from Sleep to Mood to Pain, 24/7/365. Wired-Article. Zugriffdatum: 30.12.2020.
- Wolf, G. (2011). What is The Quantified Self? <https://quantifiedself.com/blog/what-is-the-quantified-self/>. Zugriffdatum: 30.12.2020.
- Wolf, G. I. and De Groot, M. (2020). A Conceptual Framework for Personal Science. *Frontiers in Computer Science*, 2:21.
- Xia, F., Yang, L. T., Wang, L., and Vinel, A. (2012). Internet of Things. *International Journal of Communication Systems*, 25(9):1101–1102.
- Xiaomi (2020). Mi Band 5. <https://www.mi.com/global/mi-smart-band-5/specs/>. Zugriffdatum: 10.02.2021.

# A Anhang

## A.1 Design des Spiegels

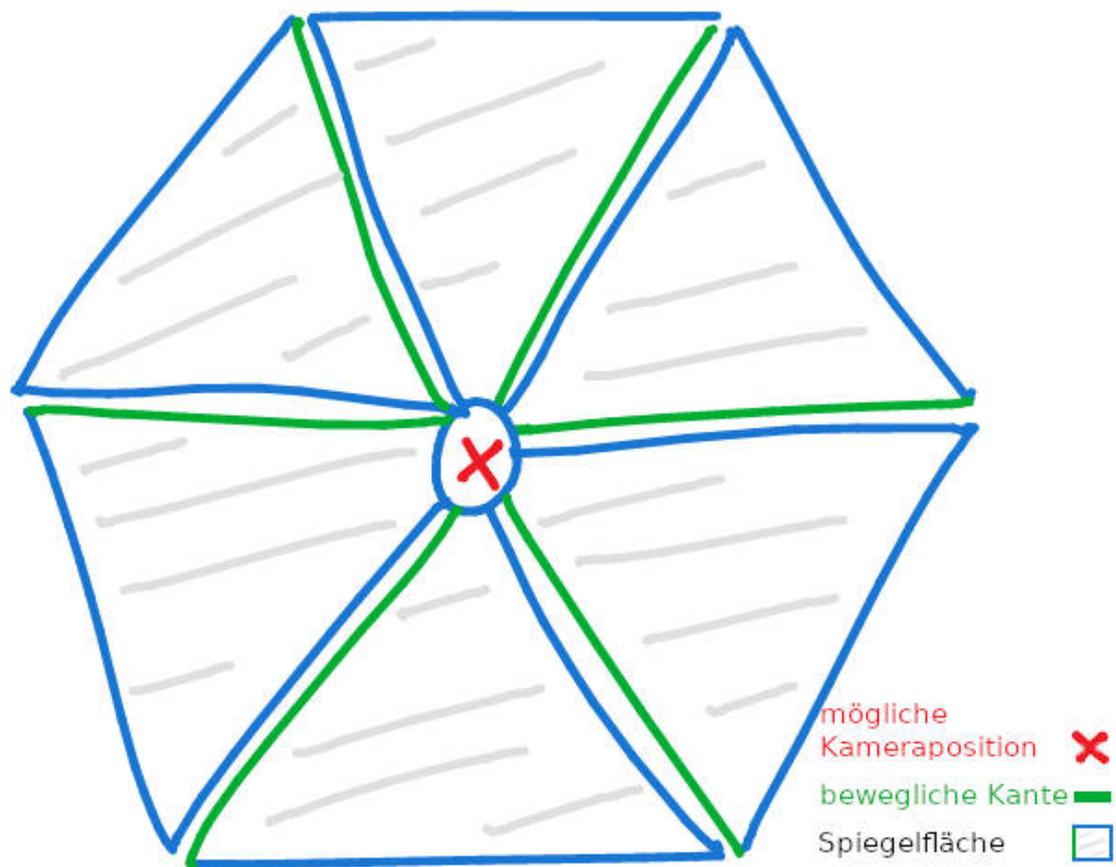


Abbildung A.1: Erste Idee für den Aufbau der Spiegeloberfläche

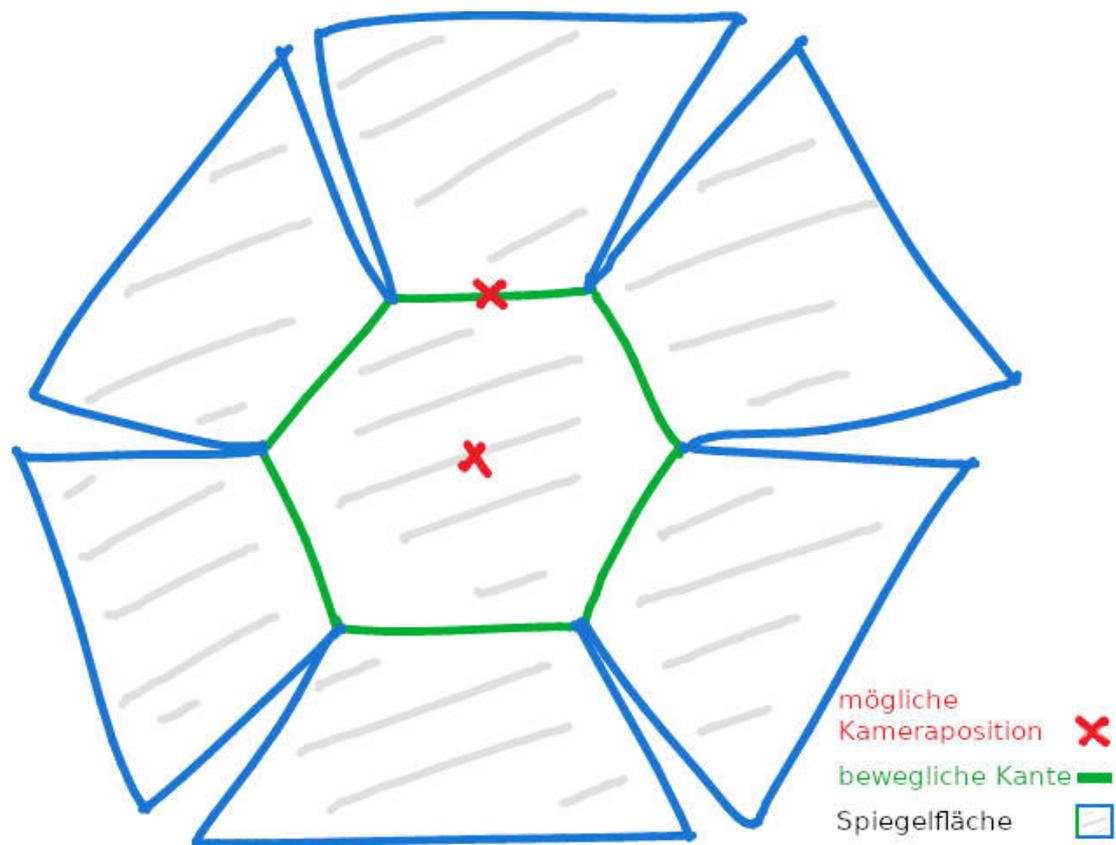


Abbildung A.2: Letztendlich umgesetzte Idee für den Aufbau der Spiegeloberfläche

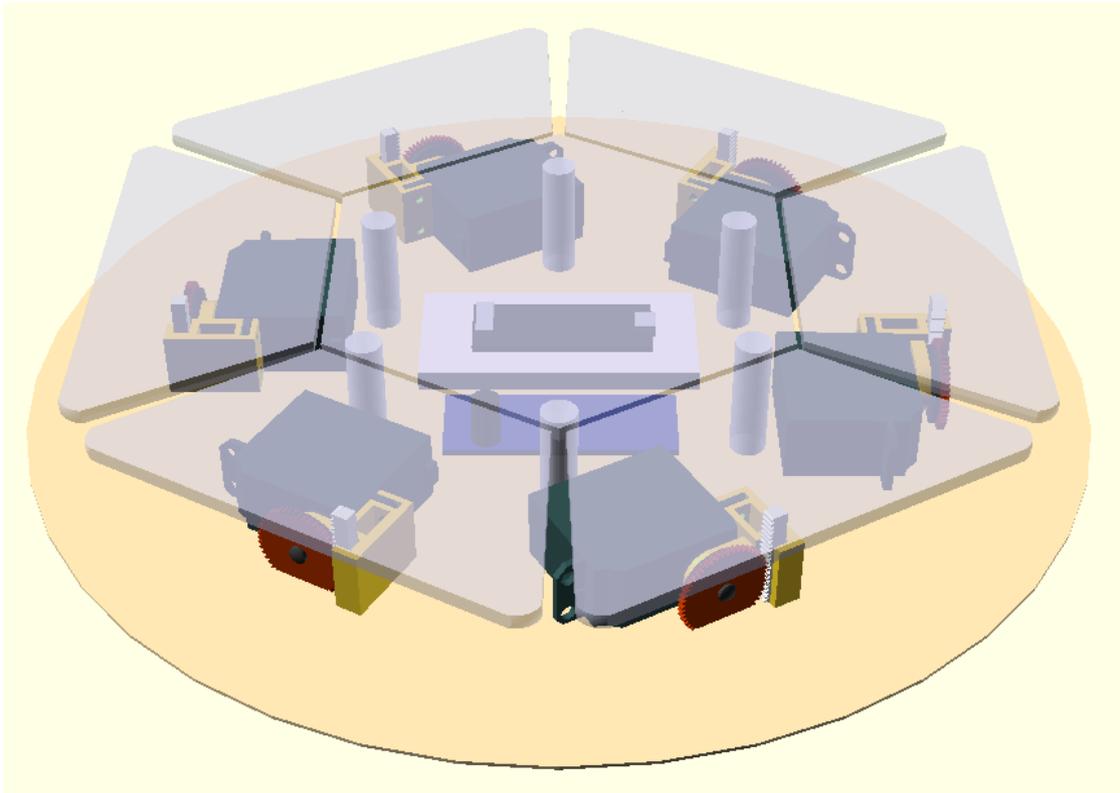


Abbildung A.3: 3D-Modell (OpenSCAD) des Aufbaus im Inneren des Spiegelobjekts

## A.2 Aufbau des physischen Objekts

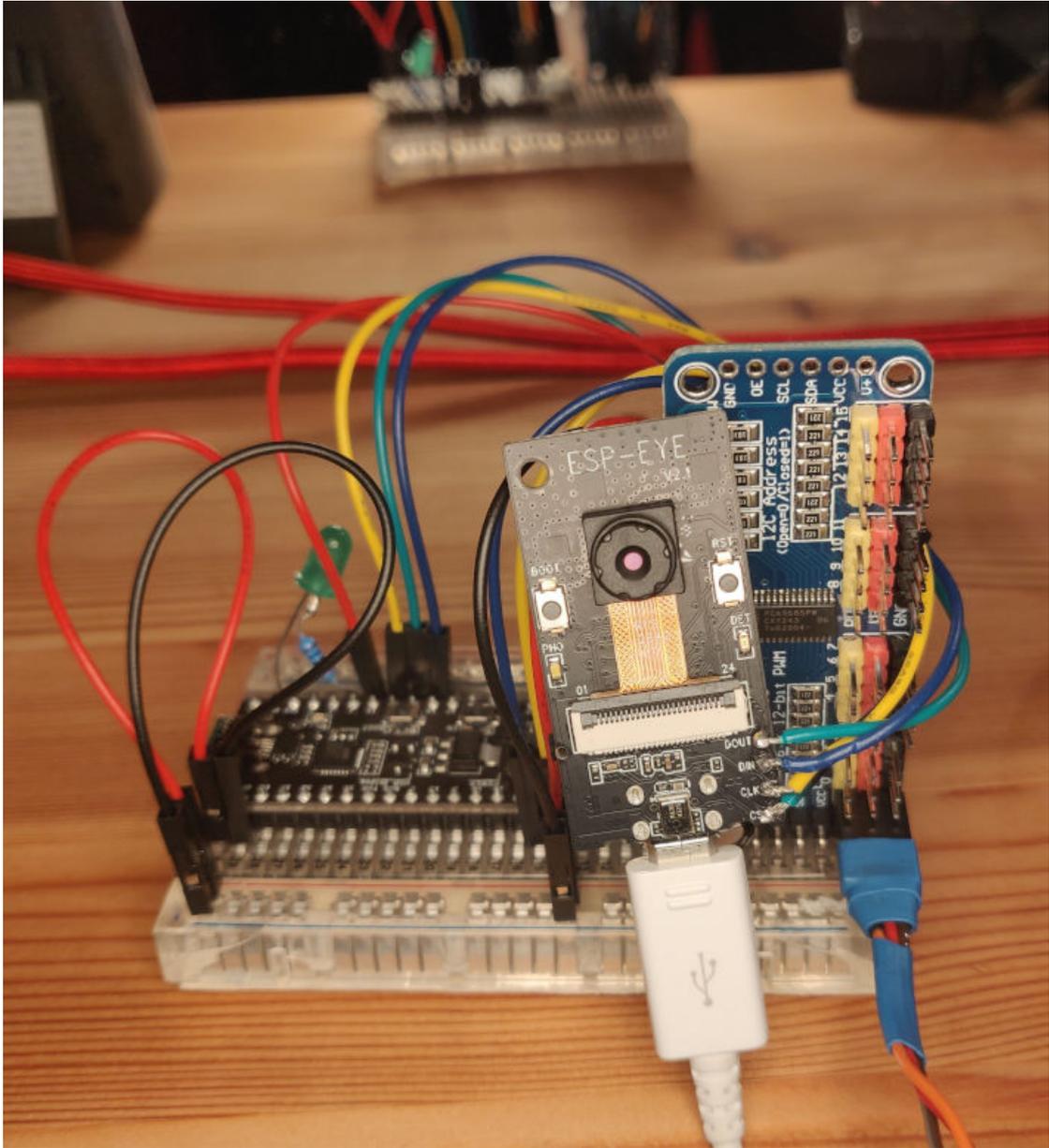


Abbildung A.4: Erster Aufbau von ESP32, ESP-EYE und PCA9685 auf Breadboard

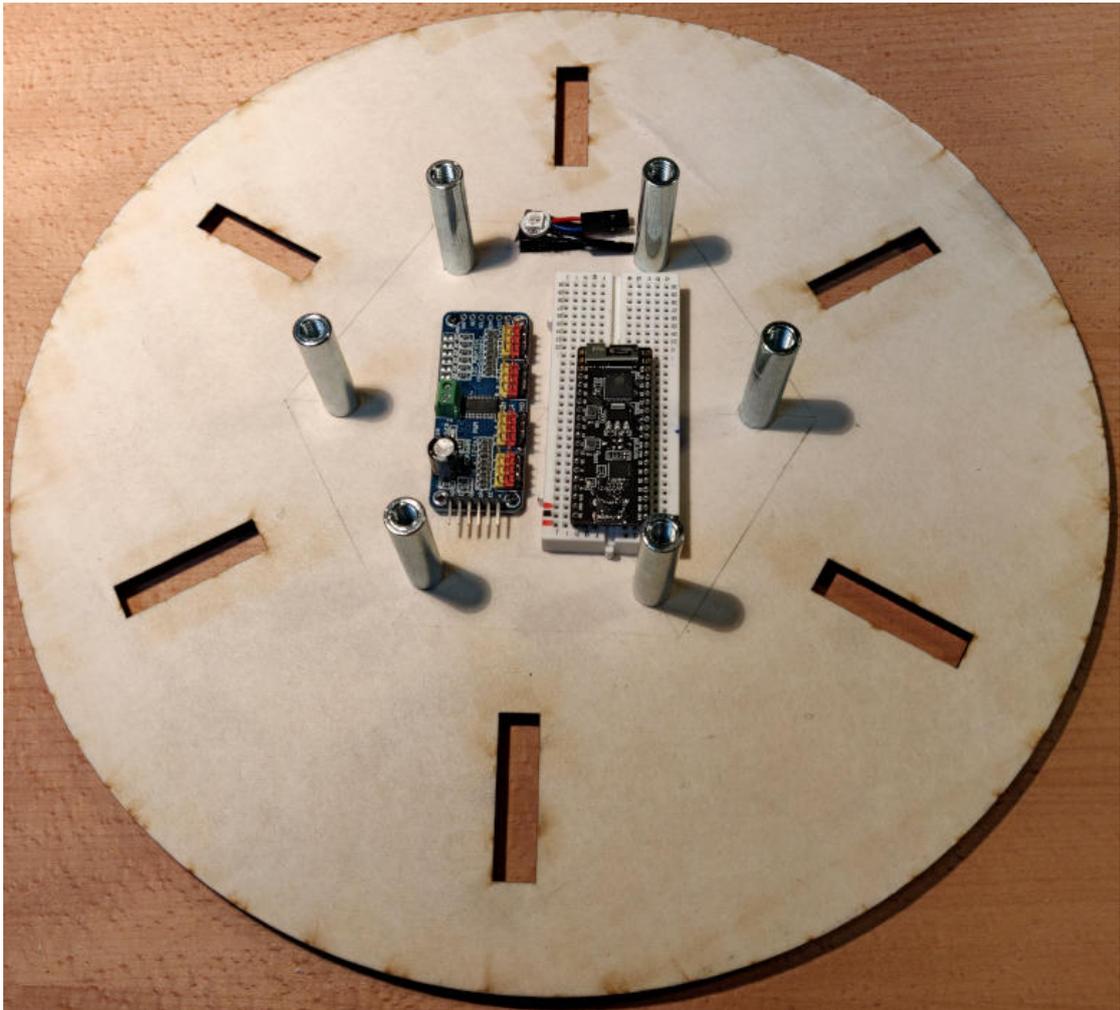


Abbildung A.5: Basisplatte mit Stelzen zur Befestigung der Spiegelemente

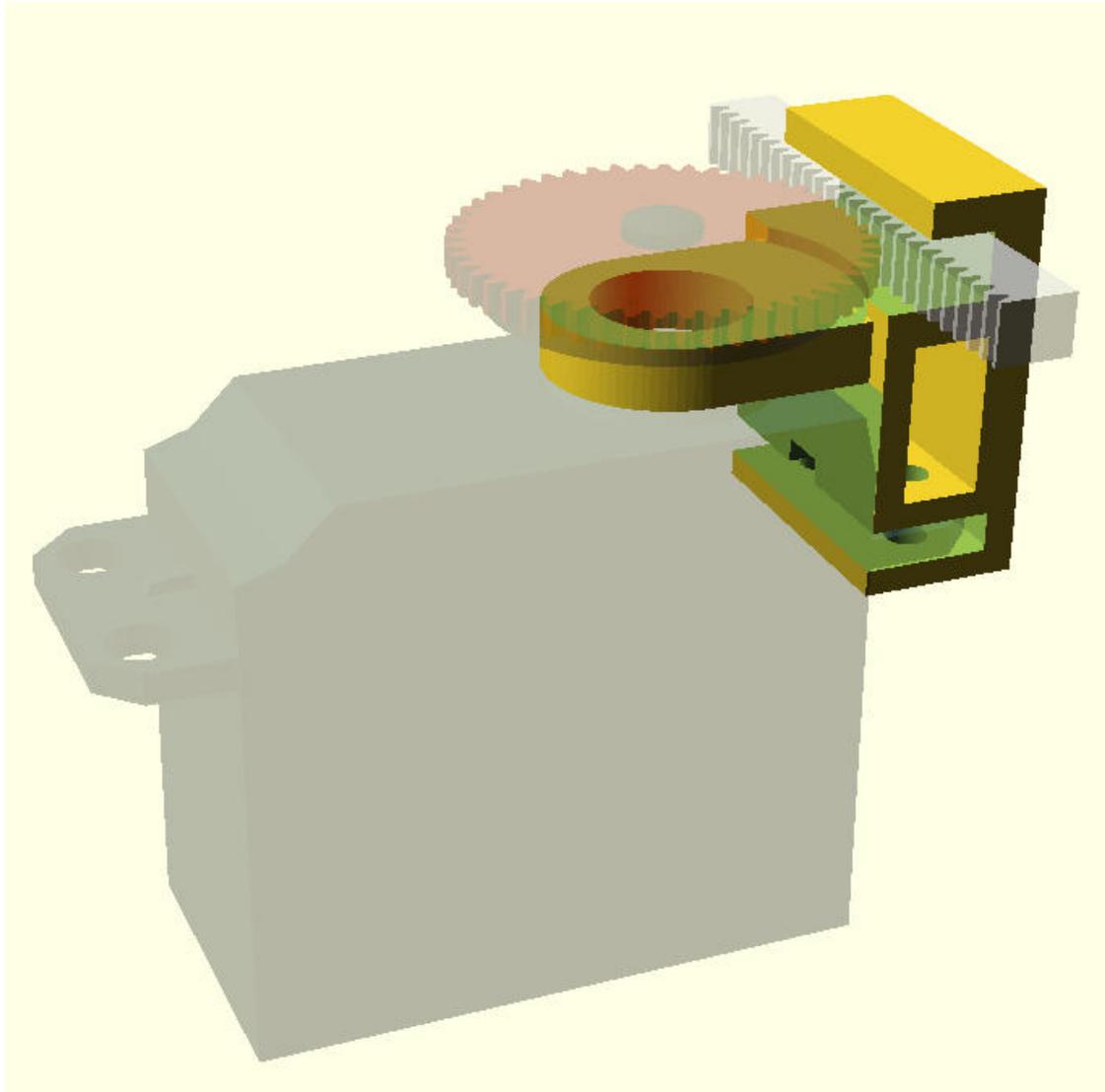


Abbildung A.6: 3D-Modell (OpenSCAD) der Zahnstangenhalterung (in Gelb) für den RS-2 Servomotor, RS-2 eingblendet zur Orientierung

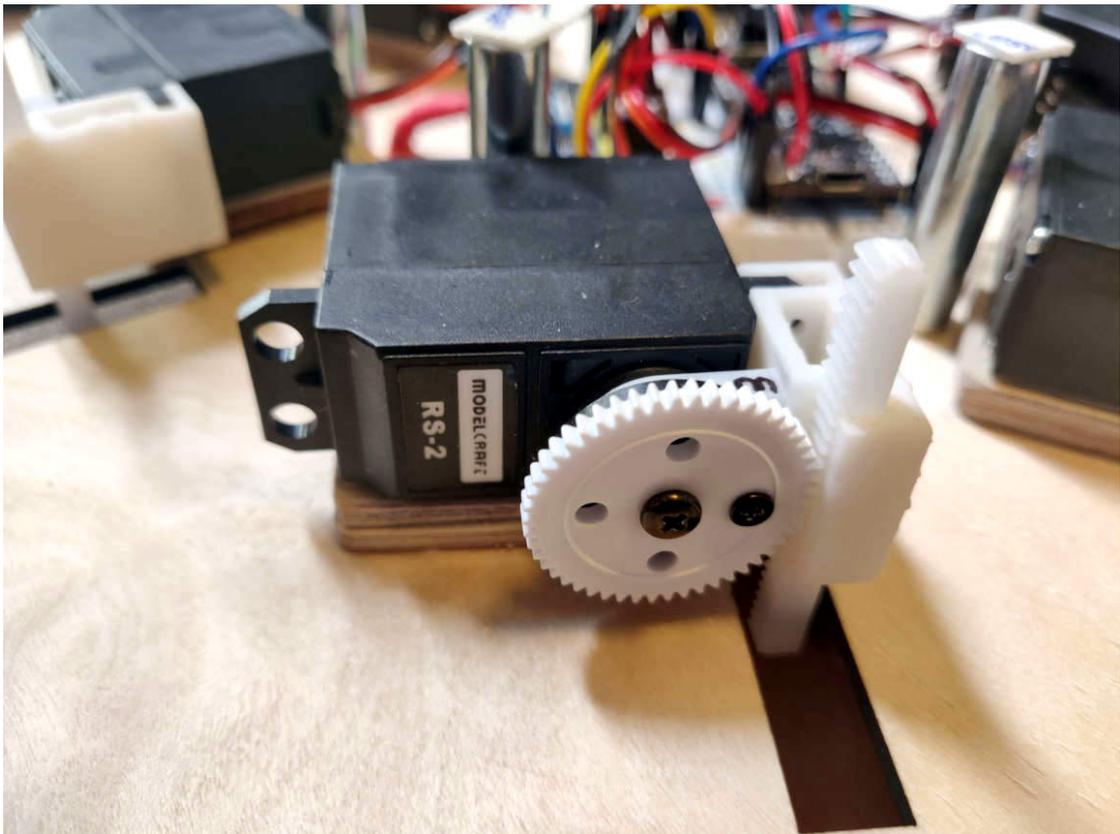


Abbildung A.7: Servomotor mit Zahnstangenhalterung, befestigt auf der Basisplatte

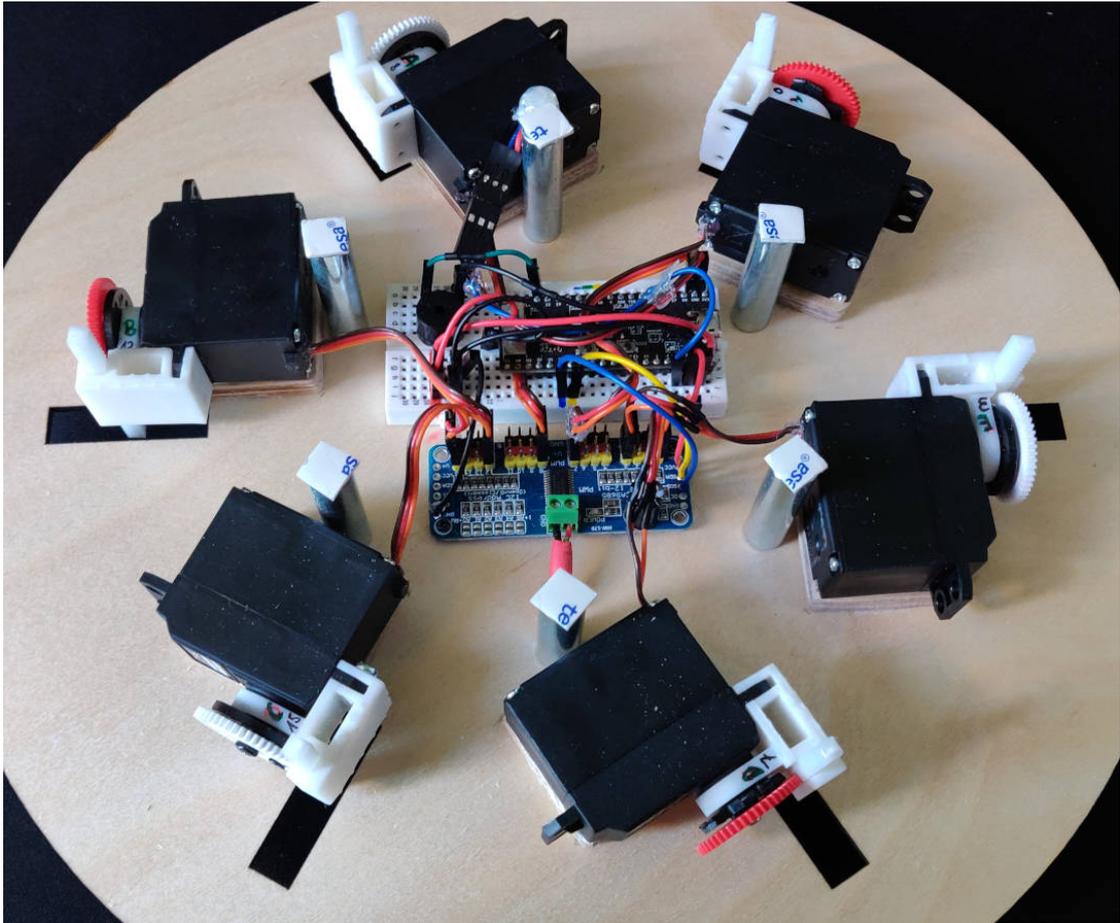


Abbildung A.8: Innenraum des Spiegels

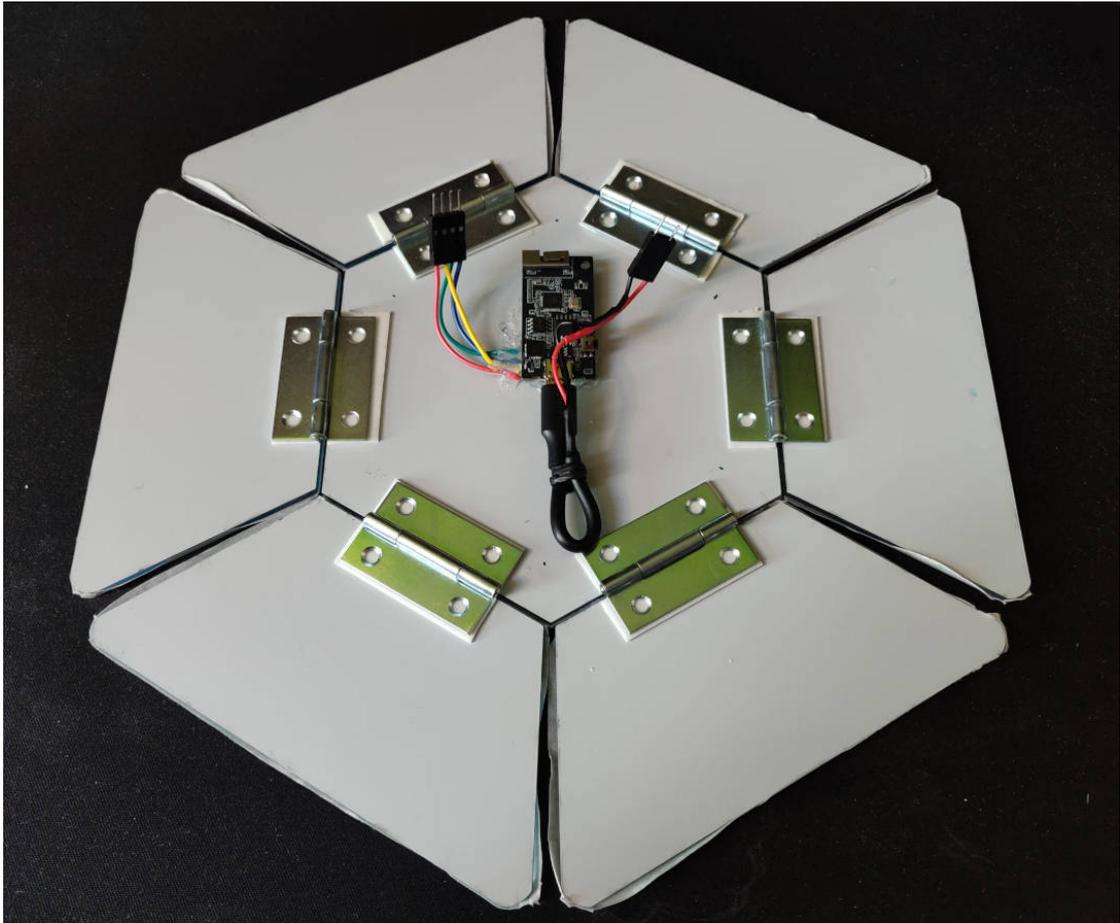


Abbildung A.9: Rückseite der Spiegeloberfläche mit daran befestigtem ESP-EYE



Abbildung A.10: Interaktion: Alle Außenelemente maximal nach vorne geneigt

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „— bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] — ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

*Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI*

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

### **Ein Embedded System basiertes Designobjekt als Quantified Self Companion**

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

\_\_\_\_\_  
Ort

\_\_\_\_\_  
Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift im Original