



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Projektbericht

**Kai Bielenberg**

**Auswertung von Pupillengrößenänderungen im Kontext der  
Companiontechnologie**

*Fakultät Technik und Informatik  
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Computer Science*

Kai Bielenberg

**Auswertung von Pupillengrößenänderungen im  
Kontext der Companiontechnologie**

Projektbericht eingereicht im Rahmen der PO2 Prüfungsleistung

im Studiengang Master of Science Angewandte Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Kai von Luck

Eingereicht am: 30. November 2015

**Kai Bielenberg**

**Thema der Arbeit**

Auswertung von Pupillengrößenänderungen im Kontext der Companion-technologie

**Stichworte**

Companion Technologie, Eyetracking, Emotion Detection

**Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Auswertung von Daten, die mithilfe eines Eyetrackers im EmoBike Projekt aufgezeichnet worden sind. Es wird geprüft welche Methoden der Datenverarbeitung sich in diesem Zusammenhang am besten eignen.

**Kai Bielenberg**

**Title of the paper**

Change of pupil dilation and companions

**Keywords**

Companion Technologie, Eyetracking, Emotion Detection

**Abstract**

**This paper describes the data processing of eyetracker data which was measured in the EmoBike project. The main focus will be to test several methods to improve the data quality and processing. The data will be set in context to the emotional state of the user and it will be checked if there is a connection between the different level events and the eyetracker data.**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Bisherige Arbeit . . . . .	2
1.2. Zielsetzung . . . . .	2
1.3. Gliederung . . . . .	4
<b>2. Projektaufbau</b>	<b>4</b>
2.1. Datenerhebung . . . . .	5
2.2. Datenqualität . . . . .	6
2.2.1. Verbesserter Versuchsaufbau . . . . .	6
2.2.2. Mathematische Verbesserung . . . . .	7
2.3. Datenverarbeitung . . . . .	11
<b>3. Fazit/Ausblick</b>	<b>14</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>16</b>

# 1. Einleitung

Der Begriff Companion Technologie beschreibt Softwareagenten, die in der Lage sind einen Nutzer individuell zu unterstützen. Hierbei werden nicht nur unterschiedliche Nutzer berücksichtigt, sondern auch Ihre jeweiligen emotionalen Zustände. Ein Companion ist in der Lage einen emotionalen Dialog mit dem Nutzer einzugehen.[1, 8]. Die Erfassung des emotionalen Zustandes des Nutzers ist somit essentiell für einen Companion.

Dieses Projekt ist ein Teil des EmoBike-Projektes der HAW Hamburg, welches sich mit der Companion Technologie befasst, und beschreibt Möglichkeiten der Emotionserkennung mittels eines Eyetrackers. Es wurde bereits gezeigt, dass die von Eyetracker gelieferten Information geeignet sind, um Aufschluss über den emotionalen Zustand eines Nutzers zu erlangen[2, 3]. Die Ausarbeitung hat den Schwerpunkt der Datenverarbeitung. Es wird untersucht welche Methoden geeignet sind um die Eyetrackerdaten automatisch auszuwerten.

### 1.1. Bisherige Arbeit

Die vorherige Arbeit [4] befasste sich mit der Datenerfassung. Das EmoBike Projektes wurde durch einen Eyetracker<sup>1</sup> erweitert und die Daten aufgezeichnet. Dies beinhaltet die Blickrichtung, den Blickpunkt auf dem Display und die Pupillengröße des Probanden. Diese Daten werden im Zusammenhang mit gewissen Events der EmoBike Level dargestellt. Eine beispielhafte Darstellung ist unter A.1 zu finden. Die senkrechten Markierungen zeigen hier den Sturz ins Wasser beim Sprung über die Rampe (Markierung 2) in Level 2 (siehe A.3). Es ist zu erkennen, dass dieses Event durch eine erhöhte Pupillengröße begleitet wurde.

Wichtig war in diesem Zusammenhang, dass der Eyetracker trotz der Bewegungen, die durch die Nutzung des EmoBikes entstehen, weiterhin Daten aufnimmt. Die Versuche wurden mit drei Probanden ausgeführt. Es wurde festgestellt, dass die Ausrichtung des Eyetrackers verbessert werden musste. Des weiteren war die Beleuchtung des Versuchsraumes nicht optimal. Wie diese Probleme behoben werden können, wird in Kapitel 2.2 beschrieben.

### 1.2. Zielsetzung

Ziel dieses Projektes ist, einen Erweiterung des in 1.1 beschriebenen Versuchsaufbaus umzusetzen. Dies beinhaltet eine Weiterverarbeitung der Daten, so dass diese mit den unterschiedlichen Events der EmoBike Level in Bezug gesetzt werden. So können Zusammenhänge zwischen Pupillen-

---

<sup>1</sup>Eyetracker Tobii X120: <http://www.tobii.com/de/eye-tracking-research/germany/produkte/hardware/tobii-x60-x120-eyetracker/>

## 1. Einleitung

---

größenänderungen und Level Events herausgearbeitet werden[6]. In der Abbildung A.1 ist zu sehen, dass die gemessene Pupillengröße hochfrequente sprunghafte Änderungen aufweist. Dies ist untypisch und daher auf eine Messungenauigkeit zurückzuführen. Es muss eine Möglichkeit gefunden werden um die Messdaten von solchen Fehlern zu bereinigen. Weiterhin ist die Standardpupillengröße von Proband zu Proband verschieden und daher als Indikator für den emotionalen Zustand ungeeignet. Es wird die Änderungsrate der Pupillengröße als Indikator verwendet, da diese von der Ursprungsgröße abstrahiert. Die Ziele für diese Projektarbeit setzten sich wie folgt zusammen:

1. **Datenbereinigung:** Damit die gemessenen Daten sinnvoll weiterverarbeitet werden können, müssen die Messfehler gering gehalten werden. Weiterhin muss eine Möglichkeit gefunden werden, diese aus den Messdaten herauszufiltern um so eine Glättung der Messkurve zu ermöglichen. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Ausschläge in den Messkurven auch auf die Events der Level zurückzuführen sind.
2. **Auswertung der Messdaten:** Es muss ein Verfahren zur Datenauswertung erstellt werden, welches eine gleichmäßige und genaue Datenauswertung ermöglicht. In dieser Arbeit wird die Änderungsrate der Pupillengröße ausgewertet um einen möglichen Zusammenhang mit den Levelentscheidungen und der zugehörigen induzierten Emotion herzustellen.

### 1.3. Gliederung

Die Kapitel 1 und 1.2 beschreiben die Motivation und die Ziele dieser Projektarbeit. Im Kapitel 1.1 wird Bezug auf die bisherigen Arbeiten in diesem Zusammenhang genommen um die Arbeit in diesen Kontext einzugliedern.

Im Kapitel 2 Projektaufbau wird der verwendete Versuchsaufbau erläutert.

Der Abschnitt 2.1 Datenerhebung erläutert, welche Daten ausgewertet werden und warum diese Daten erhoben werden. Danach werden diese Daten im Kapitel 2.2 Datenqualität auf ihre Qualität hin untersucht und es wird Bezug auf Verbesserungsmöglichkeiten genommen. Nach dieser Optimierung wird im Abschnitt 2.3 Datenverarbeitung beschrieben, mithilfe welcher Maßnahmen die Daten weiterverarbeitet werden um Ergebnisse im Hinblick auf die Zielsetzung (siehe 1.2) herauszuarbeiten.

Abschließend wird im 3. Kapitel ein Fazit gezogen und ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten gegeben.

## 2. Projektaufbau

Dieser Abschnitt beschreibt den Projektaufbau und die Versuchsdurchführung. Es wird erläutert welche Methoden zur Verbesserung der Datenqualität beitragen können und wie die gemessenen Daten sinnvoll ausgewertet werden können. Ziel ist die Auswertung der Daten des Eyetrackers im Hinblick auf die Auswertung des emotionalen Zustandes des Probanden.

Es werden drei Probanden die Level 1 und 2 (siehe A.2,A.3) durchfahren und die Daten werden ausgewertet.

### 2.1. Datenerhebung

Mithilfe des Eyetrackers ist es Möglich die Reaktionen der Augen des Probanden während eines Versuchsdurchlaufes zu messen. Die Daten werden mit 120 Hz aufgezeichnet. Für die Auswertung werden folgende Indikatoren in Betracht gezogen:

- **Blickrichtung:** Von Zhao et al. [9] wurde gezeigt, dass eine Aufspaltung der Grundemotionen in gerichtete und ungerichtete Emotionen die Klassifikation verbessern kann. Mithilfe des Eyetrackers kann herausgefunden werden, ob der Nutzer seine Aufmerksamkeit auf das Display gerichtet hat oder nicht.
- **Pupillengröße:** Die Änderungsrate der Pupillengröße ist ein Indikator für Stress oder Aufregung. Kawai et al. [6] haben gezeigt, dass die Pupillenänderungsrate mit positiven und negativen Emotionen in Verbindung gebracht werden kann.

Für die weiteren Untersuchungen in dieser Arbeit wird die **Pupillengröße** beziehungsweise die **Pupillenänderungsrate** als Indikator verwendet.

Für die Auswertung der gemessenen Indikatoren wird ein Verfahren entwickelt. Die so gespeicherten Daten können darauf hin mit Matlab<sup>1</sup> weiterverarbeitet werden.

---

<sup>1</sup>Matlab: <http://de.mathworks.com/products/matlab/>

## 2.2. Datenqualität

Dieser Abschnitt beschreibt Möglichkeiten um die Qualität der Messwerte zu verbessern. Die Abbildung A.1 zeigt hochfrequente Änderungen der Pupillengröße, welche auf Messungenauigkeiten zurückzuführen sind. In den folgenden Teilen wird untersucht, wie dieses Messergebnis verbessert werden kann. Es wird unterschieden zwischen Verbesserungen im Versuchsaufbau und der späteren Datenbereinigung mittels mathematischer Methoden.

### 2.2.1. Verbessertes Versuchsaufbau

Es hat sich herausgestellt, dass der bisherige Versuchsaufbau, wie in Kapitel 1.1 beschrieben, nicht optimal war. Die Hintergrund war im Gegensatz zur Helligkeit des Bildschirms sehr dunkel und die Position und Ausrichtung des Eyetrackers konnte ebenfalls verbessert werden.

Die folgenden Änderungen führen zu konsistenteren Messergebnissen:

1. **Hintergrundbeleuchtung:** Da die Änderung der Pupillengröße durch die Helligkeit der Umgebung beeinflusst wird, ist es wichtig, dass der Helligkeitsunterschied zwischen dem Display und dem Hintergrund möglichst gering ist. Dadurch ist die Änderung der Pupillengröße minimal wenn der Proband während des Versuchs in die Nähe des Displayrandes schaut. Hierfür wurde dem Versuchsaufbau eine Lampe hinzugefügt um den Hintergrund des Bildschirms zu beleuchten.
2. **Ausrichtung des Eyetrackers:** Der Eyetracker hat einen geringen Aufnahmebereich (ca. 50x50x50 cm), daher muss der Eyetracker

## 2. Projektaufbau

---

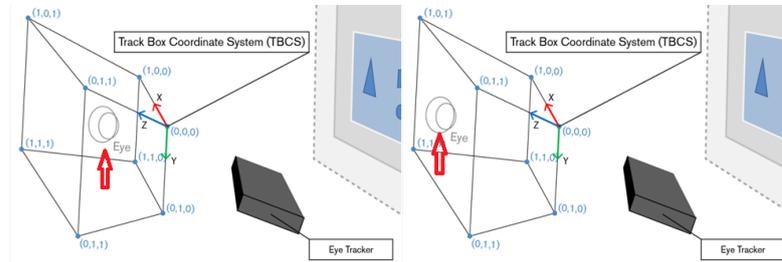


Abbildung 2.1.: Links zeigt die Position des Probanden in den vorherigen Versuchen, rechts ist die korrigierte Position abgebildet

für jeden Probanden einzeln ausgerichtet werden. Die bisherigen Versuche haben gezeigt, dass nach einer genauen Ausrichtung der Aufnahmebereich ausreichend ist, so dass während eines Versuches kaum Messausfälle auftreten.

Anfangs wurde der Eyetracker so ausgerichtet, dass die Augen des Probanden in der Mitte des dreidimensionalen Trackingbereiches sind. Da der Proband aufrecht auf dem EmoBike sitzt und mit ausgestreckten Armen den Lenker bedient, ist eine Bewegung nach hinten oder weiter nach oben sehr unwahrscheinlich. Um den gesamten Trackingbereich auszunutzen ist es sinnvoll den Eyetracker so auszurichten, dass die Augen des Probanden bei normaler Haltung im hinteren Bereich der Trackingbox liegen (siehe [Abbildung 2.1](#)).

### 2.2.2. Mathematische Verbesserung

Dieses Kapitel beschreibt mathematische Methoden die nach der Versuchsdurchführung angewendet werden, um die Daten von Messfehlern zu

## 2. Projektaufbau

---

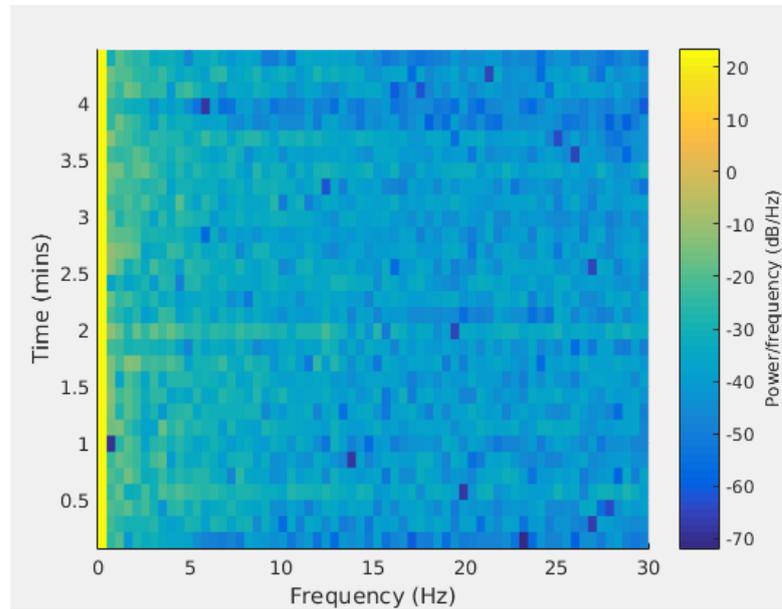


Abbildung 2.2.: Spektrogramm der Messdaten aus Abbildung A.1

befreien. Zuerst wird ein Spektrogramm der Messkurve erstellt um eine Übersicht über den Frequenzbereich der Messwerte zu erhalten. Mithilfe dieser Informationen kann dann ein gleitender Mittelwert oder ein Tiefpassfilter verwendet werden um die fehlerhaften Frequenzen herauszufiltern.

Diese drei Methoden werden im folgenden untersucht:

- 1 **Spektrogramm:** Mithilfe eines Spektrogrammes (2.2) können die auftretenden Frequenzen einer Messreihe visualisiert werden. Diese Abbildung zeigt, welche Frequenzen häufig vorkommen und geben uns die Möglichkeit anhand der auftretenden Frequenzen zu ent-

## 2. Projektaufbau

---

scheiden, welche Frequenzen herausgefiltert werden müssen um die Datenqualität anzuheben. In der Abbildung 2.2 ist sichtbar, dass die Frequenzen bis 4 Hz (gelb) eine hohe Amplitude haben. Die höheren Frequenzen (blau) sind nur mit sehr kleinen Amplituden vertreten. Dies zeigt, dass die Frequenzen ab 4 Hz die Messfehler beinhalten.

- 2 **Tiefpassfilter:** Ein Tiefpassfilter wird genutzt um hohe Frequenzen aus einer Kurve herauszufiltern. Ein Spektrogramm kann helfen um unerwünschte Frequenzen zu identifizieren. Mit einem entsprechenden Filter können diese beseitigt werden. Veränderungen der Pupillengröße sind im Verhältnis zur Aufnahme Frequenz von 120 Hz eher langsam. Bei den hochfrequenten Änderungen in den Messdaten handelt es sich daher um Ungenauigkeiten bei der Messung. Das Spektrogramm bestätigt diese Annahme.

Mithilfe des Spektrogrammes wurde herausgefunden, dass die Frequenzen über 4 Hz durch Messungenauigkeiten induziert wurden. Der Tiefpassfilter wird so konfiguriert, dass Frequenzen oberhalb dieser Grenze ausgefiltert werden.

- 3 **Gleitender Mittelwert:** Der gleitende Mittelwert beschreibt den Durchschnitt innerhalb eines Fensters, welches über den Messvektor geschoben wird. Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Gleichung:

## 2. Projektaufbau

---

Wenn  $N$  der gewählten Fenstergröße entspricht,  $N$  eine gerade Zahl ist und der Messvektor  $\hat{D}$  mindestens  $N$  Werte besitzt, gilt für den gleitenden Mittelwert  $M$  an der Stelle  $x$ :

$$M(x) = \frac{D(x + \frac{N}{2}) * D(x + \frac{N}{2} - 1) * \dots * D(x + \frac{N}{2} - N)}{N} \quad (2.1)$$

Mithilfe dieser Formel wird der gleitende Mittelwert berechnet. Durch diese Berechnung, verschieben sich die Ergebnisse um die halbe Fenstergröße (also  $\frac{N}{2} - 1$  Werte) verschieben. Dies muss ausgeglichen werden, damit der Zeitbezug weiterhin richtig ist. Die bearbeitete Messkurve wird durch die Anwendung des gleitenden Mittelwertes geglättet und so von den Messfehlern befreit.

Mithilfe dieser Methoden können Messfehler aus den Daten gefiltert werden, um die Weiterverarbeitung zu vereinfachen. Es wird untersucht welche Methode für diesen Versuch geeigneter ist. Ziel ist es eine gleichmäßige Messkurve zu erhalten die möglichst genau dem Trend der Messung folgt.

Die Abbildung 2.3 zeigt eine Messkurve vorher und nach der Bearbeitung durch einen Tiefpassfilter und durch einen gleitenden Mittelwert. Es ist deutlich, dass der gleitende Mittelwert ein besseres Ergebnis erzielt. Die bearbeitete Kurve folgt der ursprünglichen Messkurve genauer.

Daraus folgt, dass die Weiterverarbeitung mithilfe des gleitenden Mittelwertes in dieser Situation passender ist, daher wird dieser verwendet.

## 2. Projektaufbau

---

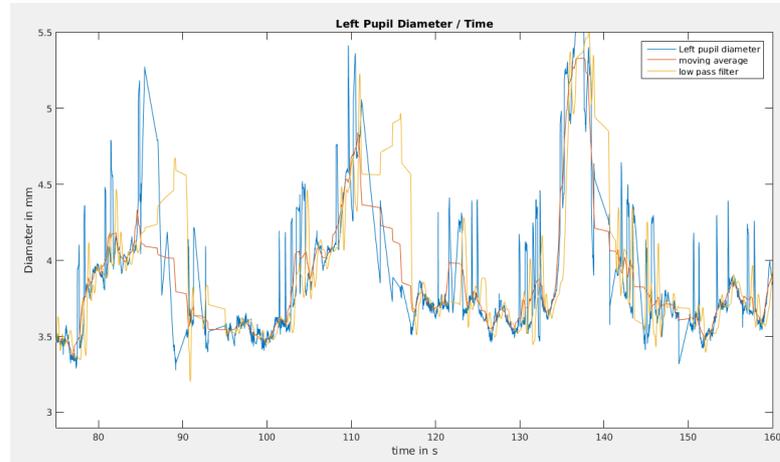


Abbildung 2.3.: Diese Abbildung zeigt den laufenden Durchschnitt und den Tiefpassfilter im Vergleich zu den original Daten

### 2.3. Datenverarbeitung

Dieser Abschnitt zeigt Methoden der Datenverarbeitung auf, die genutzt werden um relevante Daten herauszufiltern und zu markieren. Die Verarbeitung wird anhand der Daten des letzten Probanden ausgeführt, da diese sämtliche Verbesserungen am Versuchsaufbau enthalten. Nachdem die Daten wie oben optimiert und bereinigt worden sind, können Features extrahiert werden. Dadurch lässt sich prüfen ob ein messbarer Zusammenhang zwischen der Pupillengröße und den Levelfeatures besteht. Wie beschrieben wird nicht die Pupillengröße, sondern die Änderungsrate der Pupillengröße betrachtet. Die Änderungsrate, lässt sich durch die erste Ableitung der Pupillengrößenmessreihe bestimmen. Da die Zeitpunkte der Aufnahme der Messpunkte bekannt sind, kann die Änderungsrate be-

stimmt werden indem die Differenz der aufeinander folgenden Messwerte durch die Differenz der Zeitpunkte geteilt wird. Es ergibt sich folgende Formel, wenn  $\hat{x}$  der Messvektor und  $\hat{t}$  der Zeitpunktvektor ist und beide Vektoren die Länge  $N$  besitzen:

$$\dot{x}[1] = \frac{x[2] - x[1]}{t[2] - t[1]} \quad (2.2)$$

$$\dot{x}[2] = \frac{x[3] - x[2]}{t[3] - t[2]} \quad (2.3)$$

$$\dot{x}[N - 1] = \frac{x[N] - x[N - 1]}{t[N] - t[N - 1]} \quad (2.4)$$

Nachdem die Änderungsrate bestimmt wurde, kann diese mit den Levelents in Verbindung gebracht werden. Für eine bessere Übersicht werden die Maxima und Minima der Änderungsrate markiert. Ebenfalls werden die Zeitpunkte der gewünschten Levelents gekennzeichnet.

In Abbildung 2.4 zeigt einen Versuch indem Level 2 (A.3) durchfahren wurde. Es wird das Falling Event und das Start Level Event eingeblendet (senkrechte Linien). Ebenfalls wird der Durchschnitt und der Bereich der Standardabweichung angezeigt (horizontale Linien). Der Bereich innerhalb der Standardabweichung wird als normale Schwankung angesehen. Maxima und Minima die einer Steigung von mindestens der zweifachen Standardabweichung darstellen werden als relevant angesehen und sind markiert. Eine negative Änderungsrate (Verkleinerung der Pupillen) deutet auf mentalen Stress, Frust oder Überforderung hin. Eine positive Änderungsrate (Vergrößerung der Pupillen) ist ein Anzeichen für erhöhte Konzentration oder auch Erregung.

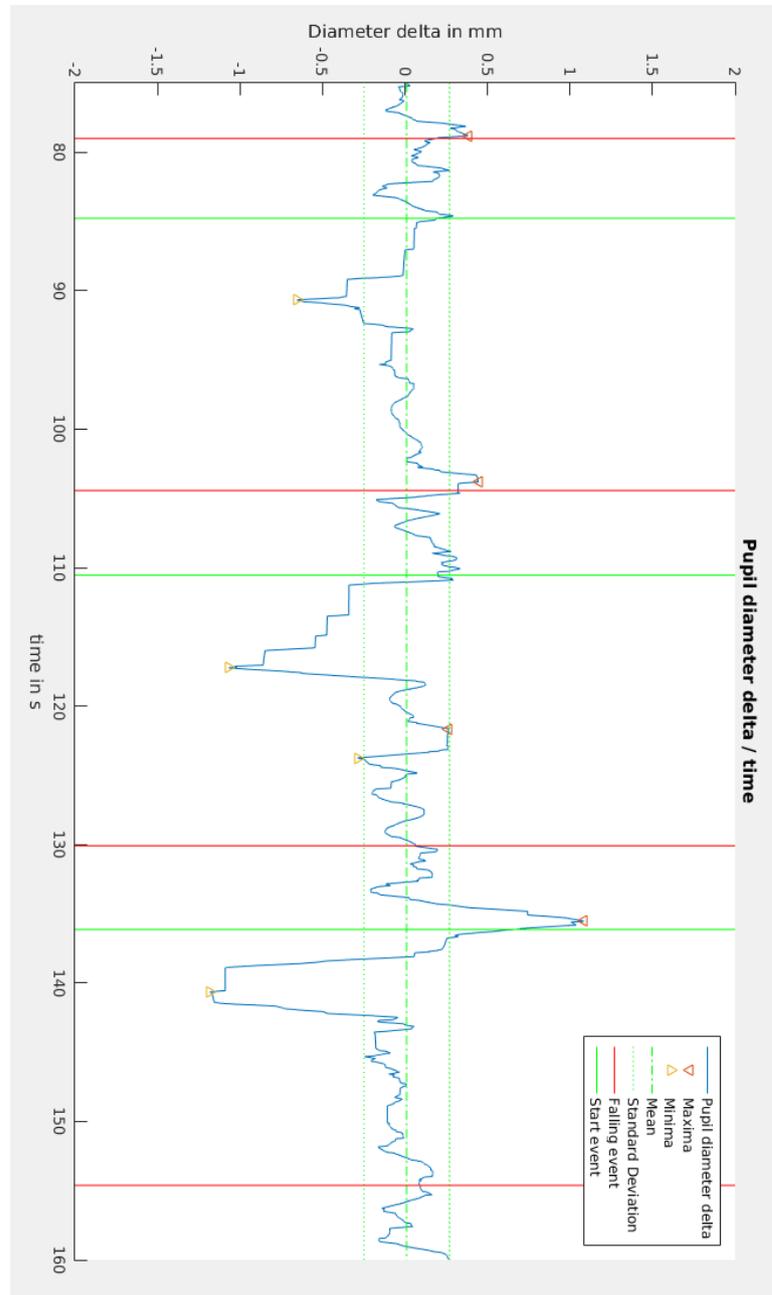


Abbildung 2.4.: Diese Abbildung zeigt die Änderungsrate der Pupillengröße. Die senkrechten Linien kennzeichnen das Level Events.

Die Extremwerte der Änderungsrate sind in der Abbildung 2.4 markiert und zeigen die schnellsten Änderungen der Pupillengröße an. Sie zeigen daher die Punkte, an denen die emotionalen Reaktionen des Probanden beginnen.

Die senkrechten Linien kennzeichnen die Zeitpunkte an denen das Level neu gestartet wurde(grün) und an denen der Proband, nach einem erfolglosen Sprung, beginnt zu fallen(rot).

Bevor der Proband zum Sprung ansetzt, ist eine Erweiterung der Pupillen zu erkennen. Dies deutet auf erhöhte Konzentration hin. Da der Sprung schwierig und die zu treffende Rampe schmal ist, ist dies zu erwarten.

Es ist deutlich, dass sich die Pupillen bei einem Levelneustart verkleinern. Dies könnte ein Anzeichen dafür sein, dass sich der Proband nach der Konzentrationsphase durch den Sprung entspannen kann, oder dass er Frust empfindet, da das Level erneut durchlaufen werden muss.

### 3. Fazit/Ausblick

In dieser Arbeit wurde untersucht ob ein Zusammenhang zwischen der Pupillengröße und dem emotionalen Zustand eines Probanden besteht. Der emotionale Zustand des Probanden wird in dem Versuchsaufbau durch Events in der virtuellen Welt beeinflusst und gesteuert.

Es wurde gezeigt, dass sich der Proband bei einem Neubeginn, nach einem Sturz von der Klippe, von Level 2 (siehe Abbildung A.3) entspannt

### 3. Fazit/Ausblick

---

bzw. dass eine Verkleinerung der Pupillen nach diesem Event zu beobachten war. Vor dem Sprung über die Rampe erweitern sich die Pupillen, was auf erhöhte Konzentration hindeutet.

Der Schwerpunkt lag auf der Weiterverarbeitung und Optimierung der Messdaten in Hinblick auf die genannten Ziele. Es wurde gezeigt, dass ein Zusammenhang der Pupillengröße, der Emotionen und der Levevents herstellbar ist. Da der Fokus dieser Arbeit auf der Datenverarbeitung und Optimierung liegt, stehen weiterführende Versuche in diesem Bereich noch aus.

Der Eyetracker ist unter Anwendung der hier genannten Methoden ein geeigneter Sensor um die Pupillenänderungsrate zu bestimmen. Obwohl Messungenauigkeiten durch Bewegung und Helligkeitsunterschiede entstehen, sind diese im Vergleich zu den betrachteten Reaktion der Pupillen gering genug um diese nicht zu verdecken.

Neben dem Eyetracker sind in dem EmoBike weitere Sensoren (Biosensoren, Kameras ...) verbaut. Eine Untersuchung zur Fusion der Sensordaten um eine bessere Klassifikation der Emotionen zu erreichen ist ebenfalls erfolgversprechend [5, 7].

## **A. Anhang**

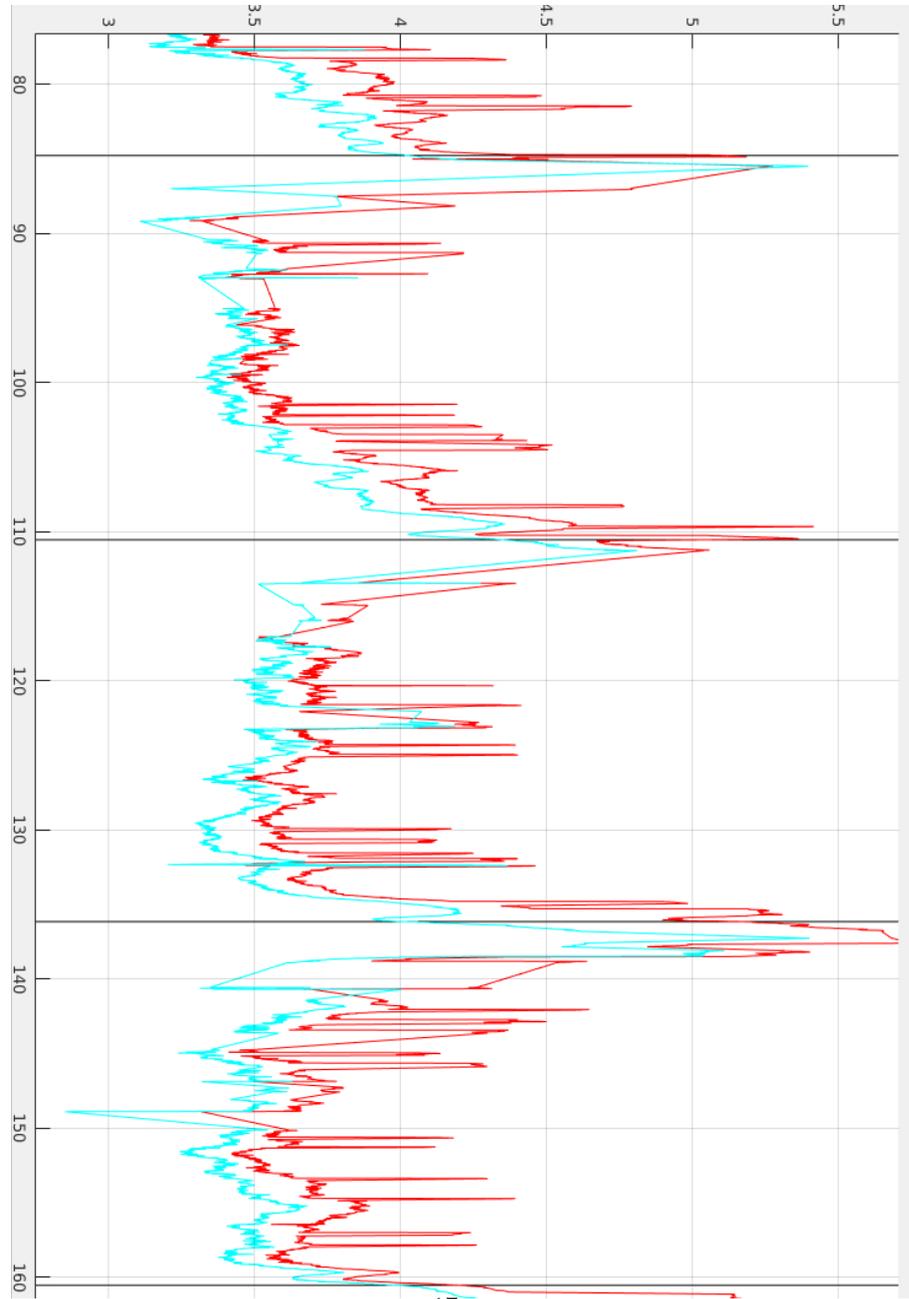


Abbildung A.1.: Analyse Pupillengröße: Größe in mm, Zeit in s, linke Pupille = rot, rechte Pupille = blau

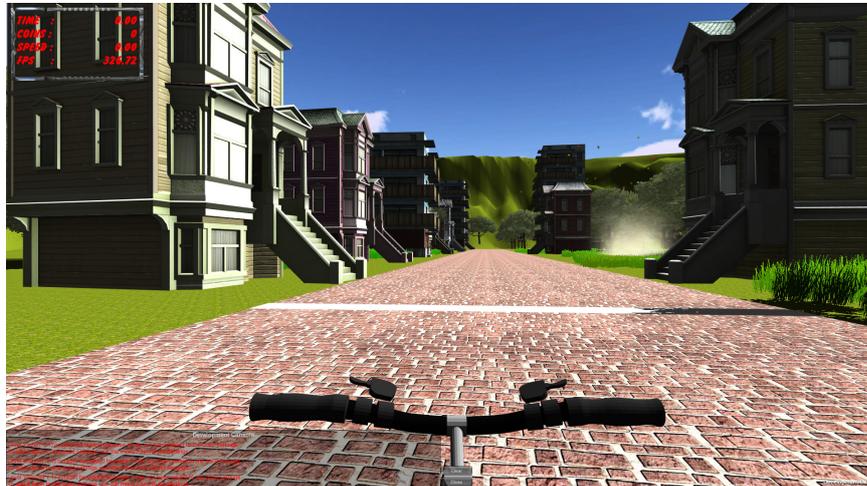


Abbildung A.2.: EmoBike Level 1: Einleitung

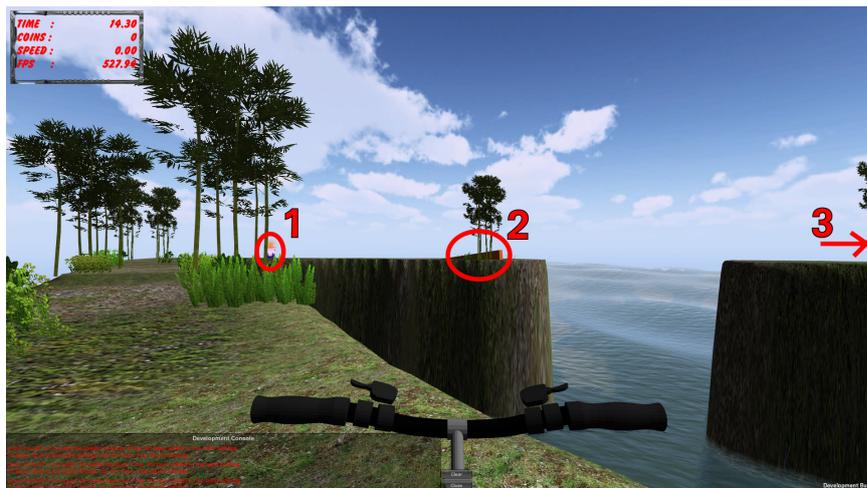


Abbildung A.3.: EmoBike Level 2: Stress/Frustration mit (1) Beschleuniger, (2) Rampe und (3) Zieleinfahrt

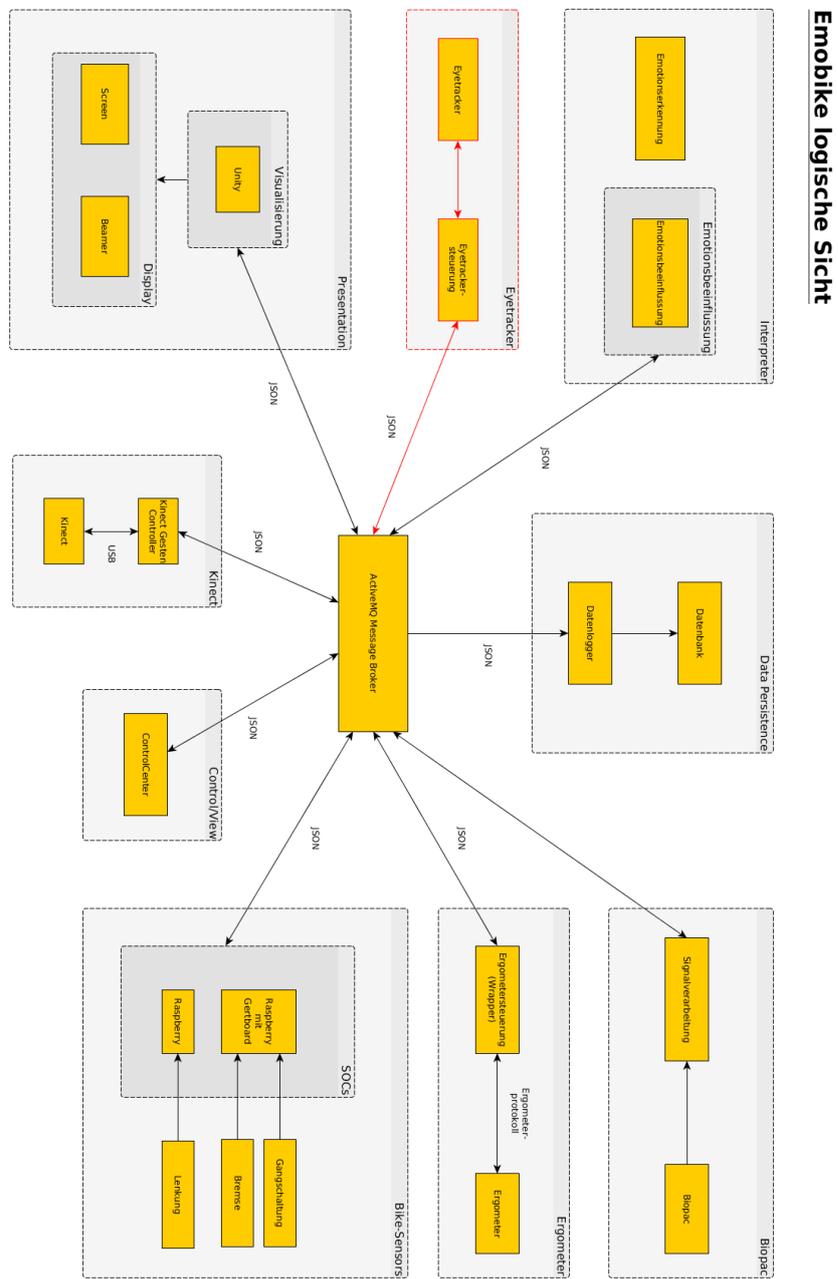


Abbildung A.4.: logische Sicht des EmoBike Projektes erweitert um den Eyetracker. (Quelle Ursprungsbild: Jonas Hornschuh)

## Literaturverzeichnis

- [1] SFB Transregio 62. Eine companion-technologie für kognitive technische systeme. URL <http://www.sfb-trr-62.de/>.
- [2] Kai Bielenberg. Companion technologie - emotionen erkennen, verstehen und verarbeiten, . URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2014-aw2/bielenberg/bericht.pdf>.
- [3] Kai Bielenberg. Companion technologie - eyetracker und emotionen, . URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2014-sem/bielenberg/bericht.pdf>.
- [4] Kai Bielenberg. Eyetracker im kontext der companiontechnologie, . URL <https://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2015-proj/bielenberg.pdf>.
- [5] Carlos Busso, Zhigang Deng, Serdar Yildirim, Murtaza Bulut, Chul Min Lee, Abe Kazemzadeh, Sungbok Lee, Ulrich Neumann, and Shrikanth Narayanan. Analysis of emotion recognition using facial expressions, speech and multimodal information. In *Proceedings of the*

*6th International Conference on Multimodal Interfaces, ICMI '04*, pages 205–211, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN 1-58113-995-0. doi: 10.1145/1027933.1027968. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1027933.1027968>.

- [6] S. Kawai, H. Takano, and K. Nakamura. Pupil diameter variation in positive and negative emotions with visual stimulus. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on*, pages 4179–4183, Oct 2013. doi: 10.1109/SMC.2013.712.
- [7] S. Walter, Jonghwa Kim, D. Hrabal, S.C. Crawcour, H. Kessler, and H.C. Traue. Transsituational individual-specific biopsychological classification of emotions. *Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on*, 43(4):988–995, July 2013. ISSN 2168-2216. doi: 10.1109/TSMCA.2012.2216869.
- [8] Yorrick Wilks. *Close engagements with artificial companions: key social, psychological, ethical and design issues*, volume 8. John Benjamins Publishing, 2010.
- [9] Yisu Zhao, Xin Wang, and E.M. Petriu. Facial expression analysis using eye gaze information. In *Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications (CIMS), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1–4, Sept 2011. doi: 10.1109/CIMS.2011.6059936.