



Erfassung biometrischer Daten mithilfe von Smartphones zur Emotionsbestimmung

Torben Brenner und Lukas Seemann

28.11.2017 - 28.05.2018

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Listings	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	2
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Biometrie und Biometrische Merkmale	3
2.2 Emotionen	4
2.2.1 Definition	4
2.2.2 Wie lassen sich Emotionen messen?	4
2.2.3 Geneva Emotion Wheel	5
2.2.4 Rad der Emotionen nach Robert Plutnick	6
2.3 Umgang mit biometrischen Daten	8
2.3.1 Indiz	8
2.3.2 Kausalität	8
2.4 Emotionsindizes	9
2.4.1 Puls	9
2.4.2 Hautleitfähigkeit/Hautwiderstand	9
2.4.3 Mimik	11
2.4.4 Tippverhalten	12
2.4.5 Gangart	12
2.4.6 Stimme	12
2.5 Hardware zur Erfassung von biometrischen Daten	12
2.5.1 Smartphones	12
2.5.2 Sensoren	13
3 Konzept	16
3.1 Priorisierung der Erfassungsmöglichkeiten	16
3.2 Übertragung biometrischer Daten in Indikatorscores	16
3.3 Auswertung der Indikatorscores zur Emotionsbestimmung	17
3.3.1 Kausalitätsregeln	18
3.3.2 Entscheidungsalgorithmus	18
3.4 Ionic Framework	19
3.4.1 Aufbau und Einsatz des Frameworks	19
3.4.2 Gründe für die Verwendung	20
3.5 Architektur der mobilen Applikation	20
3.5.1 Backendlogik	20

3.5.2	Frontend	22
4	Umsetzung des Prototypen emoTrix	25
4.1	MockUps	25
4.2	Datenerfassung in Form von Emotionstests	25
4.2.1	GSR-Test	25
4.3	Auswertung der Testergebnisse	29
4.4	Benutzeroberfläche der App	29
5	Schluss	30
5.1	Anwendungsszenarien	30
5.2	Fazit	30
5.3	Ausblick	30
	Literaturverzeichnis	31
	Anhänge	35

Abkürzungsverzeichnis

DAG	Directed acyclic graph
EDA	Elektrodermale Aktivität
GHz	Gigahertz
GSR	Galvanic Skin Response

Abbildungsverzeichnis

1	Relationships between organismic subsystems and the functions and components of emotion - Klaus R. Scherer	5
2	Prototype version of the Geneva Emotion Wheel - Klaus R. Scherer . . .	6
3	Rad der Emotionen - Robert Plutchick	7
4	Fiktives Beispiel eines DAGs	8
5	Reaktion des Körpers auf Stress und Entspannung	10
6	Positionsmöglichkeiten der EDA-Messung	14
7	GSR-Sensor mit Finger-Elektroden	15
8	Ablauf der Erstellung von Indikatorscores	17
9	Ablauf der Ausführung von Kausalitätsregeln	18
10	Ionic Framework - Logo	19
11	Architektur der App	21
12	Geplantes Frontend der App	23
13	Arduino UNO R3 (links) und Grove Base Shield	25
14	HC-05-Bluetooth-Modul für Arduino	26

Tabellenverzeichnis

1	Priorisierung der Erfassungsmöglichkeiten	16
---	---	----

Listings

1	Quellcode des Arduinos	27
2	JS Code	28

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird zunächst die Motivation für die Studienarbeit beschrieben. Im Anschluss daran werden die Ziele der Arbeit definiert, um schließlich die Vorgehensweise zur Erreichung dieser Ziele aufzustellen.

1.1 Motivation

LUKAS SEEMANN

Smartphones sind aus dem Alltag vieler Menschen nicht mehr wegzudenken. Nach Prognosen der Statista GmbH nutzen im Jahr 2018 57 Millionen Menschen in Deutschland ein Smartphone.¹ Weltweit betrachtet vergrößert sich die Nutzerzahl für 2018 auf ungefähr 2,53 Milliarden Personen.² Hierbei muss der Unterschied zwischen Smartphones und normalen Mobiltelefonen, die als Hauptfunktionalität das Telefonieren besitzen, hervorgehoben werden. Die 2,53 Milliarden Smartphone-Nutzer machen circa 53,3% aller Mobiltelefonnutzer weltweit aus.³ Smartphones unterscheiden sich von Mobiltelefonen in der Anzahl der Funktionalitäten, die bei Smartphones die übliche Nutzung eines Telefons bei Weitem überschreiten. Um diese zusätzlichen Funktionalitäten bereitzustellen, werden in Smartphones heutzutage viele Arten von Sensoren eingebaut und verwendet, um Daten zu erfassen. Hierzu zählen beispielsweise

- GPS-Sensoren zur Positionsbestimmung,
- Touchscreens zur einfachen Bedienung des Smartphones,
- Beschleunigungssensoren zur automatischen Ausrichtung des Bildschirms,
- Fingerabdrucksensoren zur Authentifizierung des Nutzers und
- Helligkeitssensoren zur Anpassung der Bildschirmhelligkeit.⁴

Diese Auflistung ist nur ein kleiner Ausschnitt der Technologien, die in der heutigen Zeit verwendet werden. Ein Potenzial, das sich hieraus ergibt jedoch nicht sehr häufig genutzt wird, ist die Erfassung von biometrischen Daten mithilfe dieser Sensoren. Bei biometrischen Daten handelt es sich um menschliche Merkmale, die als Grundlage für verschiedene Arten von Analysen herangezogen werden können. In der Biometrie gängige Verfahren sind beispielsweise

- die Pulsmessung,
- die Gesichtserkennung und
- die Spracherkennung.

Die Studienarbeit betrachtet verschiedene Möglichkeiten mithilfe von Smartphone-Sensoren und eventuell zusätzlicher Hardware, biometrische Daten zu erfassen, diese zu analysieren und so dieses selten genutzte Potenzial auszuschöpfen.

¹Sta18a.

²Sta18c.

³Sta18b.

⁴Vgl. Bie14.

1.2 Zielsetzung

TORBEN BRENNER & LUKAS SEEMANN

Das Ziel dieser Studienarbeit ist es, Möglichkeiten zu erkunden, mit Smartphones biometrische Daten zu erfassen. Dabei werden in das Smartphone integrierte Sensoren, über zusätzliche Hardware angeschlossene Sensoren und die Interaktion des Nutzers mit seinem Smartphone betrachtet. Diese erfassten Daten werden anschließend für Analysen verwendet, die Rückschlüsse auf die Emotionen des Nutzers zulassen. Als finales Produkt soll eine mobile Anwendung für Smartphones entstehen, die den Nutzer verschiedene Tests anbietet, anhand denen die aktuelle Gemütslage beziehungsweise die Emotion des Nutzers bestimmt werden können.

1.3 Vorgehensweise

LUKAS SEEMANN

Um die definierten Ziele der Arbeit zu erreichen, unterteilt sich die Arbeit im Folgenden in vier weitere Kapitel.

Im nächsten Kapitel werden zunächst wichtige theoretischen Grundlagen behandelt, die für das Verständnis der Arbeit notwendig sind. Hierzu zählen Definitionen zu den Themen Biometrie, Emotion, Emotionserkennung und die Auswertung von biometrischen Daten. Außerdem werden technische Themen wie die Grundlagen zu Smartphones, Sensoren und mobilen Applikationen thematisiert.

Im dritten Kapitel wird das Konzept der mobilen Anwendung beschrieben. Nachdem festgelegt wurde, welche Art von Daten mithilfe des Smartphones erfasst werden sollen, wird geplant, wie die Daten erfasst werden. In diesem Schritt wird auch bestimmt, ob zusätzliche Hardware benötigt wird oder ob ein handelsübliches Smartphone ausreicht. Im Anschluss daran wird konzipiert, nach welchem Prinzip die erfassten Daten ausgewertet werden. Der letzte Schritt ist der Entwurf eines Entscheidungsalgorithmus, der aus den ausgewerteten Daten eine Emotion des Nutzers bestimmen kann.

Im vierten Kapitel steht die Umsetzung des Konzepts als mobile Applikation im Mittelpunkt. Als erstes wird hierbei die Architektur der App beschrieben. Anschließend werden die konkrete Umsetzung im Ionic-Framework thematisiert und somit im Detail auf den geschriebenen Quellcode eingegangen.

Im Schluss wird ein Fazit zum Ergebnis geliefert und weitere mögliche Schritte des Projekts dargestellt.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Biometrie und Biometrische Merkmale TORBEN BRENNER

Bei der Biometrie handelt es sich um die Wissenschaft, die sich mit der Vermessung von biologischen Merkmalen beschäftigt⁵. Dabei werden insbesondere in der Informationstechnologie Technologien zur Messung und Analyse von körperlichen Merkmalen untersucht. Diese Merkmale werden auch als biometrische Merkmale bezeichnet. Dabei wird unterschieden zwischen den verhaltensbasierten und den physiologischen Merkmalen⁶. Erstere zeichnen sich dadurch aus, dass eine Person aktiv eine Handlung ausführen muss um das Merkmal zu zeigen, während dem die physiologischen Merkmale dauerhaft von einer Person getragen werden. Ein Beispiel für verhaltensbasierte Merkmale ist die Gangart eines Menschen, die sogar zur Authentifizierung verwendet werden kann⁷. Ein bekanntes physiologisches Merkmal ist der Fingerabdruck einer Person.

Ein häufiger Einsatzzweck der Biometrie ist die Authentifizierung eines Nutzers gegenüber einem System. Da sich nicht alle Merkmale für eine solche Identifikation eignen, müssen verschiedene Faktoren bei der Auswahl der Merkmale betrachtet werden. [Akj04] nennt zum Beispiel folgende Faktoren:

- **Universalität:** Jeder Mensch sollte dieses Merkmal besitzen.
- **Unterscheidbarkeit:** Das Merkmal soll sich so stark wie möglich zwischen zwei Personen unterscheiden.
- **Permanenz:** Das Merkmal sollte sich über die Zeit betrachtet nicht oder nur in geringem Maße ändern.
- **Erfassbarkeit:** Das Merkmal sollte möglichst einfach dauerhaft erfasst werden können.
- **Performanz:** Beschäftigt sich mit der Frage mit welchem Zeitaufwand und mit welcher Geschwindigkeit ein Merkmal gemessen werden kann.
- **Akzeptanz:** Beschäftigt sich mit der Frage in wie weit Nutzer mit der Messung eines Merkmals einverstanden sind.
- **Umgehbarkeit:** Beschäftigt sich mit der Frage, in wie weit ein Nutzer dem System vortäuschen kann das er ein anderer Nutzer ist.

Die ersten vier Faktoren beschäftigen sich im Allgemeinen mit der Eignung eines Merkmals für die Authentifizierung, während sich die letzten Faktoren mit der Eignung eines

⁵Vgl. Sea18.

⁶Vgl. Sam06.

⁷Vgl. Cla09.

Biometrischen Systems für eine Aufgabe beschäftigen. Da sich unsere Fragestellung aber nicht auf die Authentifizierung eines Nutzers gegenüber eines Informationstechnischen Systems bezieht, sondern sich mit der Auswertung der erfassten Daten für die Erkennung von Emotionen beschäftigt, ist der Faktor der *Unterscheidbarkeit* zu vernachlässigen. Die restlichen Faktoren werden aber später für die einzelnen biometrischen Merkmale untersucht wobei sich die Faktoren *Performanz*, *Akzeptanz* und *Umgehbarkeit* auf die Messung mit Smartphones beziehen.

2.2 Emotionen

2.2.1 Definition

TORBEN BRENNER

Da wir uns in dieser Arbeit mit der Erkennung von Emotionen beschäftigen, ist es notwendig, dass wir den Begriff der Emotion definieren. Das Problem an dem Begriff der Emotion ist, dass diese ein Hypothetisches Konstrukt ist, welches sich aus der physiologischen Erregung, dem motorischen Ausdruck, Handlungstendenzen und einem subjektiven Gefühl zusammensetzt ⁽⁸⁾.

Als Beispiel nennt Klaus Scherer hier das plötzliche Auftreten eines Mannes mit einem Blut verschmierten Messer beim Sonntagsspaziergang. Er beschreibt daraufhin welche Aspekte in diesem Szenario eine Rolle spielen. So kann zum einen eine physiologische Reaktion gemessen werden, in Form eines erhöhten Herzschlages. Außerdem wird eine motorische Reaktion stattfinden, z.Bsp. weit aufgerissener Mund und Augen. Die Handlungstendenz wäre in seinem Beispiel der plötzliche Drang wegzulaufen und bei der späteren Befragung zu dieser Situation könnte eine Person sagen, dass sie Furcht gefühlt hat.

[Kla05] definiert eine Emotion im Zusammenhang mit dem *component process model* als “eine Abfolge von zusammenhängenden, synchronisierten Veränderungen der Zustände von allen oder den meisten der fünf Subsysteme des Organismus als Reaktion auf die Verarbeitung eines externen oder internen Stimulus Ereignis das relevant für den Organismus ist”⁹. In einer Tabelle zeigt Scherer die Verbindung zwischen den Organischen Subsystemen und den Komponenten und Funktionen einer Emotion. Anhand dieser Tabelle lässt sich eine Unterscheidung zwischen dem Begriff Gefühl und Emotion durchführen. Der Unterschied ist das ein Gefühl eine einzelne Komponente der Emotion ist, welche erst in Verbindung mit anderen Emotionskomponenten zu einer Emotion führt.

2.2.2 Wie lassen sich Emotionen messen?

TORBEN BRENNER

Nach dem nun geklärt ist wie eine Emotion aufgebaut ist, müssen wir uns die Frage stellen, wie es möglich ist eine Emotion zu messen. Der naheliegendste Ansatz ist zu

⁸Vgl. Kla02, S.166 Abschnitt Emotion.

⁹Übersetzt aus Kla05, S.697 Z.32ff.

¹¹Vgl. Kla05, S.698 Table 1.

TABLE 1
Relationships between organismic subsystems and the functions and components of emotion

Emotion function	Organismic subsystem and major substrata	Emotion component
Evaluation of objects and events	Information processing (CNS)	Cognitive component (appraisal)
System regulation	Support (CNS, NES, ANS)	Neurophysiological component (bodily symptoms)
Preparation and direction of action	Executive (CNS)	Motivational component (action tendencies)
Communication of reaction and behavioral intention	Action (SNS)	Motor expression component (facial and vocal expression)
Monitoring of internal state and organism–environment interaction	Monitor (CNS)	Subjective feeling component (emotional experience)

Note: CNS = central nervous system; NES = neuro-endocrine system; ANS = autonomic nervous system; SNS = somatic nervous system.

Abbildung 1: Relationships between organismic subsystems and the functions and components of emotion - Klaus R. Scherer¹¹

versuchen, die einzelnen Emotionskomponenten messbar zu machen. Das dies nicht so einfach umzusetzen ist, zeigt die Betrachtung der kognitiven Emotionskomponente. Diese steht im direkten Zusammenhang mit dem zentralen Nervensystem (siehe 2.2.1 S.5). Eine Messung der Veränderungen in diesem System ist äußerst kompliziert und insbesondere in unserem Anwendungsfall nicht möglich. Daher muss ein anderer Ansatz untersucht werden Emotionen zu messen.

2.2.3 Geneva Emotion Wheel

TORBEN BRENNER

Das *Geneva Emotion Wheel* baut auf dem Ansatz auf, die Emotionen anhand verschiedener Dimensionen zu bestimmen. In einem Prototyp für das *Geneva Emotion Wheel* (zu sehen in 2.2.3 S.6) werden die beiden Dimensionen *arousal* und *valence* betrachtet. Die

¹²Vgl. Kla05, S.723 Figure 2.



Abbildung 2: Prototype version of the Geneva Emotion Wheel - Klaus R. Scherer¹²

erste Dimension bezeichnet wie stark die Erregung eines Individuums ausgeprägt ist in einer Situation. Die zweite Dimension gibt an wie Unwohl sich ein Individuum in einer Situation fühlt. Beide Dimensionen haben gemeinsam, dass sie durch die Befragung eines Individuums ermittelt werden müssen.

2.2.4 Rad der Emotionen nach Robert Plutchick

TORBEN BRENNER

Nach dem nun geklärt ist was unter einer Emotion verstanden wird, stellt sich die Frage wie man diese erkennen kann. Das Problem hierbei ist, dass es eine große Anzahl an Emotionen gibt, laut Hokuma¹³ sind es 34.000 unterschiedliche Emotionen. Diese verschiedenen Emotionen lassen sich nur schwer erfassen und unterscheiden, weshalb ein Weg gefunden werden muss die Emotionen einzuteilen. Diese Einteilung wurde bereits von Robert Plutchick vorgenommen und herausgekommen sind dabei acht primäre Emotionen: Freude, Traurigkeit, Akzeptanz, Ekel, Angst, Wut, Überraschung und Erwartung.

¹³Vgl. Hok17, Absch. 1.

Mit diesen acht Emotionen hat Plutchick das Rad der Emotionen gebildet(siehe Abbildung).



Abbildung 3: Rad der Emotionen - Robert Plutchick¹⁴

Das Rad stellt die primären Emotionen dabei in Relation, wobei die Kombinationen zwischen zwei Emotionen im Raum zwischen diesen steht und Emotionen die gegensätzlich wirken, z. Bsp. Traurigkeit und Freude, jeweils auch gegenüberliegend auf dem Rad sind. Außerdem wird die Stärke einer Emotion durch deren Nähe zum Zentrum des Rads gekennzeichnet, z. Bsp. Wut zu toben¹⁵.

¹⁴Vgl. Hok17.

¹⁵Vgl. Hok17, Absch. Elements of the Wheel.

2.3 Umgang mit biometrischen Daten

TORBEN BRENNER

Eine Problematik, mit der wir uns in dieser Arbeit beschäftigen müssen, ist der Umstand das biometrische Daten nicht immer einen direkten Schluss auf einen Emotion zulassen. So lässt ein hochfrequenter Puls keinen direkten Schluss auf die Emotion zu, die ein Individuum gerade empfindet. Er kann maximal ein Indiz für verschiedene Emotionen sein, z. Bsp. Wut oder Angst. Um mit diesem Umstand umzugehen benötigen wir zwei neue Begriffe die im folgenden genauer erläutert werden.

2.3.1 Indiz

Ein Indiz ist im allgemeinen Sprachgebrauch ein Anzeichen für einen Umstand, an dem sich ein Zustand oder eine Entwicklung absehen lässt¹⁶. In unserer Arbeit, sehen wir Daten die wir von den Sensoren bekommen, als Indizien an. Ein Indiz macht es wahrscheinlicher bzw. unwahrscheinlicher das ein Individuum eine bestimmte Emotion verspürt.

2.3.2 Kausalität

Als Kausalität wird im allgemeinen der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung verstanden. In der Physik ist die Kausalität ein grundlegendes Prinzip, welches besagt, “daß in der Natur nichts ohne Grund passiert, d.h. zu jedem Ereignis (Wirkung) ein anderes (Ursache) existiert, das a) in seiner Vergangenheit liegt und b) zwingende Voraussetzung für das Eintreten der Wirkung ist”¹⁷.

In dieser Arbeit werden wir ebenfalls versuchen, kausale Zusammenhänge zwischen Reaktionen des Körpers und den gerade empfundenen Emotionen zu ermitteln. Ein Werkzeug um kausale Zusammenhänge darzustellen ist in der Literatur der Kausale Graph (im englischen *directed acyclic graph*).¹⁹ Die Grafik zeigt ein fiktives Beispiel für einen kausalen



Abbildung 4: Fiktives Beispiel eines DAGs¹⁸

¹⁶Vgl. Dud18.

¹⁷Sav18.

Graphen. In diesem Beispiel von Thoemmes wird dargestellt das Bindungsstil, Geschlecht, Stressoren und Gene Einfluss auf Depressionen haben. Wichtig ist, dass alle Annahmen die in einem solchen Graph gemacht werden theoretisch begründet werden müssen. Ist dies nicht der Fall, dürfen sie kritisiert und infrage gestellt werden²⁰.

2.4 Emotionsindizien

2.4.1 Puls

TORBEN BRENNER

In diesem Abschnitt beschäftigen wir uns mit dem Puls als ein Indiz für verschiedene Emotionen. Hierbei wird der als der biologische Puls gesehen, das heißt “die in Abhängigkeit vom Herzrhythmus (Herzmechanik) erfolgende Schwankung von Blutstrom, Blutdruck oder Blutvolumen im Blutkreislaufsystem (Blutgefäßsystem, Blutkreislauf)”²¹. Neben dieser Definition wird im Lexikon der Biologie auch folgende Definition genannt: “die vom Herzschlag bewirkte, rhythmisch auftretende Druckwelle (Pulsschlag) in den Arterien”²², welche den Puls als arteriellen Puls definiert.

Es gibt mehrere Möglichkeiten den Puls zu messen. Die häufigste Methode, welche auch in Erste-Hilfe-Kursen gelehrt wird, ist die Messung des Pulses an der Arterie. Das Grundprinzip ist dabei, dass die vom Herzschlag verursachte Druckwelle an der Arterie für Menschen spürbar ist und somit dort mitgezählt werden kann.

Der Puls ist in der Biometrie als ein physiologisches Merkmal zu sehen. Eine Person muss keine speziellen Handlungen durchführen um einen Puls zu haben. Der Aspekt der *Universalität* ist bei diesem Merkmal gegeben, da jeder Mensch einen Puls besitzt. Eine Erfassung des Pulses ist quasi jeder Zeit möglich, zumindest für Menschen. Ein Smartphone bietet aber auch mehrere Möglichkeiten den Puls zu messen, die später in dem Abschnitt “Erfassung der biometrischen Daten” weiter erläutert werden. Der Aspekt der Permanenz ist nicht vollständig gegeben. Der Puls bewegt sich zwar standardmäßig in einem bestimmten Wertebereich, ist aber abhängig von Alter und körperlicher Verfassung einer Person.

Als Emotionsindiz kann der Puls unterstützend wirken, da dieser eine physiologische Auswirkung von verschiedenen Emotionen sein kann. Dennoch ist er kein alleiniges Merkmal für eine bestimmte Emotion, da sowohl Freude als auch Angst einen erhöhten Puls zur Folge haben können.

2.4.2 Hautleitfähigkeit/Hautwiderstand

LUKAS SEEMANN

Die menschliche Haut verfügt über „*aktive als auch passive elektrische Eigenschaften, die sich auf Strukturen und Funktionen der Haut und der in ihr enthaltenen Organe*“

¹⁹Vgl. Tho11, Kausale Graphen - DAGs.

²⁰Vgl. Tho11, S.3 Kausale Graphen - DAGs.

²¹Spe18.

²²Spe18.

zurückführen lässt.“²³ Diese elektrischen Phänomene der Haut sind in wissenschaftlichen Kreisen unter dem Sammelbegriff elektrodermale Aktivität (kurz EDA) bekannt.²⁴ Eine elektrodermale Aktivität, die sich sehr gut als Indikator für Emotionen eignet, ist die Hautleitfähigkeit. Hierzu wird mit einer externen Stromquelle mit geringer Spannung gemessen, wie gut die Haut eines Probanden diesen Strom leitet.²⁵ Häufig wird anstand der Hautleitfähigkeit auch der Hautwiderstand gemessen. Diese beiden Indizien stehen in einer negativ proportionalen Beziehung. Dies bedeutet, je höher der Widerstand der Haut ist, desto niedriger ist die Leitfähigkeit und umgekehrt. Letzten Endes sagen beide Indizien dasselbe aus, unterscheiden sich aber in der Betrachtungsrichtung.²⁶

Die Hautleitfähigkeit wird anhand der Menge von Schweiß an den Ausgängen der Schweißdrüsen bestimmt, die sich über den gesamten Körper verteilen. Je mehr Schweiß, der elektrisch sehr gut leitend ist, sich auf der Haut befindet, umso größer ist die Hautleitfähigkeit. Am besten eignen sich Stellen, an denen die Schweißdrüsen sehr dicht angeordnet sind und die somit sehr schweißsensibel sind. Dies ist zum Beispiel an den Handinnenflächen beziehungsweise Fingerinnenseiten der Fall, die sich deshalb sehr gut für solche Messungen eignen.²⁷

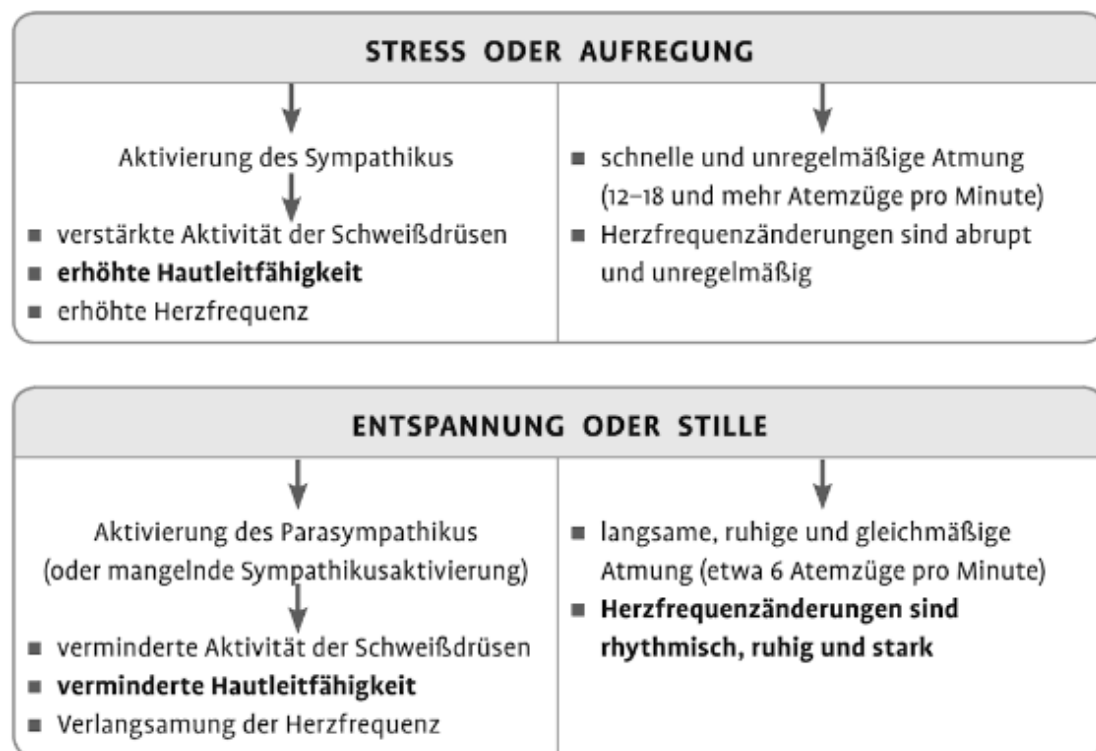


Abbildung 5: Reaktion des Körpers auf Stress und Entspannung²⁸

²³Bou88, S. 2.

²⁴Vgl. Bou88, S. 2.

²⁵Vgl. Moe07, S.77.

²⁶Vgl. Die06, S. 28.

²⁷Vgl. Moe07, S.77.

²⁸Dil13, S. 200.

„Die Aktiviation beschreibt das Ausmaß der physiologischen Aktiviertheit oder Wachheit eines Menschen“²⁹. Unter Aktivitation versteht man bei Menschen generell jede Art von emotionaler Erregung. Hierzu zählen unter anderem Wut, Aufregung, Schreckmomente oder auch extreme Freude. In Abbildung 3 ist die Reaktion des Körpers auf Stress (darausfolgend auch Aktivation) und auf Entspannung dargestellt. Die Schweißproduktion wird über das unwillkürliche Nervensystem gesteuert. Dieses besteht aus Sympathikus der für die Bereitstellung von Energie und Arbeitsleistung zuständig ist, und dem Parasympathikus, der zur Erholung und Wiederherstellung von Körperfunktionen dient.³⁰ Bei Stress oder Aufregung wird der Sympathikus aktiviert, was eine verstärkte Schweißproduktion und somit auch eine erhöhte Hautleitfähigkeit hervorruft. Außerdem wird die Herz- und Atemfrequenz erhöht und der Rhythmus dieser ist unregelmäßig. Die Reaktion auf ein Ereignis, das emotionale Erregung hervorruft, lässt sich meistens innerhalb von einer bis vier Sekunden anhand der Änderung der Hautleitfähigkeit feststellen.³¹ Bei Entspannung hingegen wird der Parasympathikus aktiviert, was zu einer verminderten Aktivität der Schweißdrüsen führt. Die Hautleitfähigkeit sinkt somit auch. Des Weiteren werden Herz- und Atem verlangsamt und gelangen wieder in einen normalen Rhythmus.

Der Vorteil der Messung der Hautleitfähigkeit ist, dass diese unwillkürlich gesteuert wird und somit keine willentliche Mitarbeit des Probanden erfordert. Da die Aktivierung des Sympathikus automatisch geschieht, kann der Proband die Messung nicht verfälschen. Ein Nachteil des Verfahrens ist, dass die Hautleitfähigkeit nur Rückschlüsse auf den Grad der Aktivierung schließen lässt, jedoch nicht gesagt werden kann, ob es sich um positive oder negative Reaktionen handelt. Die Wut über ein Ereignis würde zum selben Ergebnis führen, wie die übermäßige Freude über ein Ereignis. Aus diesem Grund müssen zur genauen Emotionsbestimmung weitere Indizien herangezogen werden.³²

2.4.3 Mimik

TORBEN BRENNER

Der Begriff Mimik bezeichnet Bewegungen der Gesichtsmuskulatur mit dem Ziel, eine Emotion auszudrücken. Das nicht jede Gesichtsregung automatisch auch als Mimik gewertet werden kann sieht man beispielsweise beim Kauen³³.

Der Vorteil der Mimik als Emotionsindiz ist, dass sie als eines der wenigen Indizien für direkte Aussagen zu den Emotionen gewählt werden kann. So ist es dem Menschen zum Beispiel möglich, alleine durch Beobachtung einer anderen Person Vermutungen anzustellen, welche Emotionen diese gerade empfindet³⁴. Eine Untersuchung die diese Aussa-

²⁹Die06, S. 28.

³⁰Vgl. Lie14, S. 5.

³¹Vgl. Sch14, S. 130f.

³²Vgl. Moe07, S.77.

³³Vgl. Kar16, Mimik: Eine kurze Definition.

³⁴Vgl. Kar16, Die sieben Grundemotionen, Absatz 1.

ge zusätzlich unterstützt ist der FEEL-Test³⁵. FEEL steht für Facial Expressed Emotion Labeling und ist ein Computerprogramm das auf den Arbeiten von Ekman³⁶ aufbaut. Bei dem Test werden den Probanden Bilder gezeigt die jeweils eine von sechs Basisemotionen widerspiegeln. Der Proband soll daraufhin versuchen die Emotionen zu erkennen wobei im Ergebnis die Richtigkeit der Antwort und die Antwortzeit betrachtet werden. Ziel des Tests war es “objektiv und reliabel die Fähigkeit eines Probanden erfassen, sechs gemischt kodierte Basisemotionen zu erkennen (Freude, Trauer, Ekel, Angst, Überraschung und Ärger)”³⁷. In einer Pilotstudie mit 77 Teilnehmern konnten die Probanden unterschiedlich gut die verschiedenen Emotionen erkennen: “(Trauer 70%, Angst 71%, Ekel 80%, Überraschung 84%, Freude 87% und Ärger 94%)”³⁸.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Menschen aus der Mimik einen Schluss auf eine Emotion ziehen können. Im Verlauf der Arbeit werden wir untersuchen, ob es Möglichkeiten gibt, mit der Smartphonekamera ebenfalls ein solches Ergebnis erzielen können oder dieses sogar übertreffen können.

2.4.4 Tippverhalten

TORBEN BRENNER

Besitzer eines Smartphones verwenden dieses für die verschiedensten Lebensaufgaben. Neben der Hauptaufgabe, dem telefonieren, wird das Smartphone sowohl zum Nachrichten schreiben als auch für das Bilder machen verwendet. Dabei lassen sich theoretisch Daten wie die Tippgeschwindigkeit erfassen, oder aber auch mit Einwilligung des Nutzers der Text versendeter Nachrichten analysieren.

2.4.5 Gangart

2.4.6 Stimme

TORBEN BRENNER

Es lässt sich insbesondere die Erregung in der Stimme erkennen – lässt sich gut zur Unterstützung verwenden

2.5 Hardware zur Erfassung von biometrischen Daten

2.5.1 Smartphones

TORBEN BRENNER

Auch wenn der Begriff des Smartphones heutzutage häufig Synonym zu dem des Mobiltelefons verwendet wird, beschreiben die beiden Begriffe dennoch unterschiedliche Gerätearten. Smartphones sind im allgemeinen eine Weiterentwicklung des herkömmlichen Mobiltelefons. Neben der Standardfunktion des mobilen Telefonierens und der Unterstützung des

³⁵Kes02.

³⁶Ekman92.

³⁷siehe. Kes02, S.5 Z.11ff.

³⁸siehe. Kes02, S.9 Z.9f.

Short Message Service (kurz SMS), bieten Smartphones mittlerweile viele weitere Funktionen wie z. Bsp. GPS oder Internetzugriff³⁹.

Dieser erhöhte Umfang an Funktionen ermöglicht es Entwicklern Anwendungen für viele verschiedenen Anwendungsfälle bereitzustellen und somit den Nutzer deutlich besser in seinem Alltag zu unterstützen als mit einem Mobiltelefon⁴⁰. Eine weitere Entwicklung die vom Mobiltelefon zum Smartphone stattfand, war die Weiterentwicklung des Betriebssystems. Während Mobiltelefone meist mit simplen Betriebssystemen ausgestattet sind, werden Smartphones von komplexen Systemen wie Android oder IOS angetrieben. Diese bieten Nutzern die Möglichkeit zusätzliche Programme zu installieren wie z.Bsp. bei Windows⁴¹.

Der erhöhte Funktionsumfang von Smartphones im Vergleich zu Mobiltelefonen führt uns zur Frage, ob Smartphones auch dazu genutzt werden können, einen Computer zu ersetzen. Verschiedene Hersteller wie z. Bsp. Samsung mit den Dex-Stationen bieten Nutzern bereits die Möglichkeit, ihr Smartphone als PC-Ersatz zu nutzen⁴². Obwohl Smartphones immer höhere Leistungsspitzen erreichen, werden sie wahrscheinlich auch in Zukunft nicht als vollständiger PC-Ersatz genutzt werden können. Das liegt insbesondere daran das Smartphone CPUs(Central Processing Unit) aufgrund des Formfaktors nicht so gekühlt werden können wie PC-CPU's⁴³.

Nun kommen wir zu der Frage warum wir Smartphones verwenden wollen um Emotionen zu erkennen. Zum einen sind Smartphones in der Lage, durch verschiedenen verbaute Sensoren zu sehen, fühlen und zu hören⁴⁴. Wie in dem Artikel beschrieben, geben uns die verbauten Sensoren enorme Möglichkeiten mit dem Smartphone die Umwelt wahrzunehmen. Wie leistungsfähig die verschiedenen Komponenten mittlerweile geworden sind, zeigt Apple mit dem iPhone X, welches mithilfe der Kamera und Infrarotsensoren, die Veränderungen von Gesichtszügen erkennt und auf sogenannte Animojis überträgt⁴⁵. Ein weiterer Grund aus dem wir die Emotionserkennung mit Smartphones untersuchen wollen ist die Tatsache, dass Smartphonebenutzer ihr Gerät häufig rund um die Uhr bei sich tragen. Dies ermöglicht es für verschiedene Anwendungsszenarien eine Überwachung der Emotionen des Nutzers über den Tag hinweg durchzuführen.

2.5.2 Sensoren

TORBEN BRENNER & LUKAS SEEMANN

Sensoren dienen zur Erfassung eines physikalischen Zustandes und der Transformation dieses Zustandes in einen Impuls der verarbeitet werden kann⁴⁶. In der Computertechnik,

³⁹Vgl. Bou11, S.3 Z.5ff.

⁴⁰Vgl. Ada18, Smartphones are tiny Computers.

⁴¹Vgl. Ada18, Mobile Operating Systems.

⁴²Kai18.

⁴³Vgl. Gav18, Power and Heat.

⁴⁴Vgl. Bie14, S. 1 Abs. 2.

⁴⁵Vgl. Com17, Animoji: So funktioniert es.

⁴⁶Vgl. Web18.

dienen Sensoren häufig dazu, den physikalischen Zustand verständlich für einen Computer zu machen, in dem dieser in einen Datensatz umgewandelt wird.

Die bereits in Kapitel 2.4.2 beschriebene elektrodermale Aktivität kann mithilfe von EDA-Sensoren gemessen werden. Diese Art von Sensoren sind üblicherweise nicht in Smartphones eingebaut, weswegen die Hautleitfähigkeit mit externer Hardware gemessen werden muss.

Die für heute eher unübliche Messungsart der elektrodermalen Aktivität stellt die endosomatische Messung dar. Indem winzige Elektroden in die Haut eingestochen werden, kann die Aktivität der Nerven in der Haut gemessen werden.⁴⁷ Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine Messung der Hautleitfähigkeit sondern um eine Messung des Hautpotenzials.

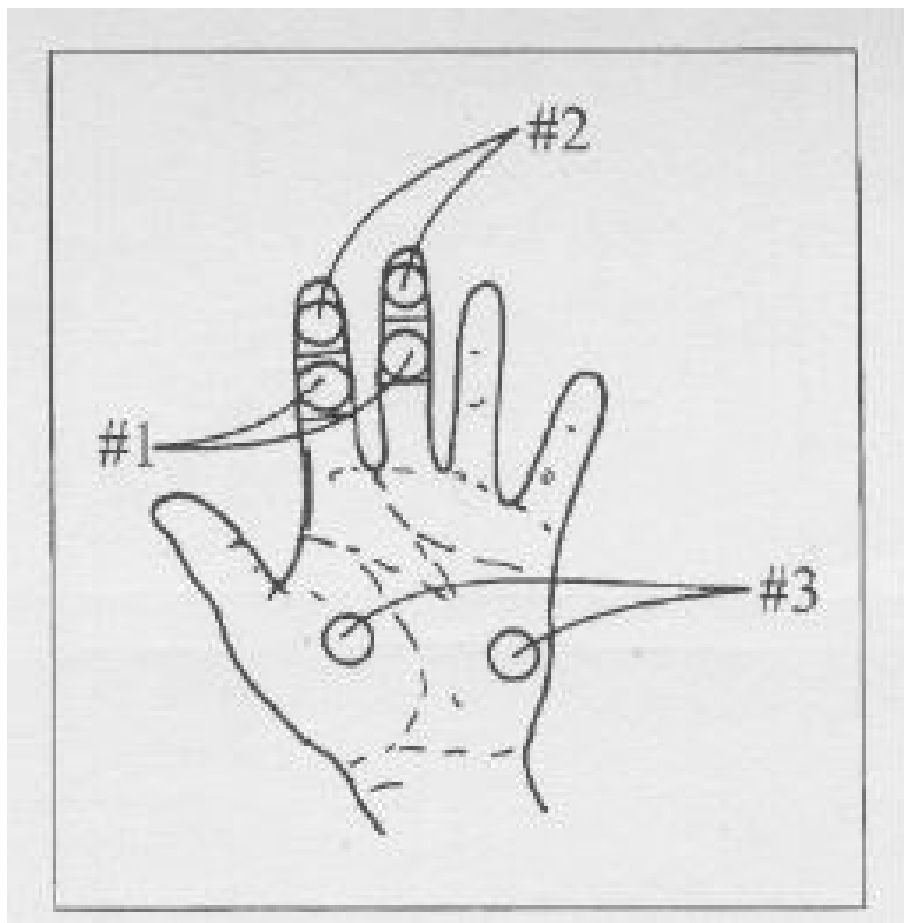


Abbildung 6: Positionsmöglichkeiten der EDA-Messung⁴⁸

Bei der exosomatischen Messung hingegen wird ein schwacher Strom von ungefähr 0.5 Volt an die Haut angelegt. Die Spannung wird hierbei konstant gehalten, wodurch die Leitfähigkeit der Haut gemessen werden kann. Hierbei gemessen wird entweder in der

⁴⁷Vgl. Sch12, Folie 25.

⁴⁸Sch12, Folie 25.

Einheit Siemens für den elektrischen Leitwert oder in Ohm für den Widerstand. Die Elektroden des Sensor sind meistens aus Silber oder Silberchlorid und werden meist an zwei Stellen der nicht dominanten Hand angebracht.⁴⁹ Wie in Abbildung ? dargestellt gibt es verschiedenen Möglichkeiten der Handinnenfläche, die gut geeignet sind, (#1, #2 oder #3).

Diese Art von Sensoren sind die heutzutage übliche Vorgehensweise bei EDA-Messungen. Häufig sind sie auch unter dem Namen GSR-Sensor⁵⁰ bekannt und darunter im Internet erhältlich. GSR-Sensoren sind als Modul für den Mikrocontroller Arduino verfügbar.⁵¹ Dies stellt eine Möglichkeit dar, einem mobilen Endgerät die Sensordaten zum Beispiel über Bluetooth oder WiFi zur Verfügung zu stellen. In Abbildung ? ist ein GSR-Sensor inklusive der Elektroden für die Fingerinnenseiten, der mit Arduinos kompatibel ist, abgebildet.

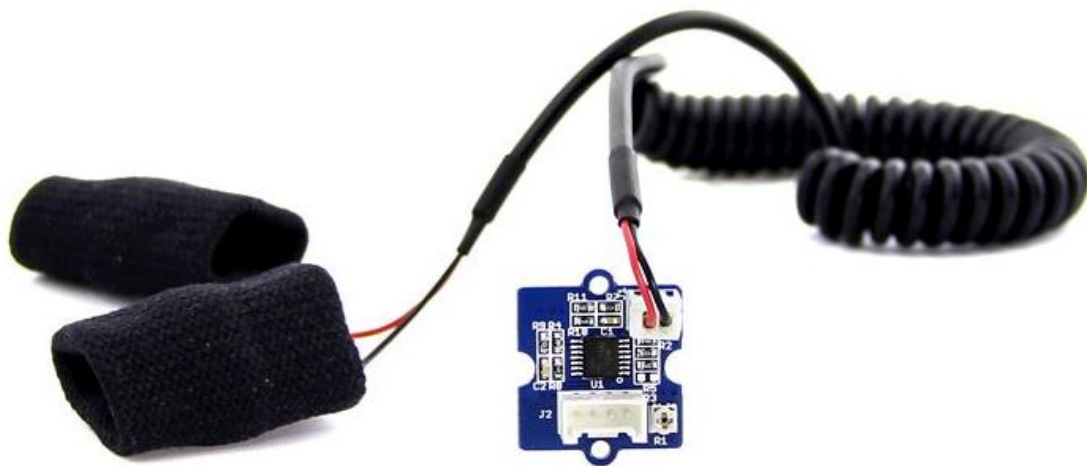


Abbildung 7: GSR-Sensor mit Finger-Elektroden⁵²

⁴⁹Vgl. Sch12, Folie 25.

⁵⁰GSR: Galvanic Skin Response

⁵¹beispielsweise: Gro18.

⁵²Gro18.

3 Konzept

Hier wird ein Konzept mit Mock Ups und Architektur entstehen

3.1 Priorisierung der Erfassungsmöglichkeiten LUKAS SEEMANN

Im Anschluss an die Auswahl der Erfassungsmöglichkeiten werden diese Möglichkeiten nun priorisiert. In der folgenden Tabelle (Tabelle 1) ist die Priorisierung abgebildet.

Priorität	Indiz	Sensor	Im Smartphone?
1	Hautleitfähigkeit	GSR/EDA-Sensor	NEIN
2	Puls	Kamera	JA
3	Puls	Externe Sensoren	NEIN
4	Tippverhalten	Touchscreen	JA
5	Gesicht	Kamera	JA
5	Stimme	Mikrofon	JA

Tabelle 1: Priorisierung der Erfassungsmöglichkeiten

In der ersten Spalte ist die Priorität dargestellt. Je niedriger die Zahl ist, desto höher ist die Erfassungsmöglichkeit priorisiert. Die Möglichkeiten werden in der Reihenfolge der hier dargestellten Priorisierung thematisiert und letzten Endes in den Prototyp der mobilen Applikation integriert, um Daten zu erfassen. Je nachdem wie viel Zeit die einzelnen Features benötigen, können mehr und mehr Möglichkeiten der Datenerfassung in die App eingebaut werden, wenn sie noch im Zeitrahmen der Studienarbeit umsetzbar sind. Bei den einzelnen Möglichkeiten werden das Indiz, anhand dessen Rückschlüsse auf eine Emotion gemacht werden kann, und ein Sensor, der Daten zum Indiz für die App erfassen soll, aufgelistet. In der letzten Spalte ist festgehalten, ob der benötigte Sensor in den meisten aktuellen Smartphones bereits enthalten ist oder nicht.

Die höchste Priorität hat das Indiz der Hautleitfähigkeit, die mithilfe von GSR- beziehungsweise EDA-Sensoren erfasst werden kann. Diese Art von Sensoren befinden sich nicht in handelsüblichen Smartphones, weshalb man hierzu externe Sensoren mit dem Handy verbinden muss.

...

3.2 Übertragung biometrischer Daten in Indikatoren LUKAS SEEMANN

Die von den Smartphone-internen und externen Sensoren zurückgelieferten Daten müssen in der App einheitlich verarbeitet werden. Die zurückgelieferten Daten sind unterschiedlich und meistens selbst nicht aussagefähig. Mit dem im Theorieteil erklärten Hintergrundwissen

ist es jedoch möglich, die Daten zu interpretieren.

Im Umfeld der App soll diese Interpretation mithilfe von Indikatoren geschehen. Ein Indikator ist in diesem Kontext ein Anzeichen, das für die Emotionsbestimmung herangezogen werden kann. Es existieren einerseits Indikatoren, die sich nur für die Bestimmung einer Emotion eignen, und andererseits auch Indikatoren, die für mehrere Emotionen ausschlaggebend sind. Folgende Indikatoren sind für die Umsetzung geplant:

- stress,
- happyIndicator,
- sadIndicator,
- angryIndicator und
- suprisedIndicator.

In Abbildung ? ist der Ablauf der Bestimmung von Indikatorscores abgebildet. Unabhängig davon, welcher Sensor verwendet wird, seine Daten müssen immer auf diese Indikatoren abgebildet werden. Für jeden Sensor muss dabei ein Bereich bestimmt werden, wann immer eine neue Auswertung der Sensordaten zu den sogenannten Indikatorscores geschieht. Eine Auswertung kann generell dann durchgeführt werden, wenn genug Daten vorhanden sind, die aussagekräftig für die Indikatoren sind. Dies ist von Sensor zu Sensor unterschiedlich und muss dementsprechend berücksichtigt werden.

Bei einer Auswertung werden die einzelnen Indikatoren mit Scores von null bis eins versehen, sodass man pro Auswertung der Sensordaten mehrere Indikatorscores erhält. Die Logik für das Setzen der Indikatorscores muss mithilfe von Mappern umgesetzt werden. Für jeden Sensor muss dafür ein individueller Mapper existieren. Die Mapper werden immer dann aufgerufen, wenn genügend Daten des Sensors vorhanden sind.

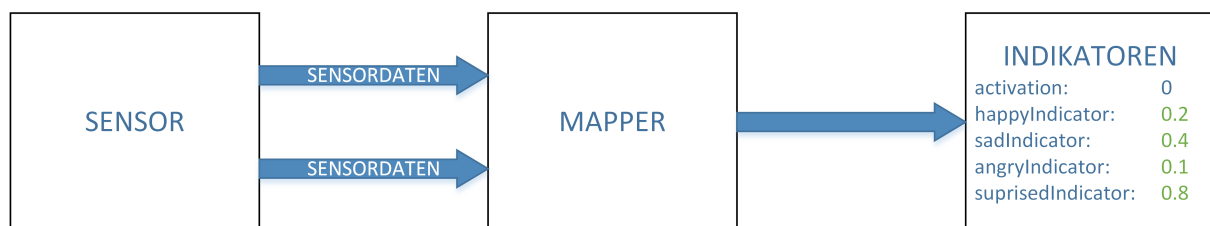


Abbildung 8: Ablauf der Erstellung von Indikatorscores

3.3 Auswertung der Indikatorscores zur Emotionsbestimmung

Aus den angesammelten Indikatorscores muss nun entschieden werden, welche Emotion am wahrscheinlichsten beim Benutzer der App vorliegt. Diese Auswertung der Indikatorscores zu konkreten Emotionen lässt sich in zwei Bestandteile aufteilen: die Menge der Kausalitätsregeln und den Entscheidungsalgorithmus. Als Ergebnis wird pro Emotion

ein Emotionscore erwartet, der angibt, inwiefern die Emotion beim User zum getesteten Zeitpunkt vorliegt.

3.3.1 Kausalitätsregeln

LUKAS SEEMANN

Eine Kausalitätsregel erwartet eine Menge von Indikatorscores als Eingabe und wendet basierend auf den Indikatorscores Effekte auf die vorhandenen Emotionscores an. Die Indikatoren werden also je nach ihren Werten in verschiedene Emotionen übersetzt.

Eine Kausalitätsregel besteht immer aus einer Bedingung und einer Score-Transformation. Eine Bedingung betrifft einen oder maximal zwei Indikatorscores und legt fest, wann die Score-Transformation der Kausalitätsregel ausgeführt wird. Die Score-Transformation beschreibt Effekte, die auf die Emotionscores angewandt werden. Beispielsweise würde einer hoher Score des Stress-Indikators zu positiven Effekten für die Emotionen happy, angry und suprised führen. In Abbildung 9 ist der Ablauf der Ausführung einer solchen Kausalitätsregeln gezeigt. Die Formulierung von realitätsgetreuen Kausalitätsregeln ist ausschlaggebend dafür, wie präzise die Anwendung letzten Endes die Emotionen bestimmen kann.

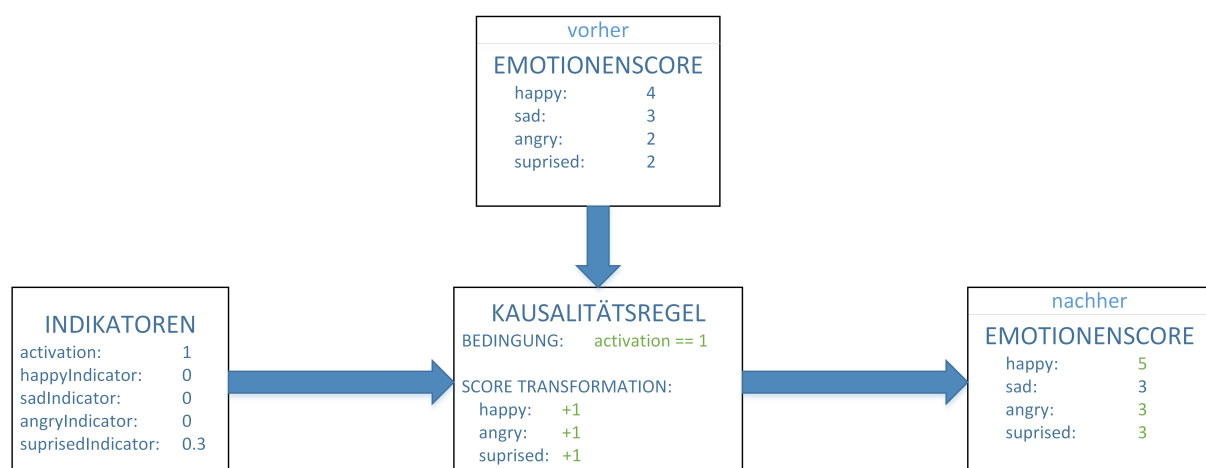


Abbildung 9: Ablauf der Ausführung von Kausalitätsregeln

3.3.2 Entscheidungsalgorithmus

TORBEN BRENNER

Ziel der Anwendung ist es, basierend auf zuvor aufgenommenen Daten eine Entscheidung zu fällen, welche Emotion der Nutzer der Anwendung aktuell empfinden könnte. Die Entscheidung muss dabei die verschiedenen Ergebnisse der Auswertungsebene einbeziehen und aus diesen auf eine Emotion schließen. Deshalb muss eine Einheitliche Datenstruktur entwickelt werden, über die die Auswertungsebene die Daten zur Verfügung stellt.

Die Entscheidung könnte hierbei über ein *Scoring* entstehen. Dieses *Scoring* müsste dabei auf der Auswertungsebene stattfinden, wobei jeder der Auswertungsalgorithmen ein

Scoring für die verschiedenen Emotionen angeben muss. Am Ende könnten z. Bsp. die verschiedenen *Scorings* addiert und die Emotion mit dem höchsten *Scoring* ausgewählt werden.

3.4 Ionic Framework

In diesem Kapitel wird das Ionic Framework, das für die Umsetzung der mobilen Applikation verwendet wird, vorgestellt und die Gründe für die Verwendung aufgezeigt.

3.4.1 Aufbau und Einsatz des Frameworks

LUKAS SEEMANN

Ionic ist ein unter der MIT License stehendes Open-Source-Framework, das zur Entwicklung von plattformübergreifenden, mobilen Applikationen dient. Mit Ionic entwickelte Apps sind damit unter anderem auf Endgeräten lauffähig, die die Betriebssysteme Android, iOS und Windows Phone benutzen.⁵³



Abbildung 10: Ionic Framework - Logo⁵⁴

Aktuell befindet sich das Framework in der Version 3.9.2⁵⁵ und befindet sich in steter Weiterentwicklung. Das Ionic Framework basiert wiederum auf Angular, einem Framework für die Entwicklung von Web-Applikationen. Dementsprechend nutzen Ionic-Anwendungen in der Web-Entwicklung etablierte Technologien wie HTML 5, CSS und JavaScript.⁵⁶ Wie auch im Angular Framework, wird auch die Programmiersprache TypeScript verwendet, die auf JavaScript aufbaut, sich in der Syntax sehr stark mit JavaScript ähnelt und zusätzliche Optionen zur Typisierung von Variablen oder Funktionen anbietet.⁵⁷

Ionic-Anwendungen sind im Wesentlichen normale Webanwendungen, die von jedem JavaScript-fähigen Browser ausgeführt werden können. Während mithilfe von Ionic das Frontend der Anwendung festgelegt wird, kann anschließend mit Apache Cordova die Plattformunabhängigkeit umgesetzt werden. Apache Cordova bewirkt, dass sich die Webanwendungen wie native Android-, iOS- oder Windows Phone-Applikationen anfühlen.

⁵³Ion18c.

⁵⁴Wik18.

⁵⁵Vgl. Ion17.

⁵⁶Vgl. Ion18a.

⁵⁷Vgl. Til17.

Egal auf welcher Plattform die Ionic-Anwendung installiert wird, es wird die selbe Code-Basis verwendet. Diese wird dann vor dem Installieren von Cordova so angepasst, dass sie auf den Endgeräten ausgeführt werden können.⁵⁸

3.4.2 Gründe für die Verwendung

LUKAS SEEMANN

Das Ionic Framework bietet eine Möglichkeit mit nur einer Code-Basis, eine plattformübergreifende Applikation zu erstellen. Dies erspart einiges an Entwicklungsaufwand, da nicht jede Plattform einzeln entwickelt werden muss. Außerdem wird einem Großteil der Smartphone-Nutzer die Nutzung der erstellten App ermöglicht und ist nicht nur für Android- oder Apple-Nutzer beschränkt.

Dadurch dass Applikationen des Ionic Frameworks eigenständige Webanwendungen sind, können diese problemlos von allen Browsern interpretiert und ausgeführt. Dies ist ein großer Vorteil für das Debuggen von Code, da hierfür kein Emulator oder Endgerät verwendet werden muss. Stattdessen kann die Anwendung im Browser ausgeführt und debuggt werden.

Außerdem wurden bereits in anderen Projekten und im privaten Bereiche Erfahrungen mit dem Ionic Framework gemacht, sodass keine Einarbeitung bei den Entwicklungsarbeiten notwendig ist. Dies spart wiederum Zeit, die effektiv für das Entwickeln genutzt werden kann.

3.5 Architektur der mobilen Applikation

In diesem Kapitel wird die Architektur der mobilen Applikation beschrieben. Die Architektur wird in Front- und Backend der App unterteilt.

3.5.1 Backendlogik

LUKAS SEEMANN

Zunächst wird explizit auf das Backend beziehungsweise die Hintergrundlogik der App eingegangen. Für das oben beschriebene Konzept bietet sich eine Umsetzung mit Javascript Klassen an, aus welchem Grund ein UML-Diagramm angefertigt werden kann. Dieses ist in Abbildung ? gezeigt.

Die Klassen sind in der Abbildung blau dargestellt. Typescript bietet die Möglichkeit, eigene Typen zu definieren. Diese Typen verfügen über Attribute, jedoch keine Methoden und sind in der Abbildung grün dargestellt.

Die App verfügt über eine abstrakte Klasse Sensor, die zwei Methoden definiert. Jeder Sensor, der später Daten für die App liefern soll, muss diese abstrakte Sensor-Klasse erweitern. Dabei muss jeder Sensor die mapper-Funktion überschreiben, die die Sensordaten in

⁵⁸Ion18b.

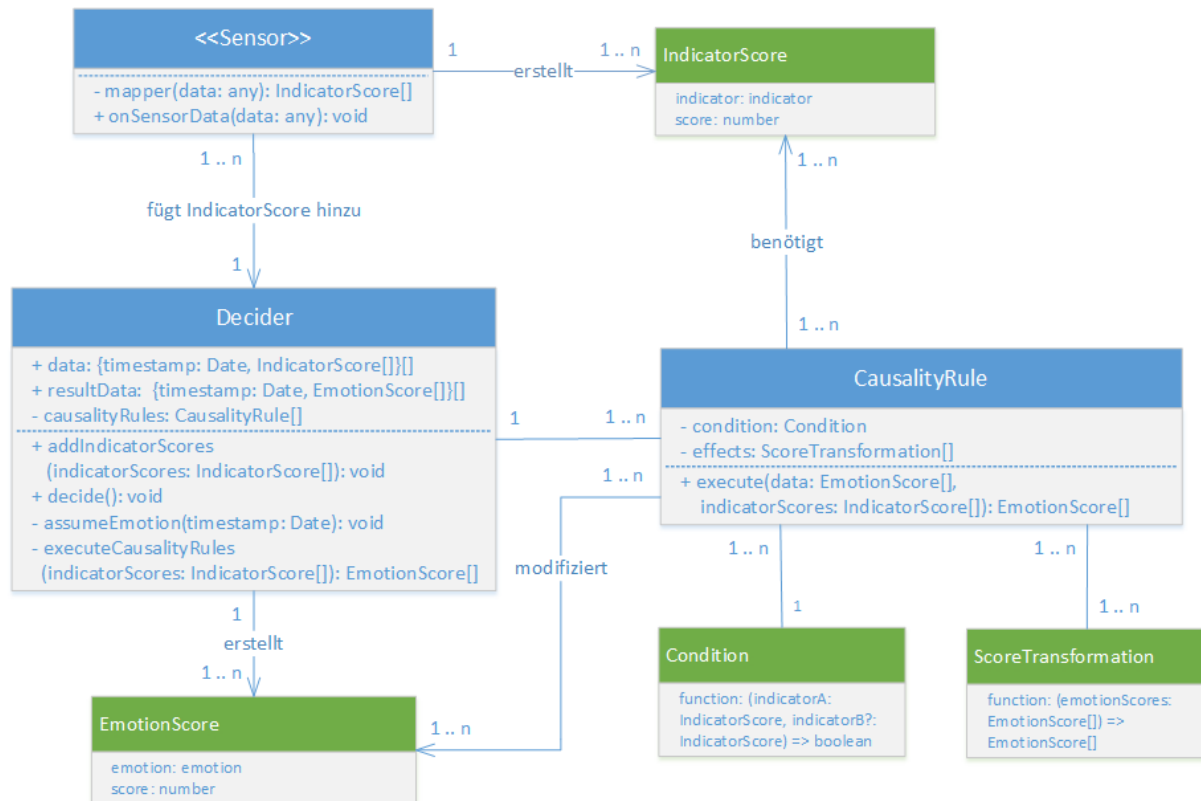


Abbildung 11: Architektur der App

mehrere IndicatorScores umwandelt. Auf diese Weise muss jeder Sensor seinen individuellen Mapper implementieren. Der IndicatorScore ist als Typ definiert worden, der einerseits einen Indicator und einen Score als Attribut hat. Indicator wiederum ist ein eigener Typ, der nur die definierten Indikatoren (stress, happyIndicator, sadIndicator, angryIndicator, suprisedIndicator) als String zulässt. Da die Implementierung des IndicatorScore-Types sehr trivial ist, wurde sie aus Übersichtsgründen nicht in die Abbildung aufgenommen. Die onSensorData-Funktion ist bereits vordefiniert und muss dementsprechend nicht überschrieben werden. Diese Funktion führt lediglich den Mapper aus, wenn genug Sensordaten für eine Auswertung vorhanden sind, und fügt die resultierenden IndicatorScores zum Decider hinzu.

Die Decider-Klasse ist der Hauptbestandteil der App, da sie die Bestimmung der Emotion durchführt. Die Decider-Klasse ist als Singleton anzusehen, da es pro laufende Anwendung nur einen Decider geben kann. Der Decider verfügt über ein data-Array, das allen Input der Sensoren enthält. Konkret handelt es sich hierbei um die Indicatorscores, die die Sensoren ermittelt haben, erweitert mit einem Timestamp für den Zeitpunkt der Ankunft. Nach und nach wird dieses Array mit den IndicatorScores der verschiedenen Sensoren gefüllt. Dies wird mit der Funktion addIndicatorScores() realisiert, die von den Sensoren mit der onSensorData-Funktion aufgerufen wird.

Der Decider verfügt außerdem über ein Array von CausalityRules. Die CausalityRule-Klasse ist die Implementierung der oben beschriebenen Kausalitätsregel. Eine CausalityRule besitzt immer eine Condition (Bedingung) und eine Menge von ScoreTransformations.

Eine Condition wurde als eigener Typ definiert und ist eine Funktionen, die einen IndicatorScore (optional auch zwei) als Input hat und auf einen Boolean-Wert abbildet. So kann eine Bedingung realisiert werden, die je nach Erfüllung true oder false zurückgibt. Eine ScoreTransformation ist ebenfalls ein eigener Typ, der eine Funktion definiert. Diese Funktion erhält als Input die vorhandenen Emotionscores, wendet auf diesen Effekte an und gibt die modifizierten Emotionscores zurück.

Die execute-Funktion der CausalityRule führt alle hinterlegten ScoreTransformations aus, wenn die Condition von den IndicatorScores erfüllt worden ist.

Um die Decider-Klasse weiter zu verstehen, muss zunächst der Typ EmotionScore erklärt werden. Dieser ist ähnlich wie der IndicatorScore aufgebaut. Zunächst wird eine Emotion angegeben, die dem Typ Emotion entsprechen muss. Der String muss dementsprechend mit den definierten Emotionen (happy, sad, angry, suprised) übereinstimmen. Anschließend folgt eine Nummer, die den Score angibt.

Die Decider hat ein resultData-Array, das mehrere Emotionscores enthält und die Timestamp der IndicatorScores, aus denen die Emotionscores erzeugt wurden. Dieses Array wird mithilfe der decide-Funktion gefüllt. Wenn die decide-Funktion ausgeführt wird, wird anschließend für alle im data-Array vorhandenen Timestamps die assumeEmotion()-Funktion ausgeführt. Als Parameter erhält diese Methode eine Timestamp und filtert alle IndicatorScores aus dem data-Array zu diesem Zeitpunkt. Für alle auf diese Weise gefilterten Indicatorscores wird anschließend die executeCausalityRules()-Funktion ausgeführt. Diese Funktion wiederum iteriert über alle vorhandenen CausalityRules und führt diese auf Basis der IndicatorScores aus. So erhält man am Ende Emotionscores. Diese erhalten die Timestamp, die bei assumeEmotion() mitgegeben wurde und werden in das resultData-Array gespeichert. Hat man die assumeEmotion-Funktion für alle Timestamps ausgeführt, ist das result-Array komplett gefüllt und die Emotionsbestimmung abgeschlossen.

3.5.2 Frontend

Nachdem bereits das Backend beschrieben wurde, wird nun das Frontend der App thematisiert. Unter dem Frontend werden die Screens der App verstanden, die der User bei Nutzung der App aufrufen kann. Diese Screens werden bei Ionic Pages genannt und bestehen meist aus folgenden Bestandteilen:

- Eine Typescript-Datei (.ts),

- eine HTML-Datei (.html) und
- eine CSS-Datei (.scss).

In der Typescript-Datei wird die Anwendungslogik umgesetzt, außerdem erfolgt dort der Zugriff auf die Backendkomponenten wie zum Beispiel den Decider, die durch das Ionic Framework als sogenannte Provider bereitgestellt werden. Die HTML-Datei beschreibt den Aufbau der GUI der Page, wohingegen die CSS-Datei das Design der Page beschreibt. In Abbildung 12 ist zu sehen, über welche Pages die App verfügen soll, welchen Zweck diese haben und wie sie miteinander in Verbindung stehen.

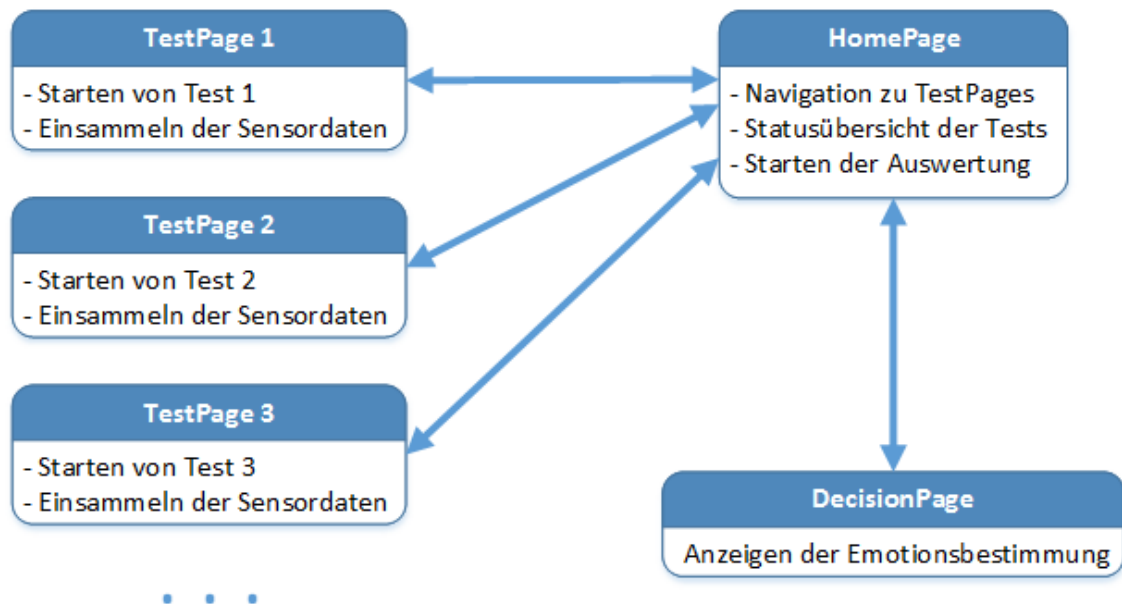


Abbildung 12: Geplantes Frontend der App

Für die App sollen nach und nach sogenannte Emotionstest entwickelt werden. Unter einem Emotionstest versteht man im Kontext dieses Projekts die Messung eines Sensors, die Rückschlüsse auf die Emotion zulassen. Ein Emotionstest liefert aus Backend-Sicht immer eine Menge von Indicatorscores zurück. Pro Emotionstest muss eine Page der App angelegt werden, auf der der Test gestartet werden kann und so die Sensormessdaten eingesammelt werden können.

Zwangsläufig verfügt die App über eine HomePage, auf die der User beim Starten der App gelangt. Über diesen Screen kann der User zu den einzelnen TestPages gelangen, um die Tests durchzuführen. Von den TestPages kann der User entweder durch Abschließen der Tests oder durch manuelles Navigieren und Unterbrechen des Test zurück zum Homescreen gelangen. Um dem User anzuzeigen, welche Test er schon durchgeführt hat, wird außerdem eine Statusübersicht zu den Tests auf der HomePage zu sehen sein. Des Weiteren muss der User die Möglichkeit haben, die Auswertung der Indicatorscores zu Emotionen starten zu können. Wählt der User diese Option, werden alle Indicatorscores,

die sich zu diesem Zeitpunkt im data-Array des Deciders befinden für die Auswertung verwendet.

Für das Ergebnis der Auswertung und somit die Emotionsbestimmung muss ebenfalls eine eigene Page existieren, worauf der User nach Abschluss der Auswertung gelangt. Der User kann von diesem Screen wieder zurück zum Homescreen gelangen, um erneut Emotionstests zu starten.

4 Umsetzung des Prototypen emoTrix

Hier werden Dinge umgesetzt.

4.1 MockUps

4.2 Datenerfassung in Form von Emotionstests

4.2.1 GSR-Test

LUKAS SEEMANN

Die Erfassungsmöglichkeit mit der höchsten Priorität war die Messung der Hautleitfähigkeit mithilfe von EDA- beziehungsweise GSR-Sensoren. Da dies nicht mit im Smartphone enthaltenen Sensoren möglich war, wurde zusätzlich ein Arduino-Mikrocontroller benötigt, um die Messung durchzuführen. Zunächst wird die Entwicklung auf dem Arduino-Board mit allen zusätzlichen Modulen beschrieben. Im Anschluss daran wird thematisiert, wie das Arduino-Board mit der App verbunden wurde.

Für das Projekt wurde ein Arduino UNO R3 Board verwendet.⁵⁹ Dieser kann mit Stromzufuhr über ein Netzteil oder per USB betrieben werden. Als Sensor wurde ein GSR Sensor des Grove-Toolkits verwendet⁶⁰, der bereits in Abbildung 5 gezeigt wird. Am Sensor selbst werden die Elektroden für die Finger angebracht. Da ein handelsübliches Arduino UNO R3 Board nicht über den benötigten Anschluss für den Grove GSR-Sensor verfügt, muss zusätzlich noch ein Grove Base Shield angebracht werden. Dieses kann auf das Arduino Board aufgesteckt werden und erweitert es um viele verschiedene Anschlüsse, unter anderem für Sensoren.

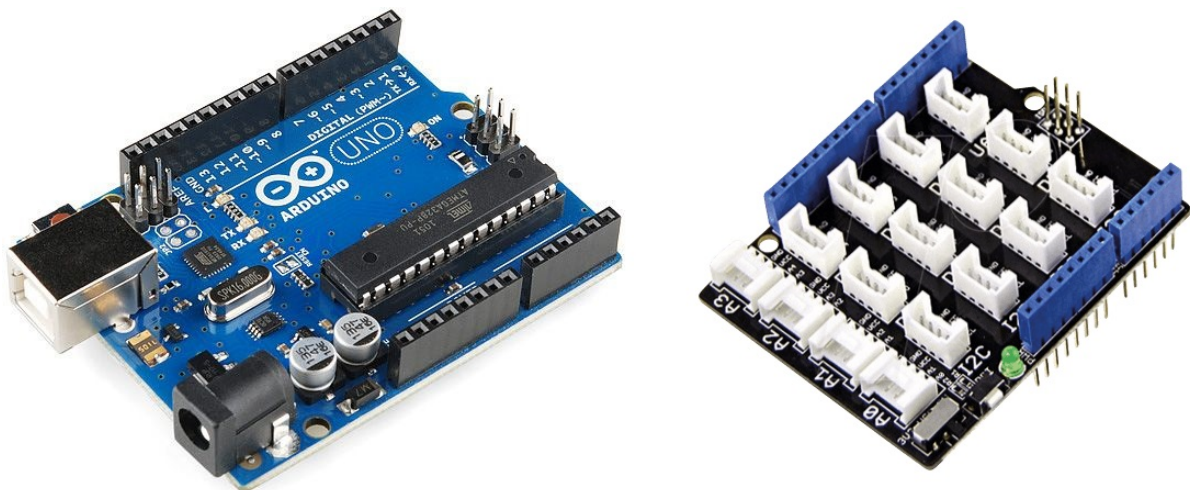


Abbildung 13: Arduino UNO R3 (links) und Grove Base Shield⁶¹

⁵⁹Vgl. Ard18a.

⁶⁰Vgl. Gro18.

⁶¹Bilder von: Sou18; Rei18.

Mit diesen Komponenten werden die vom Sensor zurückgelieferten Daten an den Arduino geleitet. Von dort aus müssen die Daten, an die mobile Applikation weitergeleitet werden. Aus diesem Grund muss an das Arduino Board ein Bluetooth-Modul angebracht werden, das Daten senden und empfangen kann. Das Empfangen von Daten ist notwendig, um die Messung zu starten, wohingegen das Senden für die Übermittlung der Sensordaten benötigt wird. Heutige Smartphones verfügen meistens immer über eine Bluetooth-Schnittstelle, aus welchem Grund Bluetooth gut für die Übertragung geeignet ist. Eine weitere Möglichkeit wäre die Übertragung über WiFi gewesen. Das Arduino-Board wurde mit einem HC05-Bluetooth-Modul erweitert, welches Daten senden und empfangen kann. Dieses ist in Abbildung ? zu sehen.

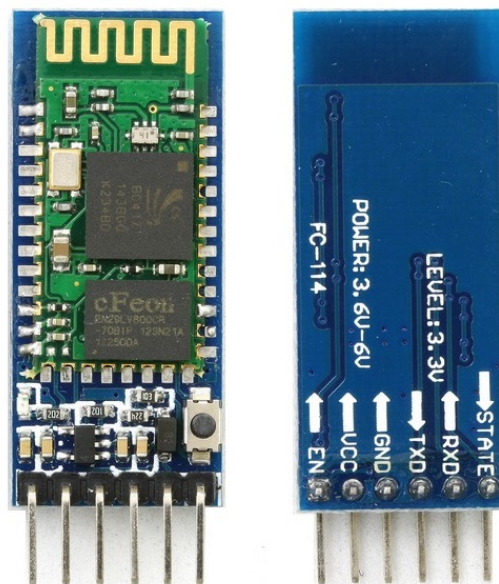


Abbildung 14: HC-05-Bluetooth-Modul für Arduino⁶²

Die Beschreibung der Entwicklungsarbeiten wird in zwei Teile aufgespalten. Der erste Teil ist der Quellcode des Arduinos, der zweite Teil die Entwicklung des Emotionstest in der emoTrix-App.

In Listing ? ist der Quellcode des Arduinos abgebildet. In Zeile 1 wird die SoftwareSerial-Bibliothek eingebunden, die eine Verwendung der Pins des Arduinos für verschiedene Module ermöglicht. In Zeile 2 wird dem Arduino mitgeteilt, dass auf den Pins 10 und 11 ein Bluetooth-Modul angeschlossen ist und eine Konstante (GSR) festgelegt, die auf den Anschluss A0 des Grove Shields verweist, an dem der GSR Sensor angeschlossen ist.

Generell besteht der Programmcode des Arduinos immer aus zwei Bestandteilen: einem Setup-Block und einem Loop-Block. Der Setup-Block wird einmalig beim Einschalten des Arduinos ausgeführt. Danach wird der Loop-Block solange wiederholt, bis der Arduino ausgeschaltet wird.


```

1 #include <SoftwareSerial.h>
  SoftwareSerial BTserial (10, 11); const int GSR=A0;
3 int sensorValue=0; int gsr_average=0;
  boolean measuring = false; char BTString;
5
6 void setup(){
7   BTserial.begin(9600);
8 }
9
10 void loop(){
11   BTString = BTserial.read();
12   if(BTString == 'S'){
13     measuring = true;
14   }
15   if(BTString == 'F'){
16     measuring = false;
17   }
18   if(measuring){
19     long sum=0;
20     for(int i=0; i<10; i++){
21       sensorValue=analogRead(GSR);
22       sum += sensorValue; delay(5);
23     }
24     gsr_average = sum/10;
25     BTserial.print(gsr_average); BTserial.println( " ");
26   }
27 }

```

Listing 1: Quellcode des Arduinos

In Zeile 7 innerhalb des Setup-Blocks wird die Geschwindigkeit der seriellen Datenübertragung der Ports des Arduinos, die mit dem Bluetooth-Modul verbunden sind. Hierbei wird die Geschwindigkeit auf 9600 Bits pro Sekunde gesetzt.⁶³ Dies entspricht der üblich verwendeten Geschwindigkeit und hat in Tests sehr gut funktioniert.

Der Loop-Block beginnt in Zeile 11 mit dem Auslesen der Daten, die über das Bluetooth-Modul empfangen werden. Die Variable *BTString* wird mit diesen Daten beschrieben. Die App muss zum Starten der App den String *S* (für Start) per Bluetooth übertragen. Ist dies der Fall, wird die Variable *measuring* auf true gesetzt. Mit dem String *F* (für Finished) kann die App dem Arduino das Stoppsignal für die Messung geben. Dementsprechend wird *measuring* auf false gesetzt. Dies ist in den Zeilen 15 bis 17 umgesetzt.

In Zeile 18 wird über die *measuring*-Variable überprüft, ob gemessen werden soll. Wenn ja, wird eine Variable für die Summe von 10 Messdaten initialisiert. Anschließend werden in Abstand von 5 Millisekunden 10 Messungen durchgeführt. In Zeile 21 wird die

⁶³Vgl. Ard18b.

eigentliche Messung des Sensors durchgeführt. Der hier verwendete GSR-Sensor liefert die aktuell gemessene Stromspannung an der Haut als Integer-Wert zurück. Alle 10 Messungen werden nach und nach aufaddiert. Dies geschieht in der for-Schleife in den Zeilen 20 bis 23. Anschließend wird die Summe durch 10 geteilt, sodass man den Durchschnitt aller 10 Werte erhält. Dieses Verfahren wird durchgeführt, da die Messdaten des Sensors Schwankungen aufweisen, die dadurch eliminiert werden können. In Zeile 25 wird schließlich der Messwert auf den Port des Bluetooth-Moduls geschickt und damit versendet. Als Trennzeichen zum nächsten Wert wird ein Semikolon angehängt.

MUSS BEARBEITET WERDEN, der Sensor funktioniert anders als gedacht

Wenn die Messung gestartet wurde, erhält die mobile Applikation also alle 50 Millisekunden vom Arduino per Bluetooth einen Integer-Wert, der dem Widerstand auf der Haut des Nutzer entspricht.

```
1 this.bluetoothSerial.subscribe(";").subscribe(  
  function (data){  
3    self.value = data.substring(0,data.length - 1);  
    if(self.time%10 === 0){  
5      self.addData(self.lineChart, self.time, self.value);  
      if(self.time !== 0){  
7        var data: any = {value: self.value, oldValue: self.oldValue};  
        self.GsrSensor.onSensorData(data);  
9      }  
      self.oldValue = self.value;  
11     }  
    self.time++;  
13  }, function (error){  
    console.log(error);  
15  });  
  
17 startMeasuring(){  
  this.bluetoothSerial.write('S').then((data: any) => { })  
19  .catch((e) => {  
    console.log(e);  
21  });  
}  
23  
stopMeasuring(){  
25  this.bluetoothSerial.write('F').then((data: any) => {})  
  .catch((e) => {  
27    console.log(e);  
  });  
29 }
```

Listing 2: JS Code

Die Daten, die der Arduino schickt, müssen innerhalb der App verarbeitet werden. Hierfür wurde eine neue TestPage mit dem Namen GSRPage erstellt. Diese Page dient dazu, sich mit dem Arduino Bluetooth-Modul zu verbinden und die Messung zu starten und zu stoppen. Zusätzlich werden die gemessenen Werte in einem Graphen dargestellt, um zu veranschaulichen, wie sich die Hautleitfähigkeit während der Messung ändert.

In der `gsr.ts`-Datei sind alle Funktionen hinterlegt, die alle Methoden für die Umsetzung der genannten Funktionalitäten implementiert. In Listing 2 ist ein Ausschnitt aus der Typescript-Datei mit den wichtigsten Funktionen abgebildet.

Die Funktion *startMeasuring* implementiert das Starten der Messung. Für die GSRPage wurde das Ionic-Package Bluetooth Serial hinzugefügt, das Bluetooth-Optionen des Smartphones für die App verfügbar macht. Das Package wird hier mit *this.bluetoothSerial* referenziert. Das Pairen und Verbinden des Smartphones mit dem Bluetooth-Modul ist selbsterklärend (über eine *connect*-Methode) und deswegen im Listing nicht aufgeführt. Nachdem die Verbindung eingerichtet wurde, kann die *startMeasuring*-Funktion aufgerufen werden. Dabei wird in Zeile 18 mit *write* ein String an das verbundene Bluetooth-Modul gesendet. Wie bereits beschrieben muss zum Start der String *S* gesendet werden. Falls ein Fehler auftritt, wird dieser in Zeile 20 geloggt. Wenn alles ordnungsgemäß funktioniert, empfängt der Arduino den String und startet anschließend die Messung.

Die *stopMeasuring*-Funktion funktioniert analog zur *startMeasuring*-Funktion mit dem Unterschied, dass hier der String *F* zum Stoppen der Messung gesendet wird.

4.3 Auswertung der Testergebnisse

4.4 Benutzeroberfläche der App

5 Schluss

Hier werden wir darauf eingehen was erreicht wurde was nicht und weshalb nicht.

5.1 Anwendungsszenarien

5.2 Fazit

5.3 Ausblick

Literatur

- [Ada18] *How are Cellphones Different From Smartphones*. 11. Mai 2018. URL: <https://www.lifewire.com/cell-phones-vs-smartphones-577507>.
- [Akj04] A.K. Jain ; A. Ross ; S. Prabhakar. "An Introduction to Biometric Recognition". In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* (30. Jan. 2004): *Image- and Video-Based Biometrics*.
- [Ard18a] Arduino. *ARDUINO UNO REV3*. 2018. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (besucht am 13.05.2018).
- [Ard18b] Arduino. *begin()*. 2018. URL: <https://www.arduino.cc/en/serial/begin> (besucht am 14.05.2018).
- [Bie14] Kai Biermann. "Smartphone - Mächtige Sensoren". In: *Zeit Online* (28. Mai 2014). URL: <http://www.zeit.de/digital/mobil/2014-05/smartphone-sensoren-iphone-samsung> (besucht am 15.04.2018).
- [Bou11] Maged N. Kamel Boulos u. a. "How smartphones are changing the face of mobile and participatory healthcare: an overview, with example from eCAALYX". In: *BioMedical Engineering OnLine* 10.1 (5. Apr. 2011), S. 24. ISSN: 1475-925X. DOI: 10.1186/1475-925X-10-24. URL: <https://doi.org/10.1186/1475-925X-10-24> (besucht am 15.05.2018).
- [Bou88] Wolfram Boucsein. *Elektrodermale Aktivität: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1988. ISBN: 978-3-662-06969-1.
- [Cla09] Claudia Nickel. "Authentifizierung an mobilen Geräten mittels Gangerkennung". In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD* 33 (5 17. Juli 2009), S. 280–283. ISSN: 1862-2607. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11623-009-0085-4>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11623-009-0085-4> (besucht am 15.05.2018).
- [Com17] *Animojis für das iPhone X: So sehen die bewegten Apple-Emojis aus*. 16. Nov. 2017. URL: <http://www.computerbild.de/artikel/cb-News-Handy-Animoji-iPhoneX-Apple-Karaoke-19268547.html> (besucht am 15.05.2018).
- [Die06] Franziska Dietz. *Psychologie 1: Methodische Grundlagen und biopsychologische Modelle*. Marburg: MEDI-LEARN Verlag, 2006. ISBN: 978-3-938802-02-1.
- [Dil13] Deborah Bacon Dilts Robert Dilts Judith DeLozier. *NLP II - die neue Generation: Strukturen subjektiver Erfahrung - die Erforschung geht weiter*. Paderborn: Junfermann Verlag GmbH, 2013. ISBN: 9783955712433.
- [Dud18] *Indiz, das*. Deutsch. Duden. 13. Apr. 2018. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Indiz> (besucht am 13.04.2018).

- [Ekm92] Paul Ekman. “An argument for basic emotions”. In: *Cognition and Emotion* 6.3-4 (1992), S. 169–200. DOI: 10.1080/02699939208411068. eprint: <https://doi.org/10.1080/02699939208411068>. URL: <https://doi.org/10.1080/02699939208411068>.
- [Gav18] Gavin Phillips. *Smartphones vs. Desktops: Why Is My Phone Slower Than My PC?* Englisch. makeuseof.com. 24. Feb. 2018. URL: <https://www.makeuseof.com/tag/smartphone-desktop-processor-differences/> (besucht am 15.05.2018).
- [Gro18] Grove. *Grove - GSR Sensor*. 2018. URL: http://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR_Sensor/ (besucht am 07.05.2018).
- [Hok17] Hokuma. *Plutchik’s Wheel of Emotions: What is it and How to Use it in Counseling? The Wheel of Emotions*. Englisch. 14. Dez. 2017. URL: <https://positivepsychologyprogram.com/emotion-wheel/#what> (besucht am 13.04.2018).
- [Ion17] Dan Bucholtz. *Ionic Release Notes*. 8. Nov. 2017. URL: <https://github.com/ionic-team/ionic/releases/tag/v3.9.2> (besucht am 22.04.2018).
- [Ion18a] Ionic Framework. *Core Concepts*. 2018. URL: <https://ionicframework.com/docs/intro/concepts/> (besucht am 22.04.2018).
- [Ion18b] Ionic Framework. *Ionic Docs - CLI*. 2018. URL: <https://ionicframework.com/docs/cli/> (besucht am 22.04.2018).
- [Ion18c] Ionic Framework. *Ionic Framework*. 2018. URL: <https://ionicframework.com/framework> (besucht am 22.04.2018).
- [Kai18] Kai Schmerer. *Samsung DeX: Galaxy S9+ als PC-Ersatz*. ZDNet. 15. März 2018. URL: <https://www.zdnet.de/88328617/samsung-dex-galaxy-s9-als-pc-ersatz/> (besucht am 15.05.2018).
- [Kar16] Nils Warkentin. *Mimik: Kommunikation ohne Worte*. karrierebibel. 14. Nov. 2016. URL: <https://karrierebibel.de/mimik/> (besucht am 15.05.2018).
- [Kes02] Henrik Kessler u. a. “Facially Expressed Emotion Labeling (FEEL): PC-gestützter Test zur Emotionserkennung”. In: 23 (Jan. 2002). URL: https://www.researchgate.net/profile/Harald_Traue/publication/255638250_Facially_Expressed_Emotion_Labeling_FEEL_PC-gestuetzter_Test_zur_Emotionserkennung/links/0f31753b1190c0350e000000/Facially-Expressed-Emotion-Labeling-FEEL-PC-gestuetzter-Test-zur-Emotionserkennung.pdf (besucht am 15.05.2018).

- [Kla02] Klaus Scherer. *Sozialpsychologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. Kap. Emotion, S. 165–213. ISBN: 978-3-540-42063-7. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-08008-5_6. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-08008-5_6 (besucht am 15.05.2018).
- [Kla05] Klaus R. Scherer. “What are emotions? And how can they be measured?” Englisch. In: *Social Science Information* 44.4 (2005), S. 695–729. DOI: 10.1177/0539018405058216. eprint: <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>. URL: <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>.
- [Lie14] Julia Müller Alexandra Liedl Christine Knaevelsrud. *Trauma und Schmerz: Manual zur Behandlung traumatisierter Schmerzpatienten*. Stuttgart: Klett-Cotta, 2014. ISBN: 9783608267266.
- [Moe07] Thorsten Möll. *Messung und Wirkung von Markenemotionen: Neuromarketing als neuer verhaltenswissenschaftlicher Ansatz*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, Aug. 2007. ISBN: 978-3-8350-0897-7.
- [Rei18] Reichelt Elektronik. *ARD SHD BASE V2*. 2018. URL: <https://www.reichelt.de/Entwicklerboard-Zubehoer/ARD-SHD-BASE-V2/3/index.html?ACTION=3&GROUPID=8244&ARTICLE=191204> (besucht am 13.05.2018).
- [Sam06] Sascha Müller. *Bewertung der Qualität von Unterschriften für die biometrische Erkennung*. deutsch. Diplomarbeit. TU-Darmstadt, 26. Sep. 2006. Kap. 1.1.1 Biometrische Merkmale, S. 1+2. 105 S. URL: <https://www.seceng.informatik.tu-darmstadt.de/assets/mueller/muellerdiplom.pdf> (besucht am 15.05.2018).
- [Sav18] *Kausalität*. Deutsch. Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg. 15. Apr. 2018. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kausalitaet/7841> (besucht am 15.04.2018).
- [Sch12] Dipl. Math. Michael Wand Prof. Dr. Tanja Schultz. *Biosignale und Benutzerschnittstellen - Elektrodermale Aktivität (EDA)*. Universität Bremen, WS Vorlesung 2012/2013: Cognitive Systems Lab, 2012.
- [Sch14] Ralf Stürmer Jennifer Schmidt. *Erfolgreiches Marketing durch Emotionsforschung: Messung, Analyse, Best Practice*. Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG, 2014. ISBN: 978-3-648-04894-8.
- [Sea18] SearchSecurity.de. *Definition Biometrie*. 17. Apr. 2018. URL: <https://www.searchsecurity.de/definition/Biometrie> (besucht am 17.04.2018).
- [Sou18] Souq.com. *Arduino Uno - R3*. 2018. URL: <https://uae.souq.com/a-en/arduino-uno-r3-6186780/i/> (besucht am 13.05.2018).

- [Spe18] Spektrum.de. *Puls*. Spektrum.de. 15. Apr. 2018. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/puls/54932> (besucht am 15.04.2018).
- [Sta18a] Statista GmbH. *Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2018 (in Millionen)*. Bitkom Research; comScore. 2018. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonennutzer-in-deutschland-seit-2010/> (besucht am 15.04.2018).
- [Sta18b] Statista GmbH. *Prognose zum Anteil der Smartphone-Nutzer an den Mobiltelefonnutzern weltweit von 2014 bis 2020*. eMarketer. 2018. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/556616/umfrage/prognose-zum-anteil-der-smartphone-nutzer-an-den-mobiltelefonnutzern-weltweit/> (besucht am 15.04.2018).
- [Sta18c] Statista GmbH. *Prognose zur Anzahl der Smartphone-Nutzer weltweit von 2012 bis 2020 (in Milliarden)*. eMarketer. 2018. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309656/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-smartphone-nutzer-weltweit/> (besucht am 15.04.2018).
- [Tho11] F. Thoemmes. *Ausgewählte Kausalitätstheorien im Vergleich*. English. Institut für Erziehungswissenschaft Abteilung Empirische Bildungsforschung und Pädagogische Psychologie, 2011. URL: https://www.human.cornell.edu/sites/default/files/HD/qml/Thoemmes_2011.pdf (besucht am 15.04.2018).
- [Til17] Janna Tillmann. *Was ist eigentlich Typescript?* t3n News. 15. Sep. 2017. URL: <https://t3n.de/news/eigentlich-typescript-859869/> (besucht am 22.04.2018).
- [Web18] Merriam-Webster. *sensor*. Merriam-Webster. 4. Apr. 2018. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sensor> (besucht am 15.04.2018).
- [Wik18] Wikipedia. *Ionic Logo*. 2018. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Ionic_\(Framework\)#/media/File:Ionic_Logo.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Ionic_(Framework)#/media/File:Ionic_Logo.svg) (besucht am 22.04.2018).

Anhänge