

Erfassung sensorischer Fähigkeiten bei Kindern mit Autismus mittels Touchscreen und Berührungssensoren

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Medieninformatik

eingereicht von

Martin Riederer, BSc

Matrikelnummer 0625100

an der
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung

Betreuer: Privatdoz. Mag. Dr. Hannes Kaufmann

Mitwirkung: Univ.Ass. Dipl.-Ing. Christian Schönauer

Wien, 27.11.2014

(Unterschrift Verfasser/in)

(Unterschrift Betreuer/in)

„Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.“

Ort, Datum, Unterschrift

Kurzfassung

Autismus ist eine weit verbreitete Entwicklungsstörung mit einer durchschnittlichen Prävalenz von weniger als 1%. Die Störungen zeigen sich vor allem durch Einschränkungen in den Bereichen Interaktion, Bewegung und Kommunikation. Aktuell forschen viele Länder und Institutionen an den Mechanismen von Autismus, um diese besser zu verstehen und dagegen Maßnahmen setzen zu können. Aktuell versuchen neue Studien einen Zusammenhang zwischen Autismus und Einschränkungen in der sensorischen und propriozeptiven Verarbeitung zu finden.

In dieser Arbeit wird eine neue Methode zur Erfassung der propriozeptiven Fähigkeiten bei Kindern mit Autismus vorgestellt. Dazu wurden Messgeräte entwickelt, die Kraft- und Berührungssensoren zusammen mit günstigen Arduino-Boards und Shields kombinieren. Die so erfassten Messdaten werden drahtlos auf ein mobiles Endgerät, beispielsweise ein Smartphone oder Tablet übertragen, dort gespeichert und auch ausgewertet. Die Software-Applikation baut dabei auf einem Cross-Plattform Framework auf, um möglichst geräteunabhängig zu sein.

In einem Pilottest wurden die Messgeräte mit normal entwickelten Kindern auf deren Funktionalität und Benutzbarkeit hin getestet. Zusätzlich wurden diese Geräte mit definierten Gewichten und Referenzwerten auf deren Genauigkeit und Zuverlässigkeit überprüft. In einem weiteren Schritt werden die Messgeräte von einer Psychologin für eine größere Studie bei Kindern mit Autismus angewendet.

Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a pervasive developmental disorder with an average prevalence of less than one percent. It is characterized by impairments in social, communication and behavioral skills. Many countries prioritize autism research in order to better understand the causes and mechanisms of this disorder and to develop more specific and causal treatments compared to the dominating symptomatic approach of behavior modification. An emerging line of research that attempts to reveal underlying mechanisms of Autism Spectrum Disorder (ASD) studies differences in sensory processing in individuals with ASD.

In this work we introduce new methods to measure proprioceptive functions of children with ASD. The instruments use low-cost Arduino boards and shields to acquire data from force and touch sensors. The received data is transferred to mobile devices and analyzed with a cross-platform software application.

The instruments were pilot tested with typically developing children to test for functionality and usability of the instruments. Furthermore they were tested with known measures to show the accuracy and robustness of the developed system. In the future, they will be used in a larger study with children with ASD.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	8
1.1	Überblick.....	8
1.2	Gliederung der Diplomarbeit	9
2	Autismus	10
2.1	Was ist Autismus?.....	10
2.2	Historische Entwicklung	11
2.3	Propriozeption und Autismus.....	11
3	Computertechnik und Autismus	12
3.1	Serious Games	12
3.2	Sensorik und Propriozeption.....	13
3.3	MRI, EEG und CT.....	14
4	Ubiquitous Computing	15
4.1	Physical Computing	15
4.1.1	Plattformen	15
4.1.2	Schnittstellen.....	16
4.1.3	Force Sensing Resistor.....	19
4.1.4	Touchscreens	21
4.2	Arduino-Entwicklung	23
4.3	Mobile Applikationen	24
4.3.1	HTML5 & JavaScript.....	24
4.3.2	Lokale Datenspeicherung.....	25
4.3.3	PhoneGap	26
4.3.4	PhoneGap Build.....	27
5	Konzeption	29
5.1	Wahl des Entwicklungsprozesses	29
5.2	Anforderungen und Rahmenbedingungen	29
5.2.1	Funktionale Anforderungen	30
5.2.2	Nicht funktionale Anforderungen.....	31
5.2.3	Use-Case Analyse	31

5.2.4	Übersicht über die Anwendungsfälle.....	32
5.3	Projektplanung.....	34
5.4	Testdesign und Task Konzept	34
5.5	Hardware Design	36
6	Grading of Force	37
6.1	Funktionsweise	37
6.2	Komponenten	37
6.2.1	Sensor.....	37
6.2.2	Controller	38
6.2.3	Stromversorgung	38
6.3	Kraftmessung mit FSR.....	39
6.4	Entwurfsprozess.....	41
7	Grading of Movement.....	44
7.1	Test nach Ayres	44
7.2	Test nach Soechting	45
7.3	Finger to Finger Test	46
7.4	Komponenten	47
7.4.1	Touchscreen	47
7.4.2	Touchscreen-Controller.....	48
7.4.3	Gehäuse.....	50
7.4.4	Kommunikationsmodul.....	51
7.4.5	Hochrahmen	52
7.5	Ablauf der Messwertabfrage	53
7.6	Entwurfsprozess.....	54
8	Die mobile Applikation.....	56
8.1	Features	56
8.2	UI-Design	57
8.3	Module	58
8.3.1	Infos	58
8.3.2	Einstellungen.....	58

8.3.3	Personenverwaltung	58
8.3.4	Testdurchführung	58
8.3.5	Auswertung	58
8.3.6	E-Mail Versand	58
8.4	Implementierung	59
8.4.1	Konfiguration	59
8.4.2	Plug-Ins und Bibliotheken	59
8.4.3	Struktur	61
8.4.4	Datenbank	61
8.4.5	Charts	62
8.4.6	Vektorgrafiken	62
8.4.7	Sounds	62
8.5	Testdaten	62
9	Bedienkonzept und Anleitung	63
9.1	GoM-Gerät	63
9.1.1	Vorbereitungen	63
9.1.2	Start der Tests	66
9.2	GoF-Gerät	69
9.2.1	Vorbereitungen	69
9.2.2	Starten der Tests	69
9.3	Kopplungscodes für die Bluetooth-Verbindung:	71
10	Evaluierung	72
10.1	Funktionstests	72
10.2	Testreihe mit gesunden Kindern	75
11	Zusammenfassung und Ausblick	77
12	Danksagung	78
13	Abbildungsverzeichnis	79
14	Literaturverzeichnis	81
15	Anhang	84

1 Einleitung

1.1 Überblick

Autismus ist eine weit verbreitete Entwicklungsstörung, die sich durch fehlende Kompetenz in den Bereichen Verhalten, Interaktion und Kommunikation manifestiert. Die durchschnittliche Prävalenz wird in verschiedenen Studien mit einem Wert zwischen 0,6% und 1% [1, 2] angegeben. In der Forschung gibt es verschiedene Ansätze die Entwicklungsstörung zu erkennen, beziehungsweise die Möglichkeiten zur Heilung und Rehabilitation zu verbessern. Einer unter diesen Ansätzen, ist die Messung der sensorischen Fähigkeiten an Personen mit Autismus, wobei es hier bereits eine Vielzahl an Studien [3, 4] gibt. Viele dieser Studien verwenden als Grundlage umfangreiche Fragebögen, oder nutzen das direkte Gespräch mit den Eltern. Die ausgewerteten Daten werden daher nur indirekt erfasst und sind somit potentiell ungenau. In den letzten Jahren wird nun versucht, durch neue Tests unter Nutzung moderner technischer Geräte die Daten objektiv und unverfälscht zu erfassen [5-7]. Die dabei erkannten Indikatoren können in weiterer Folge bereits im frühkindlichen Alter zur Feststellung einer möglichen Entwicklungsstörung genutzt werden. Ein Teil des sensorischen Systems, der in diesem Zusammenhang bisher nur wenig erforscht wurde, ist der propriozeptive Sinn. Dieser transportiert Informationen von Rezeptoren, die in Muskeln und Gelenken vorhanden sind, die beispielsweise die Stellung eines Gelenks oder die Kontraktionsstärke eines Muskels ergeben. Die dadurch erfassten Informationen dienen vor allem zur Planung von motorischen Bewegungen und Handlungen, beziehungsweise zur Steuerung des notwendigen Kraftaufwandes.

Die Propriozeption und die damit verbundenen Fähigkeiten und Einschränkungen, bilden das Thema dieser Diplomarbeit. Es wird untersucht, wie elektronische Messinstrumente den Zusammenhang zwischen Entwicklungsstörungen des autistischen Spektrums und den motorisch-sensorischen Fähigkeiten bei Kindern ermitteln können. Dazu wurden Messgeräte entwickelt, mit denen der propriozeptive Teil der menschlichen Sinneswahrnehmung untersucht werden kann. Dadurch wird es ermöglicht, sowohl die Bewegungsplanung, als auch die Kraftsteuerung zu erfassen und auszuwerten. Die Implementierung wurde aufgrund der aktuellen Trends zur Mobilität und Plattform-Unabhängigkeit, auf mobilen Endgeräten durchgeführt [8].

1.2 Gliederung der Diplomarbeit

Diese Diplomarbeit ist in insgesamt 5 Hauptthemen, der Definition von Autismus, dem aktuellen Forschungsstand, den technischen Grundlagen von Ubiquitous Computing im Bereich Healthcare, die Implementierung selbst und zuletzt die Evaluierung des entwickelten Systems unterteilt. Am Ende finden sich eine Zusammenfassung des behandelten Themas sowie ein kurzer Ausblick auf weitere mögliche Forschungsthemen.

Im Kapitel 2 wird das Thema Autismus von der medizinischen Seite dargestellt, und in Zusammenhang mit dem Thema Propriozeption im menschlichen Körper gebracht. Dazu werden die typischen Ausprägungen des Autismus beschrieben und mit Studien zu Prävalenz, Diagnostik und Rehabilitation dargestellt.

Das Kapitel 3 stellt den aktuellen Stand der Forschung auf dem Gebiet der technisch und elektronisch unterstützten Diagnose und Rehabilitation, im Kontext des Autismus, überblicksmäßig dar. Des Weiteren werden auch die im Zusammenhang mit dieser Diplomarbeit stehenden Arbeiten betrachtet.

Im Kapitel 4 werden die technischen Grundlagen zu Ubiquitous Computing, wie beispielsweise Themen der Mikroelektronik, Sensorik und deren spezifischen Schnittstellen diskutiert.

Die Kapitel 5 bis 9 beschreiben den Hauptteil der Implementierung des Systems zur Messung der propriozeptiven Fähigkeiten von Kindern. Hier werden die Anforderungen an das System, die einzelnen Testkonzepte, sowie die Implementierungsdetails der Mikroelektronik, Software und Bedienelemente dargestellt. Es wird das Bedienkonzept vorgestellt, sowie eine Anleitung zum Ablauf der Tests gegeben.

In Kapitel 10 werden Evaluierungen, einerseits mit einfachen Messungen, und andererseits mit einer Gruppe von Kindern diskutiert. Diese Tests geben auch Aufschluss über die Praxistauglichkeit sowie etwaige weitere Verwendungszwecke des implementierten Systems.

2 Autismus

In diesem Abschnitt wird ein kurzer Überblick über Autismus im Allgemeinen, dessen Symptome beziehungsweise Auswirkungen, sowie die Zusammenhänge mit dem propriozeptiven Sinn gegeben.

2.1 Was ist Autismus?

Autismus, oder oft in der Fachliteratur auch Störungen des autistischen Spektrums beziehungsweise autistischen Formenkreises genannt, beeinträchtigt Personen in deren Fähigkeit zu sozialer Interaktion, Kommunikation und Bewegungssteuerung. Das Krankheitsbild wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in deren Diagnoseklassifikationssystem, ICD-10¹, in mehrere Teilbereiche gegliedert. Die relevantesten Erkrankungen sind hier der frühkindliche Autismus (Kanner-Syndrom) und das Asperger-Syndrom. Beim Kanner-Syndrom treten die ersten Auffälligkeiten, wie eine fehlende Sprachenwicklung und verminderter Blickkontakt, bereits ab dem 10. bis 12. Lebensmonat auf. Hingegen findet man beim Asperger-Syndrom die ersten Anzeichen erst ab dem 3. Lebensjahr. Bei beiden Formen treten typischerweise Symptome einer abnormalen Sinnesverarbeitung auf, die zu einer Fehlwahrnehmung der Umgebung führen. Betroffene Personen haben meist ein vermindertes Interesse an deren Umwelt und Mitmenschen, wobei im Gegensatz dazu häufig ein Interesse an speziellen Einzelthemen (Inselinteresse) besteht. Emotionen, wie Furcht, Liebe oder Wut, können ebenso vermindert wie verstärkt auftreten. Dies kann häufig zu einer Verschlussenheit, beziehungsweise auf der anderen Seite zu einem erhöhten Aufregungspotential führen [9-11].

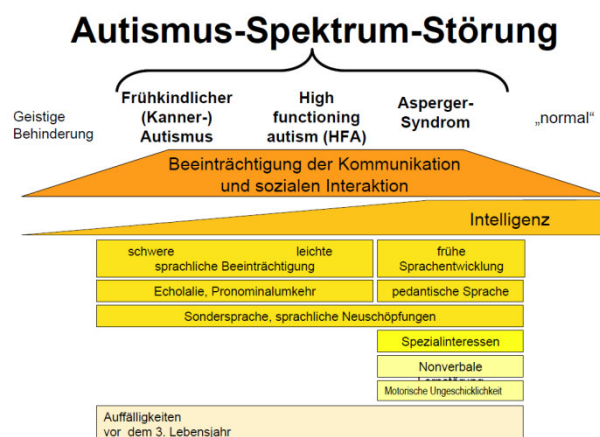


Abbildung 1 Übersicht Autismus-Spektrum-Störung [12]

¹<http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2010/en>

Die Einteilung der einzelnen Krankheitsbilder wird wie bereits erwähnt, durch die WHO unter dem Titel „International Classification of Diseases“ in der aktuellen Version 10 (ICD-10) herausgegeben. Dieser Katalog dient zur Klassifikation von Krankheiten und Gesundheitsproblemen. Die Störungen des autistischen Spektrums sind darin unter dem Absatz F84 „Pervasive developmental disorders“ zu finden [1].

Die Diagnose der Krankheit kann aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Auffälligkeiten und Ausprägungen nicht einfach durch organische Befunde begründet werden. Daher ist eine gründliche Anamnese und Beobachtung der Patienten notwendig. Diese wird durch eine Reihe standardisierter Tests und Fragebögen unterstützt, wobei zusätzlich zu diesen Tests auch Intelligenzdiagnostik, Labor- und EEG–Untersuchungen zum Einsatz kommen [9, 10, 12].

2.2 Historische Entwicklung

Die Erforschung und Definition des Autismus findet sich in den 1940er Jahren, und wurde durch Leo Kanner und Hans Asperger geprägt. Kanner definierte den frühkindlichen Autismus im Jahre 1943 in den USA, wohingegen Asperger 1944 die Erkrankung in Wien als autistische Psychopathie definierte. In späterer Folge wurde diese Definition von Lorna Wing in das Asperger-Syndrom umbenannt und beide Definitionen im Jahr 1990 unter dem Sammelbegriff „Autismus“ im ICD-10 der WHO aufgenommen. Mittlerweile wird hauptsächlich der Begriff der „Autismus-Spektrum-Störung (ASS)“ verwendet, wobei dieser die Begriffe „Frühkindlicher Autismus“, „Atypischer Autismus“ und „Asperger-Syndrom“ subsummiert [12].

2.3 Propriozeption und Autismus

Unter der Propriozeption versteht man einen Teil unseres Nervensystems, der zur Bewegungs- und Haltungssteuerung dient. Durch Rezeptoren in den Muskeln, Gelenken, Sehnen und unter der Haut werden Reize generiert, die in das zentrale Nervensystem (ZNS) weitergeleitet werden. Diese Reize können durch Druck, Zug oder Vibration an den entsprechenden Stellen des Körpers erzeugt werden. Zusammen mit den Reizen des Gleichgewichtsorgans, kann somit das ZNS die Lage und Bewegung des Körpers bestimmen [13].

Studien [11, 14] zeigten, dass Personen mit ASS die Informationen des propriozeptiven Systems in anderer Art und Weise benutzen, als gesunde Personen.

3 Computertechnik und Autismus

Informations- und Kommunikationstechnologien spielen eine sehr wichtige Rolle im Bereich der Forschung an Autismus. Es gibt hier viele Möglichkeiten zur Verwendung von IKT-gestützten Systemen zur Untersuchung, Diagnostik und Unterstützung. Einige dieser Ansätze und Methoden werden in diesem Kapitel präsentiert [9, 10].

3.1 Serious Games

Eine Möglichkeit die Fähigkeiten von Kindern mit Autismus zu überprüfen, beziehungsweise zu verbessern, bilden sogenannte Serious Games. Dies sind Computerspiele, die im Gegensatz zu normalen Spielen, einen ernsten, meist medizinischen Hintergrund haben.

Ein Spiel zur Erfassung der Interaktionsfähigkeit von Kindern hat eine Gruppe der Universität Deusto aus Spanien entwickelt. Es hat das Ziel, die sozialen Kompetenzen bei Kindern zwischen 5 und 8 Jahren zu erfassen. Dazu wird ein Computerspiel mit einem Eye-Tracker kombiniert, der die Augenbewegungen und Fixationsphasen aufzeichnet. Das Spiel verläuft in 4 Stufen, wobei die erste Stufe dem Kennenlernen des Spieles dient. In den einzelnen Stufen werden unterschiedliche Gegenstände und Grafiken gezeigt, die eine Interaktion der Testperson erfordern. Je höher die Stufe ist, desto aufwändiger wird die Interaktion. Nach dem Ende eines Testversuchs werden die ermittelten Fixationsbereiche als Heat-Map dargestellt [5].

Ebenfalls an der Universität Deusto entwickelt wurde ein Computerspiel zur Sprachverbesserung bei Kindern und Jugendlichen mit Autismus. Das System besteht aus einer Datenbank, in der Wörter zusammen mit Bildern gespeichert sind. Kern der Software ist ein Spracherkennungsmodul. Die Aufgabe besteht darin, ein angezeigtes Bild akustisch zu benennen. Dies wird durch die Spracherkennung ausgewertet und für Analysen gespeichert [6].

Die Erkennung von Emotionen bei Mitmenschen ist das Thema des Projektes FACE, von der Universität Pisa. Unter Anleitung einer Therapeutin und Verwendung eines humanoiden Roboters, sollen Kinder Emotionen erkennen und lernen. Der Kopf des Roboters soll dabei einen menschlich Kopf nachahmen [15].

Eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung von Kindern mit Autismus bildet das Gebiet der Virtual Reality. Nachdem die Therapie mit Delphinen bei Kindern Erfolge zeigte, versuchte eine Gruppe aus Singapur diesen Ansatz mit Hilfe einer virtuellen Umgebung nachzubauen. Die Kinder können dabei durch Handbewegungen mit den Delphinen interagieren. Beispielsweise kann der Delphin mit der linken Hand begrüßt werden, und dieser spritzt als Antwort mit Wasser herum. Es wurde dazu auch eine Studie mit mehreren Kindern zwischen 6 und 17 Jahren durchgeführt, wobei diese zeigte, dass nicht alle Kinder von dieser Umgebung begeistert waren [16].

3.2 Sensorik und Propriozeption

Sensorische und motorische Fähigkeiten entwickeln sich bereits im frühen Kindesalter. Viele Wissenschaftler untersuchen dieses Forschungsfeld hinsichtlich der Zusammenhänge mit Autismus. Im folgenden Abschnitt werden einige Arbeiten vorgestellt, die in diesen Forschungsbereich fallen.

Ob es einen Zusammenhang zwischen motorischen Funktionen, wie beispielsweise Gehen, Balancieren oder Greifen mit Autismus gibt, hat eine Gruppe der University of North Texas untersucht [17]. Dabei wurde ein Versuchsaufbau mit einer Virtual-Reality Umgebung implementiert, und mit Kindern im Alter von 2 bis 12 Jahren evaluiert. Die Kinder führten dabei auf einem Laufband, mit integrierten Kraftsensoren, definierte Aufgaben aus. Zur Erkennung der Position der Gelenke wurden reflektierende Markierungen am Kopf, Rumpf und den Extremitäten angebracht. Die Aufgaben bestanden aus einfachem Balancieren für eine gewisse Zeit, über Laufaufgaben, bis hin zu komplizierteren Zeige- und Greifaufgaben mit den Händen.

An der University of Iowa wurde eine Multi-Touch Tablet Applikation² entwickelt, die Kindern mit Autismus hilft ihre sozialen Fähigkeiten zu verbessern. Es wurden dabei unterschiedliche Aufgaben implementiert, die mit den Fingern oder einem Stift durchgeführt werden können. Eine davon, ist eine Zeichenapplikation mit der Geschichten graphisch erzählt werden können. Ein Musik-Editor ermöglicht es den Kindern hohe und tiefe Töne in einer zeitlichen Abfolge zusammenzusetzen und abzuspielen. Das Lösen eines Puzzles ist das Thema in der Applikation Untangle, wobei Kreise, die durch Linien verbunden sind, entwirrt werden müssen. Eine weitere

² <http://homepage.cs.uiowa.edu/~hourcade/projects/asd/>

Applikation ist Photogoo, bei der Bilder von Gesichtern verzerrt und manipuliert werden können [18].

Die Messung der motorischen Fähigkeiten von Babys und Kleinkindern ist das Thema einer Arbeit [19] der Universität von Rom. Die untersuchte Zielgruppe befindet sich dabei in einem Alter von 12 bis 36 Monaten. Das Projekt basiert auf verschiedenen Inertial-Sensoren, die einerseits an den Handgelenken des Kindes, und andererseits an bestimmten Gegenständen, die von den Kindern verwendet werden sollen, angebracht sind. Das Messsystem sollte die Kinder bei den durchzuführenden Übungen nicht stören oder beeinträchtigen. Implementiert wurden 3 Aufgaben, ein Ballwurf in eine offene Box, das Aufbauen eines Turms und das Einwerfen von Gegenständen in eine Box mit definierten Öffnungen. Die Lage und Geschwindigkeit der Sensoren soll dabei Aufschluss über die motorischen Fähigkeiten geben.

3.3 MRI, EEG und CT

Neben den aktiven Untersuchungen, gibt es auch passive Möglichkeiten, bei denen die Personen keine Aufgaben durchführen müssen. Diese werden beispielsweise durch Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT) oder Elektroenzephalografie (EEG) ermöglicht.

Ein vielversprechender Ansatz Autismus zu erkennen, ist die Analyse des Corpus Callosum (CC). Der CC ist eine große, quer verlaufende Verbindungsstelle zwischen der linken und rechten Gehirnhälfte. Dieser zeigte bei neuropathologischen Untersuchungen Abweichungen zu normalen CC. Eine Gruppe der University of Louisville, USA, und der University of Auckland, Neuseeland, fanden hier bei der Analyse von 3D Magnetresonanz-Bildern (MRI) ebenfalls Unterschiede [20].

Durch den Einsatz von EEG konnte eine Gruppe der Universität von Kuala Lumpur ein Unterscheidungsmerkmal zwischen gesunden und erkrankten Kindern finden. Dabei wurden der Testperson Videos von Bewegungen vorgespielt, die in einem weiteren Schritt selbst durchgeführt werden sollten. Während dieses Vorgangs, wurden die Hirnströme mittels EEG aufgezeichnet und in weiterer Folge ausgewertet [4].

4 Ubiquitous Computing

Der Begriff Ubiquitous Computing beschreibt die Allgegenwart von Computern in unserer Welt. Aufgrund der Miniaturisierung finden Computer in immer mehr Bereichen Anwendung. Einer dieser Bereiche ist das Physical Computing, der im nächsten Abschnitt 4.1 dargestellt wird [21].

4.1 Physical Computing

Im Bereich des Physical Computing interagieren elektronische Geräte, die aus Hard- und Software bestehen, mit ihrer Umwelt und umgekehrt. Der Begriff entstand vor allem durch Projekte im Bereich der künstlerischen Gestaltung und durch Bastelarbeiten. Es werden dabei unterschiedliche elektronische Komponenten, unter anderem Mikrocontroller, Sensoren, Aktoren verwendet. Dieser Abschnitt soll einen kurzen Überblick über diese Komponenten, und wie sie miteinander verbunden werden, geben.

4.1.1 Plattformen

Eine Plattform ermöglicht die Entwicklung und Implementierung von spezifischen Lösungen, ohne dabei Leiterplatten oder Bauteile extra fertigen zu müssen. Die meisten Einplatinen-Computer sind dabei so universell, dass neue Funktionalität durch einfaches verbinden mit Modulen oder Shields hinzugefügt werden kann. Es gibt aktuell viele verschiedene Plattformen auf dem Markt, wobei die bekanntesten wohl diejenigen von Arduino oder Raspberry Pi sind. Für die meisten dieser Plattformen sind auch IDEs und Software-Bibliotheken verfügbar, um die Entwicklungsarbeit zu vereinfachen und beschleunigen.

Arduino³ ist eine der bekanntesten Open-Source Plattformen. Es wird dabei einfach zu benutzende Hardware mit Software kombiniert, um interaktive Systeme zu implementieren. Die Hardware kann direkt beim Hersteller oder auch über Distributoren bezogen werden. Als Entwicklungsumgebung für die Software, können sowohl die frei verfügbare Arduino IDE oder auch kommerzielle Produkte, wie das Atmel Studio, verwendet werden. Die Basisplatine beinhaltet als Hauptkomponente einen Mikrocontroller oder eine CPU deren Ports mittels Steckverbindungen nach außen geführt sind. Die Erweiterung um neue Features, beispielsweise Bluetooth,

³ <http://arduino.cc/>

kann auf Basis von Shields oder Modulen, die einfach auf die Basisplatine aufgesteckt werden, durchgeführt werden.

4.1.2 Schnittstellen

Definierte und standardisierte Schnittstellen sind im Bereich des Physical Computing von großem Nutzen und verbinden Rechner, Module und Komponenten miteinander. Diese können sowohl als drahtgebundene, sowie als drahtlose Schnittstelle ausgeführt sein. Aufgrund der Menge an unterschiedlichen Schnittstellen wird in diesem Abschnitt nur ein kleiner Teilbereich dargestellt, der für diese Arbeit relevant ist.

Die serielle RS-232 Schnittstelle ist durch die CCIT v.24-Norm standardisiert, die in den USA als TIA-232-F bekannt. Üblicherweise wird diese Schnittstelle aber als RS-232 bezeichnet. Aufgrund der asynchronen Übertragung wird oft auch der Name UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) verwendet. Die Datenübertragung erfolgt durch unterschiedliche Spannungspegel auf einer Leitung, die in binäre Codes umgewandelt werden. Die notwendige Spannung für ein LOW beträgt -3 bis -15 V, wohingegen ein HIGH von +3 bis +15 V interpretiert wird. Da bei herkömmlichen Mikrocontrollerschaltungen die Versorgungsspannung 3,3 oder 5 V beträgt ist für die Schnittstelle ein Pegelwandler zu verwenden. Insgesamt können für die Datenübertragung 9 Leitungen erforderlich sein, wobei mindestens 3 Leitungen immer notwendig sind. Die restlichen Leitungen dienen den Steuerungszwecken der Kommunikation. Bei Schaltungen im Bereich der Mikroelektronik reichen also meist die Leitungen RX, TX und GND für eine erfolgreiche Datenübertragung aus. In folgender Tabelle sind die Leitungen und deren Funktionen aufgelistet [22].

TxD, TX, TD	Transmit Data
RxD, RX, RD	Receive Data
RTS	Request to Send
CTS	Clear to Send
DSR	Data Set Ready
GND	Ground
DCD, CD, RLSD	(Data) Carrier Detect
DTR	Data Terminal Ready
RI	Ring Indicator

Die Übertragungsgeschwindigkeit wird in Baud angegeben und liegt üblicherweise zwischen 1.200 und 115.200 Baud. Die Übertragung selbst erfolgt in Wörtern, die eine Länge zwischen 5 und 9 Bit haben können. Zusätzlich kann auch ein Stop-Bit und ein Paritäts-Bit übertragen werden. Für eine erfolgreiche Kommunikation müssen diese Parameter von beiden Endpunkten mit den gleichen Werten eingestellt werden.

I²C ist ein serieller Bus der in den 1980er Jahren von Philips entwickelt wurde. Aufgrund von Lizenzansprüchen wird dieser Bus oft auch als Two Wire Interface (TWI) bezeichnet. Die Übertragung erfolgt in Zweidraht-Technik und ist für kurze Distanzen ausgelegt, typischerweise zur Intermodul-Kommunikation in elektronischen Geräten. Die Geschwindigkeit beträgt im Standard-Modus 100 kbit/s und kann im High-Speed-Modus auf bis zu 3,4 Mbit/s erhöht werden.

Auf einem I²C Bus gibt es mindestens einen Master und maximal 127 Slaves, sowie einen Broadcast Kanal. Ein Slave sendet und empfängt Daten immer erst nach einer Aufforderung die ein Master durchführt. Bei dieser Aufforderung belegt der Master zuvor den Bus. Nach diesem Sende- oder Empfangsvorganges gibt der Master den Bus auch wieder frei [23].

Das Serial Periphial Interface ist ein synchroner serieller Bus der aus mindestens 3 Leitungen besteht und von Motorola entwickelt wurde. Die Bezeichnung wird oft auch als SPI oder MicroWire abgekürzt. Das SPI wird wie der I²C Bus fast ausschließlich für die geräteinterne Kommunikation verwendet. Beispielsweise kann mit SPI ein Mikrocontroller mit Displays, RTCs oder Port-Multiplexer verbunden werden [24].

Die Leitungen haben folgende Bezeichnungen:

MOSI	Master Out Slave In	Datenausgabe
MISO	Master In Slave Out	Dateneingabe
SCLK	Serial Clock	Bus-Taktsignal

Bluetooth ist eine Funktechnologie die unter anderem PCs, Tablets, Smartphones und Drucker miteinander verbindet. Der verwendete Frequenzbereich liegt zwischen 2,402 und 2,480 GHz, wobei dieses Band in nahezu allen Industriestaaten frei verfügbar ist. Die Sendeleistung wurde auf wenige Milli-Watt beschränkt, daher beträgt die durchschnittliche Reichweite nicht mehr als 100 m. Die Übertragungsrate betrug in der ersten Version von 1999 nur 732,2 kbit/s, wobei diese mit Version 2.0 auf 2.1 Mbit/s gesteigert wurde. Seit 2009 können ab Version 3.0 bereits bis zu 24 Mbit/s übertragen werden. Die Technologie ist von IEEE unter dem Titel 802.15.1 standardisiert⁴.

Der Aufbau des Bluetooth-Protokolls wird durch eine Schichtenarchitektur definiert. Diese besteht aus den Hauptprotokollen, Kabelersatzprotokollen, Telefonprotokollen und den Erweiterungsprotokollen. Beispielsweise gibt es Protokolle zur Audioübertragung (A2DP) oder Eingabegeräteansteuerung (HID). Eine für diese Arbeit relevantes Protokoll ist das Serial Port Profile, kurz SPP. Dieses basiert auf dem RFCOMM und SDP Protokoll und ermöglicht die serielle Datenübertragung zwischen zwei Endgeräten, siehe Abbildung 2. Durch die Transparenz des Protokolls kann es als einfacher Ersatz für ein RS-232 Kabel angesehen werden [22, 25].

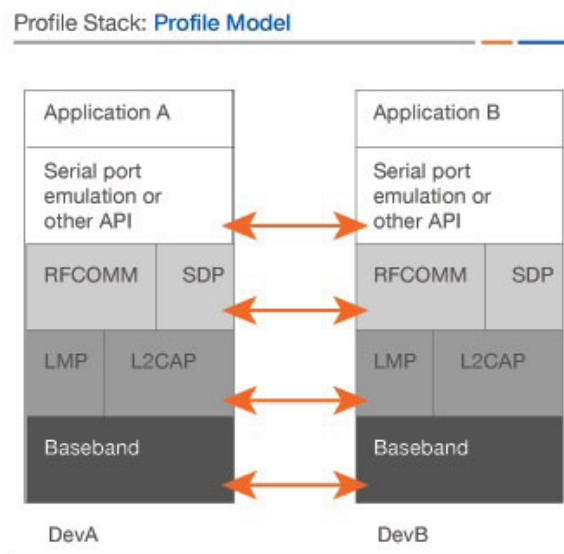


Abbildung 2 Bluetooth Serial Port Profile Stack ⁵

⁴ <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>

⁵ <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/SPP.aspx>

4.1.3 Force Sensing Resistor

Ein Force-Sensing-Resistor (FSR) ist ein zweipoliger Sensor, der seinen elektrischen Widerstand bei steigender Krafteinwirkung verringert. Die maximale Belastbarkeit und Genauigkeit ist Aufgrund des Aufbaus, siehe Abbildung 3, meist eher gering. Auch die Fläche ist oft nur wenige Quadratzentimeter groß. Daher findet dieser Sensor hauptsächlich in Touch-Geräten Verwendung die durch Menschen bedient werden.

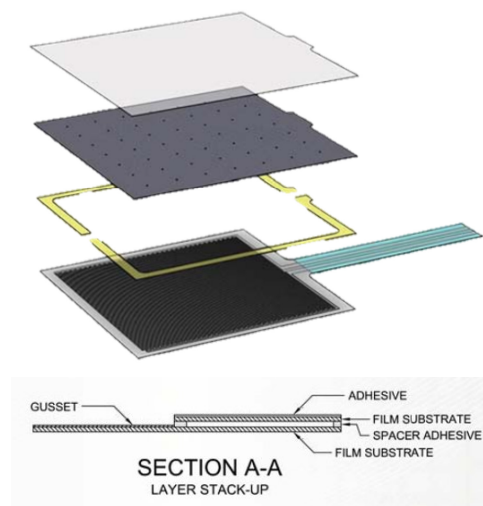


Abbildung 3 Schichtenaufbau eines FSR [26]

Die Art der Anbringung des FSR-Sensors ist von entscheidender Bedeutung. Diese muss eine Reihe von Bedingungen erfüllen, wobei die Wichtigsten eine glatte, flache Oberfläche und die Vermeidung von Scherkräften sind. Die Aufhängung der Druckfläche kann in zwei unterschiedlichen Ausführungen erfolgen. Einerseits kann diese gleitend erfolgen, wobei hier Seitenkräfte zu verhindern ist. Als zweite Möglichkeit kann die Druckfläche mittels Scharnier angebracht werden, wodurch die Scherkräfte minimiert werden [27, 28]. In Abbildung 4 sind diese Ausführungsmöglichkeiten schemenhaft dargestellt.

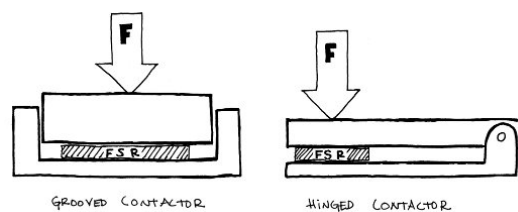


Abbildung 4 Schematische Darstellung der Möglichkeiten zur Kraftmessung [28]

Die Konvertierung der aufgewendeten Kraft zu elektrischer Spannung kann mittels eines Spannungsteilers erfolgen. Bei der in Abbildung 5 dargestellten Schaltung erhöht sich die Ausgangsspannung V_{OUT} mit steigender Krafteinwirkung. Diese kann durch folgende Formel errechnet werden.

$$V_{OUT} = V_+ \frac{R_M}{R_M + R_{FSR}}$$

Durch die entsprechende Wahl der Widerstandes R_M kann die Kraft-Sensitivität der Schaltung eingestellt werden. Zur Anpassung des Ausgangswiderstands kann hier noch ein Impedanzwandler in Form einer OPV-Schaltung nachgeschaltet werden. Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Ausgangsspannung abhängig von der Krafteinwirkung. Die Referenzspannung V_+ ist mit 5V anzunehmen [26].

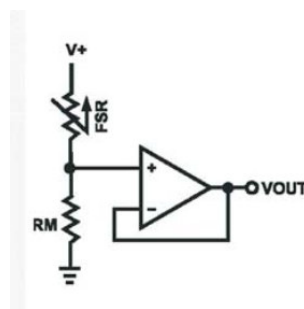


Abbildung 5 FSR - Messung mit Spannungsteiler [26]

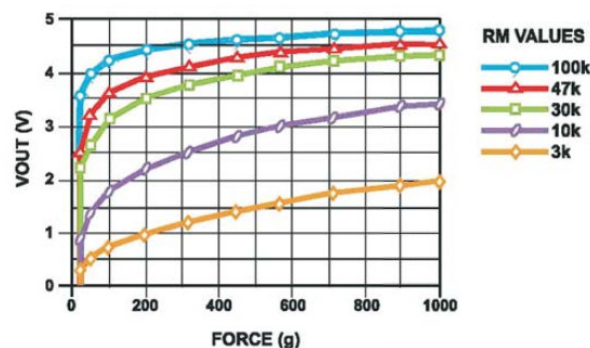


Abbildung 6 FSR - Vergleich Kraft und Vout [26]

4.1.4 Touchscreens

Ein Touchscreen ist ein Eingabegerät, das durch Berührung der Oberfläche den Programmablauf einer Applikation oder eines Gerätes steuern kann. Die Position der Berührung wird als X- und Y- Koordinate ermittelt und an das System weitergeleitet.

Es gibt mehrere Funktionsprinzipien, wobei folgende am häufigsten Verwendung finden:

- Resistive Systeme
- Kapazitive Systeme
- Optische Systeme
- Aktustische Systeme

Da in dieser Arbeit ausschließlich mit resistiven und kapazitiven Systemen gearbeitet wurde, werden diese im Folgenden detaillierter dargestellt.

Resistive Systeme

Die Funktionsweise bei resistiven Systemen baut darauf auf, dass Druck auf eine einzelne Stelle ausgeübt wird. Der Aufbau besteht aus 2 Platten, die durch einen nicht leitfähigen Abstandshalter getrennt sind. Wird Druck ausgeübt, verbinden sich die obere und untere Schicht, die mit leitfähigem Material beschichtet sind. Durch das Anlegen von Gleichspannung auf dieser leitfähigen Schicht, entsteht ein Spannungsteiler, aus dessen Wert die Position ermittelt werden kann. Es gibt verschiedene Ausführungen der resistiven Touchscreens, dies sind die Four-Wire, Five-Wire oder auch Six-, Seven- und Eight-Wire Systeme.

Das Four-Wire Prinzip bildet den einfachsten Lösungsweg, indem die Spannung abwechselnd an beiden Schichten mit einem Versatz von 90° angelegt wird. Dadurch ergibt sich aber der größte Nachteil dieses Prinzip, indem nach häufiger Benutzung die Präzision nachlässt.

Beim Five-Wire Prinzip, werden wie der Name schon sagt, fünf Leitungen verwendet. 4 davon werden an den Ecken der unteren Schicht und die letzte Leitung wird an der oberen Schicht angeschlossen. Damit wird die schnell nachlassende Präzision weitestgehend vermindert.

Die weiteren Methoden Six-, Seven- oder Eight-Wire folgen den gleichen Prinzipien wie die Four- oder Five-Wire, nur dass dabei die Messwerte nicht an den spannungsführenden Leitungen abgegriffen werden. Es werden dazu zusätzliche Messleitungen verwendet [29].

Kapazitive Systeme

Kapazitive Touchscreens funktionieren völlig ohne Druckeinwirkung. Im Allgemeinen sind kapazitive Systeme präziser als resistive Systeme, und haben auch keinen Verschleiß. Üblicherweise besteht ein solcher Touchscreen aus einer Glasplatte, auf der eine transparente Metalloxid-Schicht aufgebracht ist. An definierten Stellen wird Wechselspannung angelegt, wodurch ein elektrisches Feld entsteht. Durch die Berührung des Fingers ändert sich dieses Feld, und es kann somit die Position bestimmt werden. Im Detail gibt es noch unterschiedliche Ausführungen, die im Weiteren näher beschrieben werden.

Oberflächen kapazitive Systeme weisen eine äußerst schnelle Reaktionszeit und hohe Berührungs-Sensitivität auf. Ein Nachteil ist, dass diese nicht Multi-Touch fähig sind, und daher nur einen Punkt zu einem Zeitpunkt erfassen können. Beschädigungen auf der Oberfläche, wie beispielsweise Kratzer, beeinträchtigen die Funktion. Die Wechselspannung wird an den Eckpunkten angelegt, wobei in weiterer Folge eine bestimmte Ladungsmenge über den Finger abgeleitet wird, siehe Abbildung 7.

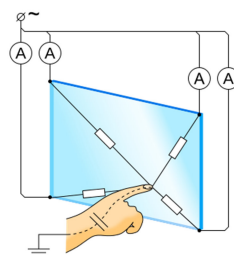


Abbildung 7 Schema des oberflächen-kapazitiven Touchscreen ⁶

Bei projiziert kapazitiven Systemen wird ein Elektrodenraster zu Positionsbestimmung eingesetzt. Dadurch wird es ermöglicht mehrere Berührungspunkte gleichzeitig zu erfassen. In Smartphones und Tablets wird üblicherweise dieses System eingesetzt.

⁶ http://de.wikipedia.org/wiki/Touchscreen#mediaviewer/File:TouchScreen_capacitive.svg

4.2 Arduino-Entwicklung

Die Programmierung von Arduino-Kompatiblen Mikrocontrollern erfolgt in der Entwicklungsumgebung Arduino IDE⁷ mit der Programmiersprache C/C++. Die IDE vereinfacht die Entwicklung nicht nur bei der Source-Code Erstellung, sondern ermöglicht auch die Verbindung zum Mikrocontroller und Übertragung des in Maschinensprache übersetzten Programmcodes. Die eingebaute Debugging-Konsole ermöglicht die Ausgabe von Statusmeldungen des Mikrocontrollers.

Der Programmcode für Arduino-Applikationen wird in **.ino** Dateien abgespeichert. Die Basis eines Programms bilden hierbei immer zwei Funktionen die unbedingt implementiert werden müssen.

Die **setup** Methode wird einmalig beim Programmstart aufgerufen und dient zur Initialisierung von Variablen, Subsystemen und gekoppelter Hardware.

```
void setup(void)
{
    /* CODE */
}
```

Die **loop** Methode wird wiederkehrend aufgerufen und enthält den Hauptteil des Programmcodes.

```
void loop()
{
    /* CODE */
}
```

⁷ <http://arduino.cc/en/Main/Software>, Aktuelle Version am 21.05.2014: 1.5.5

4.3 Mobile Applikationen

Unter mobilen Applikationen versteht man im Allgemeinen Software, die speziell für mobile Endgeräte, wie beispielsweise Smartphones oder Tablets, implementiert wird. Da die Implementierung für die verschiedenen Betriebssysteme sehr aufwendig und kostenintensiv ist, versucht man diese durch Verwendung von Cross-Plattform Frameworks zu beschleunigen.

Native Applikationen werden für ein bestimmtes Betriebssystem entwickelt, und sind auch nur auf Diesem lauffähig. Meist werden dazu die Programmiersprachen C, C++, Objective C oder Java verwendet. Ein großer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass die Applikationen sehr schnell sind, und vollen Zugriff auf die Hardware haben.

Web-Applikationen bauen auf den bekannten Technologien HTML, CSS und JavaScript auf und werden von Web-Servern zur Verfügung gestellt. Da diese in Web-Browsern ausgeführt werden, können sie auf vielen verschiedenen Endgeräten und Betriebssystemen genutzt werden.

Hybride Applikationen verwenden unter anderem die gleichen Technologien wie Web-Applikationen, werden aber lokal auf dem Endgerät ausgeführt. Durch die Einbindung von Frameworks, wie PhoneGap oder Titanium Appcelerator⁸, ist es auch möglich auf Features des Betriebssystems oder der Hardware zuzugreifen.

4.3.1 HTML5 & JavaScript

HTML5 ist die bereits fünfte Version der Hypertext Markup Language, und wurde am 28.10.2014 vom W3C als Empfehlung veröffentlicht. Sie ersetzt die bisherigen HTML 4 und XHTML 1.0 Empfehlungen und bietet viele neue Funktionen. Beispielsweise wird mit der neuen Version lokale Speicherung, 2D- und 3D-Grafikerstellung als auch Audio- und Videowiedergabe ermöglicht.

Die Skriptsprache JavaScript wurde ursprünglich entwickelt um die Möglichkeiten von HTML und CSS zu erweitern. Dadurch war es möglich Inhalte auch noch nach dem vollständigen Ladevorgang zu verändern. Die Sprache wurde von der Organisation ECMA im Jahr 2011 als ECMA-262⁹ standardisiert.

⁸ <http://www.appcelerator.com/titanium/>

⁹ <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm>

Das Framework jQuery Mobile¹⁰ unterstützt und vereinfacht die Entwicklung von mobilen Anwendungen. Es funktioniert auf nahezu allen mobilen Browsern von Smartphones und Tablets. Zur Benutzung werden HTML5-Tags und auch teilweise CSS-Elemente in die bestehende Anwendung eingefügt. Das Framework generiert dann den notwendigen Code für die mobilen Anzeigeelemente.

4.3.2 Lokale Datenspeicherung

Da viele Endgeräte und die verwendeten Standard-Browser unterschiedlich sind, muss die Datenspeicherung ebenfalls an diese angepasst werden. Es gibt hierzu jedoch mehrere de-facto Standards. Der einfachste Weg, wäre die direkte Ablage der zu speichernden Daten im Filesystem. Dies setzt jedoch voraus, dass der Zugriff auf Dieses erlaubt ist. In einer HTML5 Applikation ist diese Voraussetzung jedoch meist nicht gegeben. Daher werden hier die durch die Browser zur Verfügung gestellten Schnittstellen verwendet. Zwei davon sind WebSQL und IndexedDB, wobei seitens des W3C die Arbeiten an beiden Spezifikationen eingestellt wurden. Sie werden aber weiterhin von allen gängigen Browsern unterstützt, siehe Abbildungen 8 bis 9.

WebSQL wird, wie der Name schon sagt, mit spezifischen SQL-Queries angesprochen. Die Speicherung der Daten erfolgt dabei in einem relationalen Datenmodell.

Die IndexedDB ist ein Objektspeicher, der durch Indexe aufgebaut wird. Das bedeutet, dass ein Java Script Objekt mit einem eindeutigen Schlüssel abgespeichert werden kann.

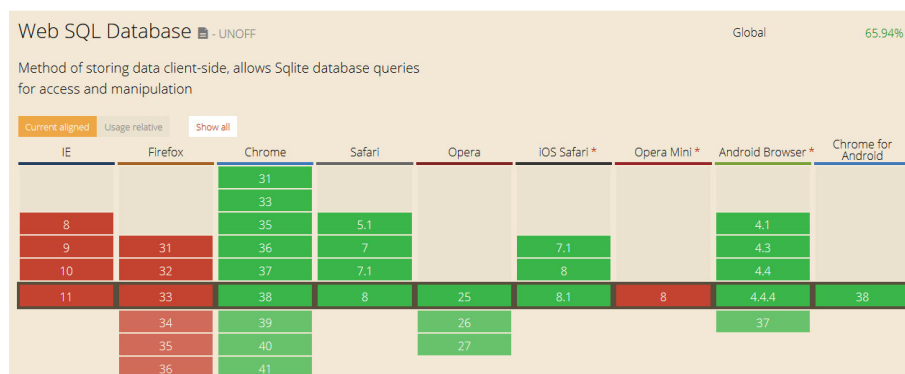


Abbildung 8 Unterstützungsmatrix für WebSQL¹¹

¹⁰ <http://jquerymobile.com/>

¹¹ <http://caniuse.com/#search=websql>

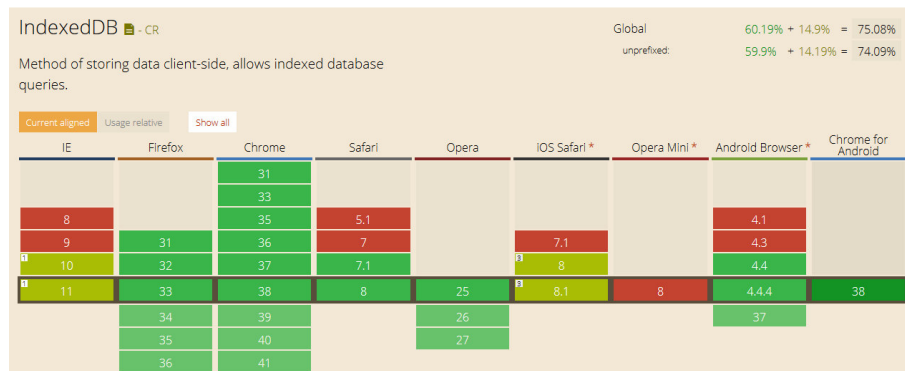


Abbildung 9 Unterstützungsmatrix für IndexedDB¹²

4.3.3 PhoneGap

PhoneGap¹³ unterstützt die Erstellung von mobilen Applikationen unter Verwendung der Technologien HTML, CSS und JavaScript. Es ermöglicht auch den Zugriff auf die Hardware und das Betriebssystem. Dieser Zugriff wird durch Plug-Ins ermöglicht, und kann daher beliebig erweitert werden.

Das Framework bietet auch ein Command Line Interface (CLI), mit dem Projekte erstellt und verteilt werden können. Im Folgenden werden die wichtigsten Kommandos aufgelistet.

Mit dem Kommando **create** wird ein neues PhoneGap Projekt erstellt. Dabei werden die nötigen Ordner und Konfigurationsdateien automatisch angelegt.

```
phonegap create autismMobile --id "at.ac.tuwien.autism" --name "Autism"
```

Das Hinzufügen von Plug-Ins kann ebenfalls mit dem PhoneGap CLI erfolgen.

```
Phonegap local plugin add https://github.com/randdusing/BluetoothLE
```

Nach der Programmierung der Applikation kann diese mit dem **build** Kommando erstellt werden.

¹² <http://caniuse.com/#search=indexeddb>

¹³ <http://phonegap.com/>

```
phonegap local build android
```

Für lokale Tests kann auch ein angeschlossenes Endgerät verwendet werden. Dazu wird das Kommando **run** ausgeführt.

```
phonegap local run android
```

4.3.4 PhoneGap Build

Das Deployment von Cross-Plattform Applikationen auf die unterschiedlichen Plattformen, wie beispielsweise Android, iOS und Windows, ist eine zeitaufwändige und umfangreiche Aufgabe. Es ist für jede einzelne Plattform notwendig, einen User-Account zu erstellen und das zugehörige SDK zu installieren. Auch die Hardware und das Betriebssystem müssen mit der Ziel-Plattform kompatibel sein. Beim Deployment in den Apple-Store ist einerseits kompatible Apple-Hardware notwendig, andererseits muss immer das aktuellste Betriebssystem zur Erstellung der fertigen Applikation installiert sein. Von Adobe wird daher zur Vereinfachung des Deployment-Prozesses das Service Adobe PhoneGap Build¹⁴ angeboten. Dabei ist die Erstellung einer App kostenlos, und erfordert lediglich die Registrierung einer Adobe ID mit der persönlichen E-Mail Adresse (siehe Abbildung 10).

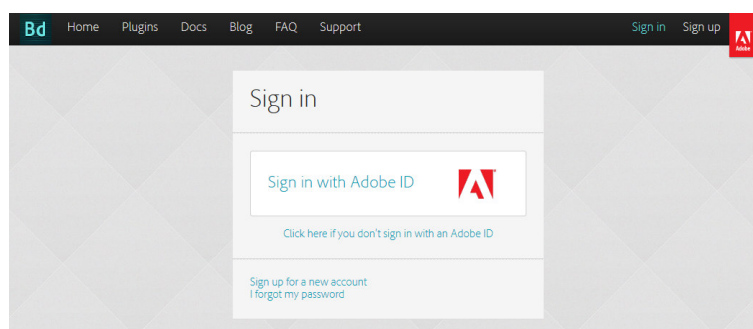


Abbildung 10 Registrierung Adobe ID für Adobe PhoneGap Build¹⁵

Die unterstützten Plattformen sind iOS, Android und Windows Phone, wobei die jeweiligen Applikationen direkt in die App-Stores verteilt werden können [30].

¹⁴ <https://build.phonegap.com>

¹⁵ https://build.phonegap.com/people/sign_in

Die Erstellung der Applikation ist sehr einfach und benötigt nur 3 Schritte. Als erstes muss die Applikation, also die HTML-, JavaScript- und Konfigurationsdateien, in eine ZIP-Datei verpackt und dann auf der Website des Build-Service hochgeladen werden. Nach dem Hochladen ist nur mehr die Kontrolle und Bestätigung der Metadaten notwendig, und die Applikation wird im Anschluss bereits erstellt. Wurden noch keine Signatur-Keys erstellt, besteht auch die Möglichkeit die Applikation direkt herunter zu laden und zu installieren. In den folgenden Abbildungen 11 und 12 ist der Erstellungsprozess, von der Registrierung über das Hochladen bis zum Download der fertigen Applikation dargestellt.

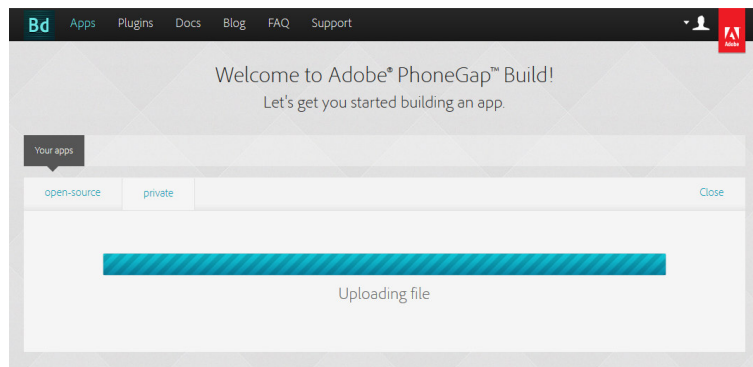


Abbildung 11 Upload-Prozess des PhoneGap Build-Service

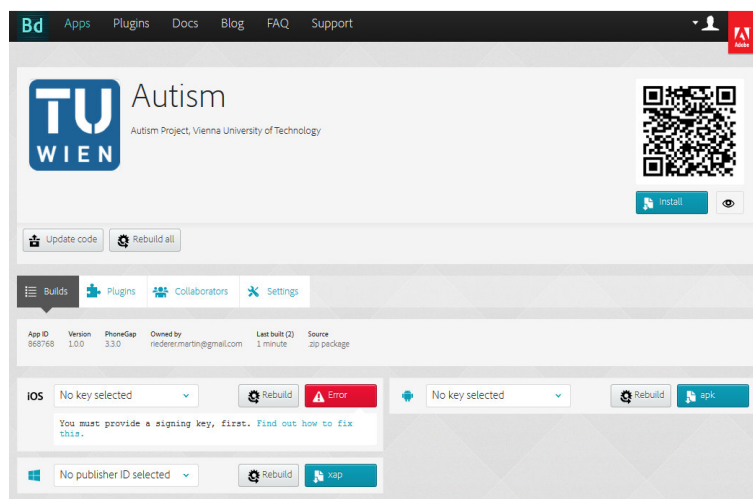


Abbildung 12 Abschluss der PhoneGap-Erstellung

5 Konzeption

In diesem Abschnitt werden die Anforderungsanalyse und der Designprozess, welche im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführt wurden, beschrieben. Im ersten Abschnitt werden die Anforderungen an das System beschrieben und die gewählte Vorgehensweise zur Entwicklung begründet. Im weiteren Verlauf wird die Messmethodik, im Hinblick auf deren Funktionsweise, vorgestellt.

5.1 Wahl des Entwicklungsprozesses

Zur Entwicklung von Hardware- und Softwarewarekomponenten gibt es eine Vielzahl an bekannten Entwicklungsprozessen beziehungsweise Entwicklungsmodellen. Diese können im Allgemeinen in agile und nicht agile Modelle aufgeteilt werden. Da es sich um ein komplett neues Messverfahren handelte und die genauen Anforderungen nicht vorhanden waren, entschieden wir uns zur Wahl eines agilen Modells, um möglichst schnell auf sich ändernde Anforderungen reagieren zu können. Dabei entstand eine Mischung aus den Modellen Scrum und Extreme Programming (XP), da wir sowohl User Stories als auch Use-Cases in unsere Analyse aufnehmen wollten. Extreme Programming zeichnet sich vor allem durch die ständige Kooperation mit den Auftraggebern, als auch durch schnelle und häufige Auslieferungen aus.

5.2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Die Anforderungen an das zu entwickelnde System, als auch die dabei auftretenden Rahmenbedingungen im medizinischen Bereich, waren sehr vielfältig. Daher wurde vor Beginn der Entwicklungsarbeiten eine ausführliche Anforderungsanalyse durchgeführt und in weiterer Folge ein Use-Case Diagramm ausgearbeitet. „Die Gerätschaften sollen vorwiegend durch Kinder benutzt werden. Daher mussten wir besonders auf die Stabilität der Ausführung und ebenso eine Minimierung des Verletzungsrisikos bedacht nehmen. Da das Hauptaugenmerk der Studie auf der Suche nach einer Diskriminante zwischen gesunden und nicht gesunden Kindern liegt, ist eine entsprechende Messgenauigkeit mit Abweichungen im Bereich weniger Prozent erforderlich.“

Das System sollte aus zwei Tests bestehen, die jeweils unterschiedliche Messgrößen erfassen. In beiden Fällen sind bei diesem neuen Verfahren nur die Differenzen zwischen zwei Messungen von Bedeutung. Das begründet sich darin, dass zur Messung der propriozeptiven Fähigkeiten im Allgemeinen mindestens zwei Werte notwendig sind. Diese sind der Stimulus- und der Wiederholungswert. Aus der

Differenz können dann Rückschlüsse auf die Fähigkeiten der getesteten Person gezogen werden.

Beim ersten Messverfahren sollte die Kraft, die eine Person auf eine Fläche ausüben kann, gemessen und aufgezeichnet werden. Im zweiten Fall sollte die Genauigkeit der Berührung zweier Punkte mit dem Zeigefinger ermittelt und ebenfalls aufgezeichnet werden. Die Anforderungen an diese beiden Systeme werden im Folgenden dargestellt.

5.2.1 Funktionale Anforderungen

Im Vorfeld wurden in Workshops und Interviews die Anforderungen, die das System zu erfüllen hat, erarbeitet. Aus dieser Analyse ergeben sich folgende funktionale Anforderungen an die beiden Geräte:

Gerät 1: Grading of Force

- Bestimmung der Differenz zweier Messungen
 - Messwert „drücke leicht“, „drücke fest“, „halte Druck“
 - Messwert maximaler Druck
- Drücken mit der Hand
- Messplatte mit Gummipuffer
- Drahtlose Datenübertragung
- Anzeige auf einem mobilen Gerät
- Akustische Signale
- Aufzeichnung der Daten
- Berechnung von Indikatoren
- Exportieren der Daten

Gerät 2: Grading of Movement

- Verwendung von Tablet oder Touchscreen
- Implementierung von 3 Tests
 - Ayres Test, laut vorhandenem Papiertest
 - Finger To Finger Test
 - Söchting Test
- Absolute Differenz zu Messpunkten ermitteln
- Touchscreen größer als 19“
- Drahtlose Datenübertragung
- Anzeige auf mobilen Gerät
- Akustische Signale
- Aufzeichnung der Daten
- Exportieren der Daten
- Rahmen zum Auflegen der Messplatte

5.2.2 *Nicht funktionale Anforderungen*

Im Falle beider Geräte ergeben sich dieselben nicht funktionalen Anforderungen:

- Messfehler im Bereich weniger Prozente
- Minimierte Verletzungsgefahr
- Stabile und robuste Ausführung

5.2.3 *Use-Case Analyse*

Die Use-Case Analyse zeigt die funktionalen Anforderungen, die durch die Benutzer „Medizinerin“ und „Patientin“, durchgeführt werden können. Zwischen den beiden Benutzern besteht dabei keine Ableitung oder Abhängigkeit. Die Medizinerin nimmt dabei die Rolle der Übungsleiterin ein, wohingegen die Patientin nur die vom System vorgegebenen Übungen durchführen kann. Das Projekt unterteilt sich dabei in einen gemeinsamen Funktionsteil und in die beiden spezialisierten Tests.

Übersicht der modellierten Rollen:

User	Rechte	Anmerkung
Medizinerin	Uneingeschränkter Systemzugriff	
Patientin	Zugriff für Tests	



Abbildung 13 Rollen der Use-Case Analyse

5.2.4 Übersicht über die Anwendungsfälle

Paket	Kürzel	Titel	Priorität
Autism	A1	Patientin erstellen	1
Autism	A2	Patientin auswählen	1
Autism	A3	Sensor wählen	1
Autism	A4	Sensor verbinden	1
Autism	A5	Systemdaten abfragen	2
Autism	A6	Daten zu Patienten abrufen	1
Autism	A7	Daten exportieren	2
Autism	A8	Datensatz löschen	2
Grading of Force	F1	Test wählen	1
Grading of Force	F2	Test starten	1
Grading of Force	F3	Test abbrechen	1
Grading of Force	F4	Platte drücken	1
Grading of Force	F5	Kraft halten	2
Grading of Force	F6	Daten aufzeichnen	2
Grading of Force	F7	Teststufe abbrechen	2
Grading of Force	F8	Testmodus starten	2
Grading of Movement	M1	Test wählen	1
Grading of Movement	M2	Test starten	1
Grading of Movement	M3	Test abbrechen	1
Grading of Movement	M4	Punkt drücken	1

Grading of Movement	M5	Spur nachfahren	2
Grading of Movement	M6	Abweichungen aufzeichnen	2
Grading of Movement	M7	Teststufe abbrechen	2
Grading of Movement	M8	Testmodus starten	2

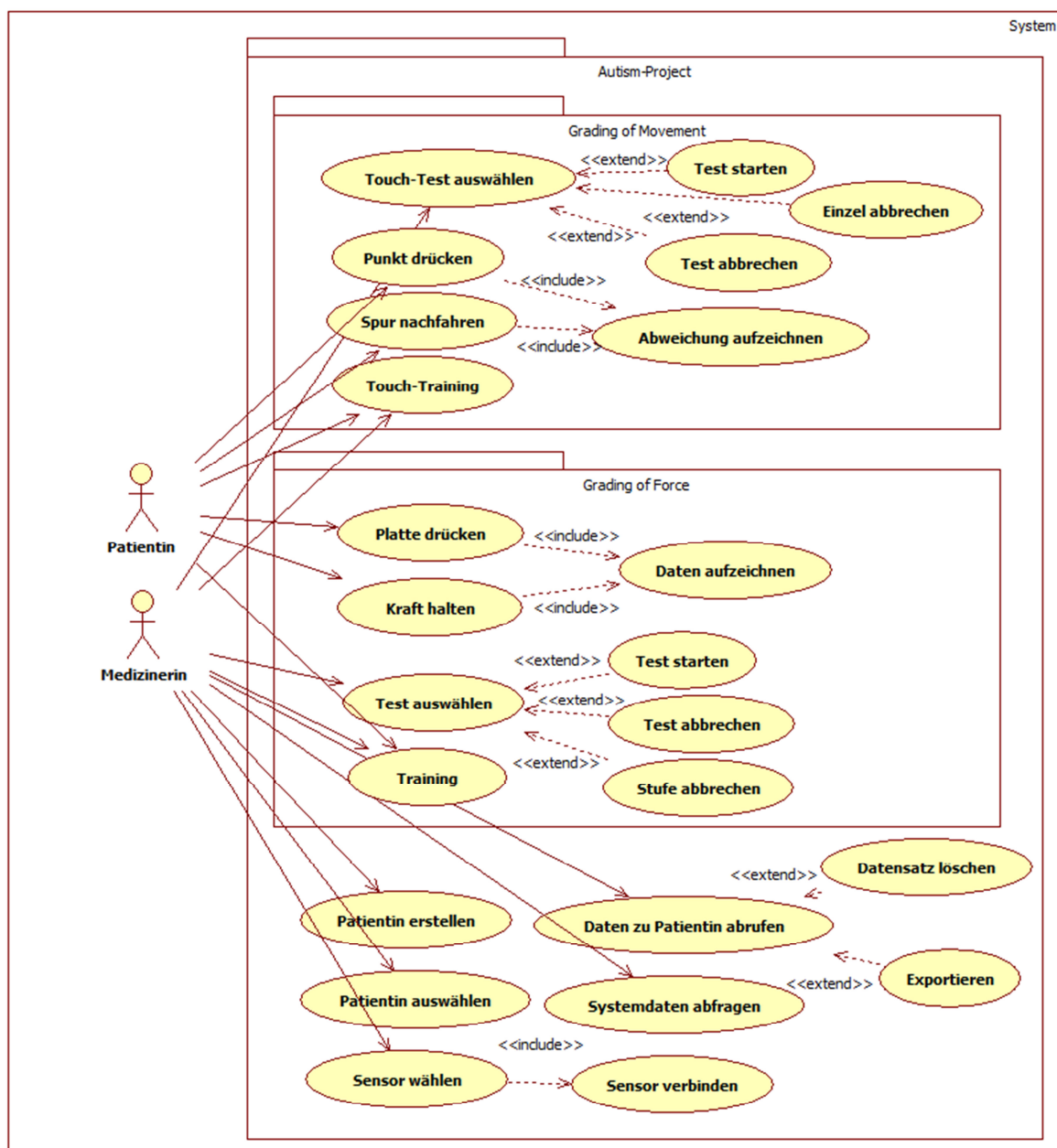


Abbildung 14 Use-Case Diagramm des implementierten Systems

5.3 Projektplanung

Das Projekt zur Entwicklung eines Prototyps startete im November 2013 und hatte eine geplante Laufzeit von ca. 6 Monaten. Die Planung startete mit einer detaillierten WBS-Analyse und darauffolgend wurde das zugehörige GANTT-Diagramm erstellt. Die zur Projektplanung zugehörigen Diagramme und Grafiken sind im Anhang zu finden.

5.4 Testdesign und Task Konzept

Zur Messung der propriozeptiven Fähigkeiten wurden zwei unterschiedliche Tests entwickelt. Einerseits der Grading of Force Test (GoF) und andererseits der Grading of Movement Test (GoM). Beide Tests bestehen aus einfachen motorischen Aufgaben, die aktive Muskelkontraktionen benötigen, aber nur minimale Fähigkeiten zur Planung von motorischer Bewegung erfordern. Aufgrund dieser Tatsache kann davon ausgegangen werden, dass diese Tests ein sehr genaues Maß der propriozeptiven Fähigkeiten erfassen können.

Der GoF-Test soll Aufschluss darüber geben, wie genau und definiert eine Testperson Kraft auf eine Messplatte ausüben kann. Es geht dabei nicht um die maximale oder minimale Kraft, die die Person aufwenden kann, sondern um die Reproduzierbarkeit eines selbst definierten Kraftwertes. Die Aufgabe besteht im Grunde darin, dass die Testperson mit der flachen Hand mehrmals Kraft auf eine horizontale Oberfläche ausübt. Dabei soll immer der zuerst erreichte Wert möglichst genau wiederholt werden. Das Gerät muss dabei eine Vielzahl an Anforderungen hinsichtlich der Unterschiedlichkeit der Probanden erfüllen. Diese differieren in Alter, Geschlecht und der physischen Verfassung.

Beim GoM-Test geht es wie beim GoF-Test um die Reproduzierbarkeit eines selbst definierten Messwertes, jedoch auf Basis der Position eines Punktes auf einer begrenzten Oberfläche. Der Test stellt daher ein Maß über die Fähigkeit der Armbewegung ohne jegliche visuelle Kontrolle dar. Die Aufgabe besteht darin, zuerst den Zeigefinger von einem definierten Startpunkt aus, auf einen beliebigen Punkt des Touchscreens zu platzieren. Nach dieser Definition muss der Punkt vom Startpunkt aus wieder möglichst genau getroffen werden. Der Test basiert auf einem papiergestützten Test, namens „Kinesthesia Test“, nach der Definition aus „Sensory Integration and Praxis Tests“ [31]. Der originale Test hat aufgrund der vordefinierten

Ziele, den Nachteil der passiven Bewegung, den der neu implementierte GoM-Test nicht ausweist.

Beide Tests verfolgen das gleiche Ziel, nämlich nicht die Erfassung einer absoluten maximalen Messgröße, sei es hinsichtlich einer aufgewendeten Kraft oder der räumlichen Position einer Hand, sondern die Erfassung von Differenzen bei wiederholten Übungen. Zu diesem Zweck ist eine genaue Definition der Übungsziele und Abläufe notwendig. Das Konzept des „Tasks“ versucht diese Abläufe zu vereinfachen und zu standardisieren.

Eine Übung, beziehungsweise ein Test, besteht aus insgesamt 12 Test-Items, wobei die ersten beiden Items nur zur Erklärung des Ablaufes und dem Kennenlernen der Übung dienen. Die weiteren 10 Items werden alternierend mit der linken und rechten Hand ausgeführt. Jedes dieser Items besteht aus zwei Schritten die in fester Reihenfolge durchgeführt werden. Als erstes wird immer der Stimulus definiert, also jener Wert der als Basis für den zweiten Schritt dient. Der zweite Schritt wird Wiederholung genannt, also der Versuch den ersten Wert möglich genau zu treffen. Die Differenz der beiden Schritte ergibt nun das Ergebnis eines einzelnen Items. Aufgrund der großen Anzahl an durchgeführten Items, kann hier auf ein aussagekräftiges Ergebnis geschlossen werden.

5.5 Hardware Design

Das Design der Geräte wurde in einem iterativen Prozess in Zusammenarbeit mit einer Psychologin erstellt. In einem ersten Schritt wurden 3D-Modelle am PC entworfen, wie in Abbildung 15 ersichtlich ist, um einen ersten Überblick über mögliche Lösungen darzustellen. Danach wurden Attrappen aus Holz gefertigt und auf deren Tauglichkeit und Bedienbarkeit hin untersucht. Dabei wurde vor Allem das Augenmerk auf die Benutzerbarkeit für Kinder, und ein minimales Verletzungsrisiko gelegt. Nach diesem Prozess wurde die Elektronik entwickelt und in die zuvor gefertigten Gehäuse eingebaut. Die detaillierte Beschreibung zu einzelnen Entwurfsschritten und den verwendeten Komponenten sind in den Kapitel 6 und 7 zu finden.

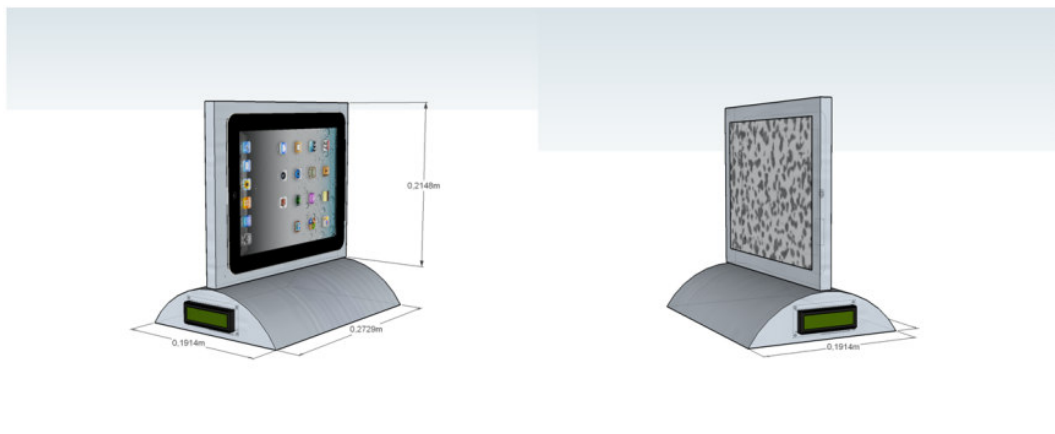


Abbildung 15 3D Modell des GoM-Test



Abbildung 16 Erste Attrappe des GoM-Test

6 Grading of Force

6.1 Funktionsweise

Die Testperson sitzt bei dem GoF-Test auf einem Stuhl vor einem Tisch, wobei das Testgerät auf diesem Tisch platziert wird. Nach dem Start des Geräts erklärt der Übungsleiter den Ablauf des Tests und zeigt bei Bedarf die notwendigen Schritte vor. Danach beginnt die Testperson mit den ersten beiden Trainings-Items. Dazu wird die Testperson gebeten die Hand auf das Gerät zu legen, und Druck auf die Messplatte auszuüben. Während des Trainings-Item erhält die Testperson visuelles Feedback über den Bildschirm des Auswertungsgerätes. Dort kann auf einer Skala abgelesen werden, in welchem Bereich die aufgewendete Kraft im Vergleich zur maximal möglichen Belastbarkeit liegt. Nachdem der Ablauf geklärt und die Trainings-Items durchgeführt wurden, beginnt der Ablauf der 10 echten Items ohne visuelles Feedback. Die Hände wechseln dabei bei jedem Item. Nach der erfolgreichen Absolvierung werden die Ergebnisse ausgewertet und visuell auf dem Ausgabegerät dargestellt.

6.2 Komponenten

Das Messinstrument zum Grading of Force Test besteht aus den Komponenten Gehäuse, Messplatte, Kraftsensor, Elektronik und Software. Das Gehäuse ist aus Mehrschicht-Holzplatten (22 mm) gefertigt, die als Basis einen Würfel bilden. Für die Aufnahme der Schalter, Taster und Schnittstellenanschlüsse sind auf der Rückseite Ausnehmungen vorgesehen. An der Vorderseite befindet sich eine Türöffnung, um im Bedarfsfall den Akku beziehungsweise etwaige Elektronik tauschen zu können. Die Kraftübertragung erfolgt durch eine auf der Oberseite des Würfels angebrachte Holzplatte, die durch zwei Scharniere eine vertikale Bewegung ermöglichen.

6.2.1 Sensor

Der Kraftsensor, ein Force Sensing Resistor (FSR) des Herstellers Interlink¹⁶, ist auf dem Würfel angebracht und mittels eines zweipoligen Steckverbinders mit der Messelektronik verbunden. Direkt auf dem Sensor ist eine Kunststoffscheibe, mit einer Stärke von ca. 2 mm, zur Übertragung der Kraft angebracht. Um ein besseres haptisches Druck-Feedback zu erreichen, ist auf dem ca. 2 x 2 cm großen Sensor eine Moosgummiplatte angebracht. Diese ermöglicht eine vertikale Stauchung von ca. 3 mm.

¹⁶ <http://www.interlinkelectronics.com/FSR406.php#>

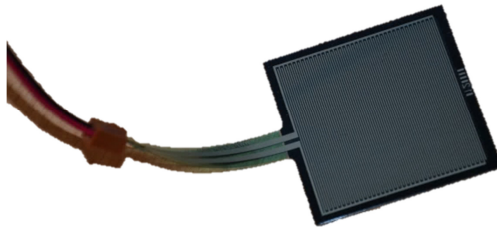


Abbildung 17 Foto des Interlink FSR 406

6.2.2 Controller

Die Basis der Messelektronik bildet ein Arduino UNO R3 – Board, welches mit einem Atmel ATmega 328P Mikroprozessor ausgestattet ist. Die Taktfrequenz ist mit 16 MHz für die Datenerfassung und Übertragung mehr als ausreichend, da eine Messfrequenz von 10 Messungen pro Sekunde angestrebt wird. Zur Übertragung der Daten wird ein Bluetooth-Board (Fabrikat Seeedstudio) mittels RS-232 mit dem Arduino Board verbunden. Die Messdatenerfassung erfolgt mit Hilfe eines Spannungsteilers auf einem Breakout-Board, das als letzte Komponente auf dem Arduino-Stack montiert ist.

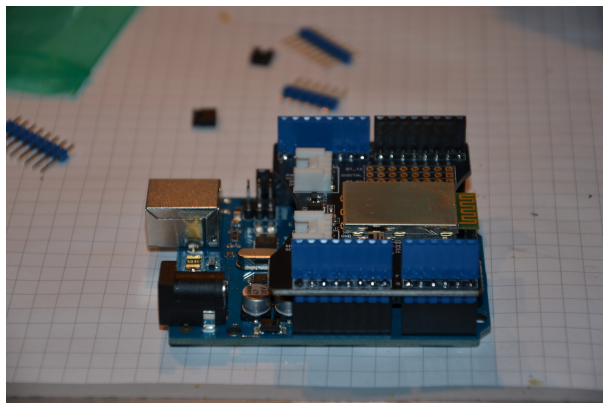


Abbildung 18 Arduino Uno mit Bluetooth Modul

6.2.3 Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt entweder über ein Netzteil mit 9V/500 mA oder über den integrierten Lithium-Polymer Akkumulator mit zugehöriger Lade- und Versorgungsschaltung. Aufgrund des niedrigen Stromverbrauchs ergibt sich durch die Kapazität des Akkus von 650 mAh eine durchschnittliche Laufzeit von ca. 10 h mit einer vollen Ladung.



Abbildung 19 Stromversorgung Li-Po Rider

6.3 Kraftmessung mit FSR

Da es sich bei einem FSR und einen kraftabhängigen Widerstand handelt, kann die Messwertbildung durch einen einfachen Spannungsteiler erfolgen. Der FSR wird daher mit der Referenzspannung von 5V des Arduino-Boards und mit einem 10 kOhm Widerstand gegen Masse verbunden. Die Spannungsmessung wird am Verbindungspunkt zwischen FSR und Widerstand durchgeführt. Da der Widerstand bei höherer Kraftaufwendung abnimmt, steigt die Spannung proportional zur Krafterhöhung.

Die Implementierung der Arduino-Software ist in der Source-Datei **ReadPressure.ino** enthalten. Im folgenden Abschnitt werden der Aufbau und die Funktionsweise des Programmes dargestellt.

Das Programm verwendet zwei Serielle Schnittstellen, eine zur Kommunikation mit dem Bluetooth-Board, die Zweite zur Statusübermittlung an einem angeschlossenen PC. Die verwendeten Ports für die Bluetooth-Verbindung sind im Source-Code über folgende Definitionen festgelegt:

```
#define RxD 7 // Receive  
#define TxD 6 // Transmit
```

Die Verbindung zum Bluetooth-Modul wird durch eine eigene Setup-Routine hergestellt, welche einmalig beim Start aufgerufen wird. Die Initialisierung erfolgt dabei nach einem fixen Schema, welches durch die Spezifikation des Moduls

vorgegeben ist. Die für die Kommunikation verwendeten Codeworte werden im Folgenden beschrieben.

Das Modul wird zu allererst mit dem Kommando „STWMOD“ in den Slave-Modus geschaltet.

```
\r\n+STWMOD=0\r\n
```

Die Festlegung des gesendeten Gerätenamens erfolgt mit dem Kommando „STNA“.

```
\r\n+STNA=Pressure\r\n
```

Um gekoppelten Geräten den Verbindungsaufbau zu erlauben wird im Anschluss folgendes Kommando übertragen.

```
\r\n+ST0AUT=1\r\n
```

Das letzte Kommando der Vorinitialisierung stellt die Aktivierung des automatischen Verbindungsaufbaus dar.

```
\r\n+STAUTO=0\r\n
```

Nach dieser Vorinitialisierung muss eine Zeitspanne von 2000 ms gewartet werden, bevor das Modul endgültig aktiviert wird. Durch setzen des Verfügbarkeitsstatus wird das Modul für andere Geräte sichtbar.

```
\r\n+INQ=1\r\n
```

Nach der Initialisierungsroutine erfolgt bereits die Messung des Kraftwertes.

Die Messung und Berechnung des Kraftwertes erfolgt durch Mittelung (arithmetisches Mittel) von 5 aufeinander folgenden Messwerten in Abständen von 5 ms. Nach einem Messblock wird eine Pause von 80 ms durchgeführt, bevor die Messung erneut erfolgt. Daher ergibt sich eine Zeitspanne von 100 ms für einen finalen Messwert.

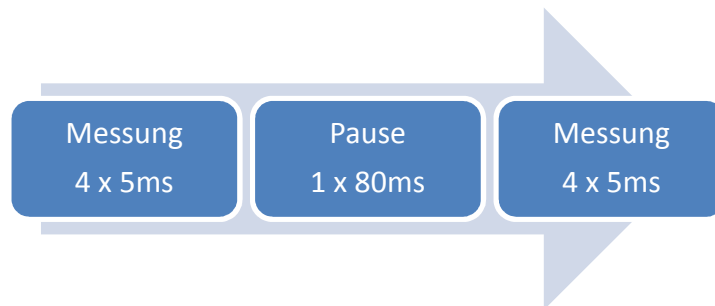


Abbildung 20 Zyklus der FSR Messung

Zur Ermittlung eines einzelnen Kraftwertes muss der aktuelle Wert des Spannungsteilers ermittelt werden. Dies erfolgt mit der Funktion `analogRead(int port)`, die bereits in der Arduino-Bibliothek vorhanden ist. Diese liefert aufgrund des integrierten 10bit-DAC einen Wert zwischen 0 und 1024. Zur Berechnung des tatsächlichen Wertes des FSR wird der gelesene Wert mit der Funktion `map(int value, int low, int high, int toLow, int toHigh)` auf einen Bereich von 0 bis 5000 extrapoliert. Der Widerstand errechnet sich aufgrund folgender Formel:

$$R = (5000 - U_a) * 10000 / U_a$$

Die Übertragung zum mobilen Endgerät erfolgt, wie bereits erwähnt, über das Bluetooth-Modul. Dazu wird dem Modul der Messwert als String über die serielle Schnittstelle übermittelt. Am Ende eines Messwerts folgt ein CR und LF.

Am mobilen Endgerät erfolgt die Auswertung und Anzeige der übertragenen Messwerte in Echtzeit.

6.4 Entwurfsprozess

Am Anfang des Prototyp-Entwurfs wurde der Aufbau mit Hilfe von Steckbrettern und Arduino-Shields realisiert. Dabei konnte bereits die Funktionalität des späteren Systems überprüft und getestet werden. Die Messwerte konnten somit bereits auf dem Smartphone mittels Bluetooth Serial Software angezeigt werden (siehe Abbildung 21).

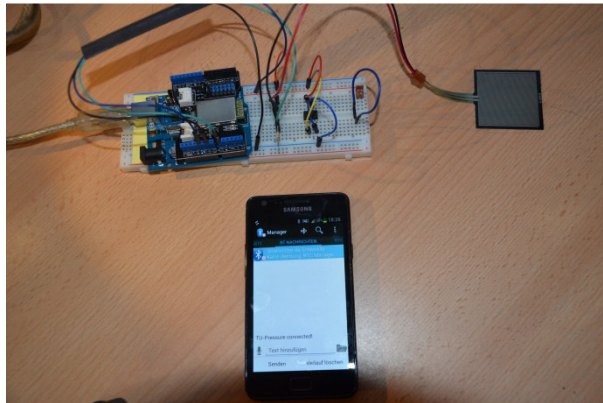


Abbildung 21 Steckbrettaufbau des GoF-Prototypen

Für den GoF-Test wurde eine Messplatte mit Bolzen und Federn entworfen, die aber aufgrund der komplizierten Fertigung und Fehleranfälligkeit verworfen wurde (siehe Abbildungen 22 und 23).

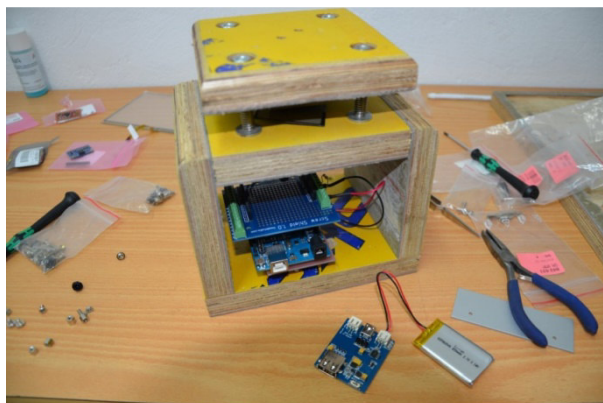


Abbildung 22 Prototyp 1 GoF-Test

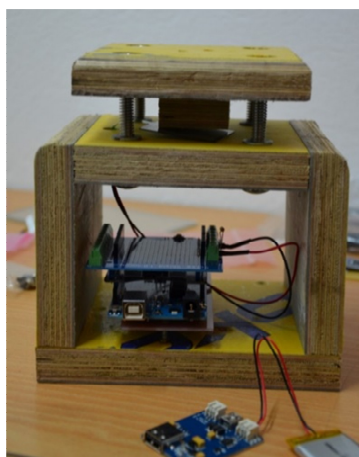


Abbildung 23 Prototyp 1 GoF-Test Seitenansicht

Als sehr einfache, und dabei genaue Messmöglichkeit, stellt sich die Verwendung von Flach-Scharnieren als bewegliches Element dar. Die Scharniere verbinden dabei die Messplatte mit der Hinterseite des Grundgehäuses. Gleichzeitig dient das Grundgehäuse als Auflage für den FSR und Unterbringung der elektronischen Komponenten, siehe Abbildungen 24 bis 26.



Abbildung 24 Prototyp 2 GoF-Test



Abbildung 25 Prototyp 2 GoF-Test mit montiertem FSR



Abbildung 26 Prototyp 2 GoF-Test mit montierter Elektronik

7 Grading of Movement

Der Grading of Movement Test soll es ermöglichen die propriozeptiven Fähigkeiten im Bereich der Armbewegung zu ermitteln. Dabei muss die Testperson mit dem Zeigefinger definierte, als auch selbstbestimmte Positionen auf einer Messplatte berühren. Die Messplatte besteht aus einem Touchscreen, inklusive zugehöriger Messelektronik, und hat eine Abmessung von ca. 500 x 400 mm. Diese Größe ist notwendig, damit die komplette Armstreckung als auch Beugung durchgeführt werden kann.

Bei der Durchführung des Tests sitzt die Testperson auf einem Stuhl vor einem Tisch, auf dem die Messplatte abgelegt wird. Die Sitzhöhe wird am besten so eingestellt, dass sich der Ellbogen auf Höhe der Messplatte befindet. Der Ablauf des Tests erfolgt wie bei dem GoF-Test nach dem Task-Konzept aus Kapitel 5.4. Es werden zuerst 2 Trainings-Items ausgeführt, gefolgt von 10 Test-Items. Zur Auswahl stehen dabei unterschiedliche Test-Methoden. Einerseits der von Ayres beschriebene Sensory Integration Test, bei dem die Berührungspunkte bereits vorgegeben sind. Bei der Durchführung dieses Tests müssen diese Punkte in einer genau definierten Reihenfolge berührt werden. Eine weitere Methode wurde von Mag. Soechting entwickelt, bei der die Berührungspunkte durch die Testperson selbst definiert werden. Die dritte Möglichkeit wurde im Laufe dieser Arbeit entwickelt und wird Finger to Finger-Test genannt. Bei diesem Test wird die Messplatte ungefähr 20cm über Tischplatte positioniert, und gleichzeitig sowohl oben als auch unten mit den Zeigefingern berührt. Die detaillierte Beschreibung dieser Testmethoden sind in den nächsten Unterabschnitten 7.1. bis 7.3. zu finden.

7.1 Test nach Ayres

Der Sensory Integration Test wird in seiner ursprünglichen Form auf Papier durchgeführt. Dabei sitzt die Therapeutin direkt gegenüber der Testperson und gibt die nötigen Anweisungen zur Durchführung. Auf dem Papier befinden sich 10 Vektoren, die abwechselnd mit der linken und rechten Hand am Start- und Endpunkt berührt werden müssen. Die Sicht auf diese Linien wird der Testperson verwehrt. Bei jedem Vektor wird der Zeigefinger der Testperson durch die Therapeutin zuerst auf den Startpunkt und darauffolgend auf den Endpunkt gesetzt. Danach wird die Testperson aufgefordert diesen Vorgang selbständig zu wiederholen. Die Abweichung

vom Referenzendpunkt wird markiert und am Ende des Tests vermessen. Daraus kann ein Gesamtergebnis errechnet werden.

In der neuen elektronischen Form wird dieses Papier unter dem Touchscreen befestigt und eine Kalibrierung der Referenzpunkte durchgeführt (siehe Abbildung 27). Der Ablauf des Tests bleibt der gleiche, jedoch werden die Abweichungen automatisch erfasst und berechnet. Dadurch werden Aufwand und Messfehler im Vergleich zur manuellen Version reduziert.

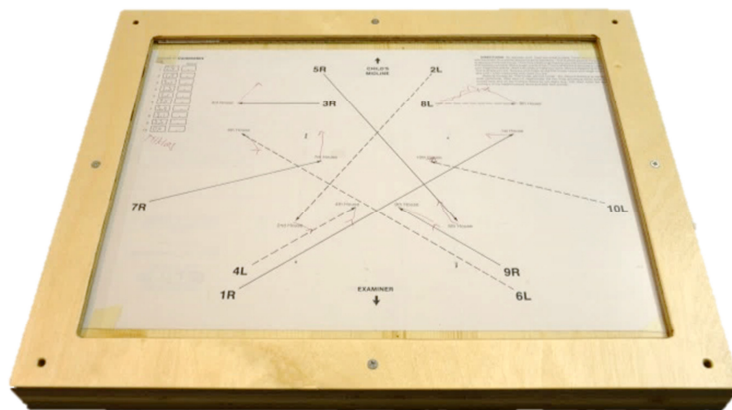


Abbildung 27 Ayres Sensory Integration Test auf Papier

7.2 Test nach Soechting

Der von Mag. Soechting entwickelte Test, wird ebenfalls wie der Ayres Test auf der Oberseite der Messplatte durchgeführt. Das Kernelement sind die nicht definierten Endpunkte der Bewegungsvektoren. Diese werden von den Testpersonen selbst während des Ablaufs definiert. Es gibt lediglich einen definierten Startpunkt, der durch eine ca. 5 mm Erhöhung am unteren Ende der Messplatte auch taktil erfassbar ist. Von diesem Startpunkt aus bewegt die Testperson abwechselnd den linken und rechten Arm auf einen beliebigen Punkt auf der Messplatte. Dieser wird vom System gespeichert und dient als neuer Referenzendpunkt. Beim zweiten Versuch muss dieser Punkt nun erneut getroffen werden. Die Abweichung wird automatisch berechnet und abgespeichert. Die Therapeutin achtet während der Durchführung darauf, dass die Testperson nicht für alle Items den gleichen Endpunkt verwendet, und weist die Testperson darauf hin.

7.3 Finger to Finger Test

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal zu den bisherigen Testmethoden ist beim Finger to Finger Test die Verwendung der Ober- und Unterseite der Messplatte. Die Messplatte wird dabei umgekehrt auf einen Rahmen in ca. 20 cm Höhe gelegt (siehe Abbildung 29). Daher sind der Touchscreen nun auf der Unterseite, und die nicht berührungsempfindliche Rückseite oben. Auf dieser Rückseite befinden sich die Berührungspunkte des Finger to Finger Tests (siehe Abbildung 28). Diese müssen in der vorgegeben Reihenfolge abwechselnd mit dem linken und rechten Zeigefinger berührt werden. Gleichzeitig wird auch der Touchscreen an derselben Position berührt. Die geometrische Differenz dieser beiden Punkte kann errechnet werden und dient als Basis für die Bewertung des Tests. Aufgrund der Größe der Messplatte und der Abstände der Messpunkte, ist die Sicht auf die Unterseite nicht möglich. Daher muss der Punkt auf dem Touchscreen rein durch die propriozeptive Fähigkeit bestimmt werden. Mit diesem Test ist es möglich bereits früh zerebrale Dysfunktionen zu erkennen.



Abbildung 28 Berührungspunkte des Finger to Finger Tests



Abbildung 29 Bedienung des Finger To Finger Tests

7.4 Komponenten

Das Testsystem besteht aus mehreren Komponenten, die durch drahtgebundene und auch durch drahtlose Verbindungen miteinander kommunizieren. Die Hauptkomponente bildet dabei der ca. 21 Zoll große Touchscreen, der die örtliche Position in elektrische Signale umwandelt. Die Auswertung dieser Informationen übernimmt ein Touchscreen-Controller der die ausgewerteten Daten als X- und Y-Koordinaten an einen Mikrocontroller weiterleitet. Der Mikrocontroller hat dann nur noch die Aufgabe die Koordinaten an das mobile Endgerät via Bluetooth zu übertragen.

7.4.1 Touchscreen

Wie bereits erwähnt, bildet der Touchscreen die Basis für das Messgerät. Er wandelt die Koordinaten eines Berührungspunkts in elektrische Signale um und stellt diese dem Controller zur Verfügung. Es gibt dabei verschiedene Verfahren zur Bestimmung dieser Koordinaten, die beispielsweise durch Verwendung von resistiven, kapazitiven oder optischen Touchscreens ermöglicht wird. Aufgrund der kraftlosen Messmethodik, fiel die Entscheidung ein kapazitives Modell zu verwenden. Verbaut wurde ein 3M SCT3250EX Touch-Panel mit 20,65 Zoll Diagonale und 5 poligen AMP-Anschlusskabel. Das Panel ist aus Glas gefertigt und erfüllt Schutzklasse IP66. Es handelt sich dabei um ein Oberflächen-kapazitives System, wodurch nur Single-Touch Messungen möglich sind.

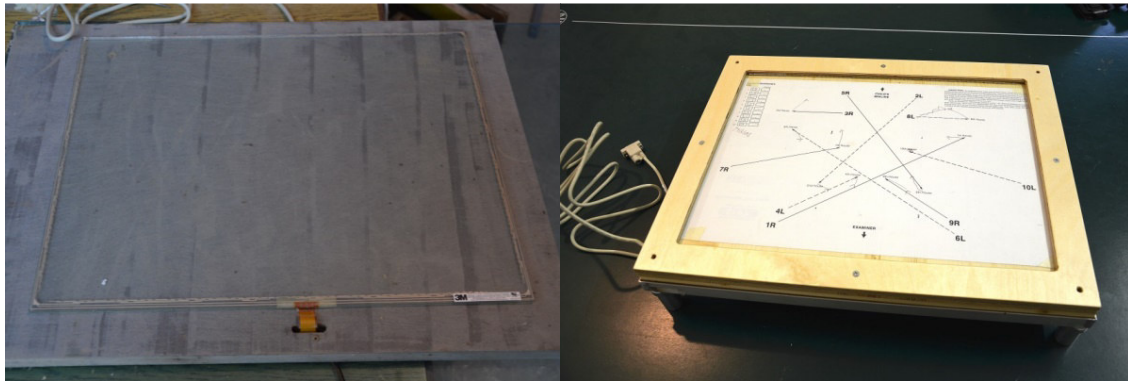


Abbildung 30 3M SCT3250 Touch Panel mit 20,65 Zoll Diagonale

7.4.2 Touchscreen-Controller

Zur Messpunkterfassung am Touchscreen gibt es bereits beim Hersteller verfügbare Controller, die die Auswertung wesentlich vereinfachen. Der in diesem Projekt verwendete Controller ist ein Fabrikat von 3M mit der Modellbezeichnung EXII 7720SC¹⁷ (siehe Abbildung 23). Dieser liefert die Daten auf einem Seriellen-Interface nach dem RS-232 Standard. Zur Verbindung mit dem Controller ist das Standard 3M MicroTouch RS-232 Serial Cable notwendig. Dieses ermöglicht nicht nur die Datenkommunikation sondern beinhaltet auch die Stromversorgung des Controllers. Die Versorgungsspannung beträgt 5V DC.

Ein Auszug aus den Performance-Daten des Datenblatts des Herstellers:

Genauigkeit	>99% der echten Position
Auflösung	1024 x 1024
Linearisierung	Bereits durch Hersteller
Spannungsversorgung	5-12 V DC $\pm$ 5%
Point Speed (PPS)	220 pps
Minimale Touchzeit	5,4 ms

Die Kommunikation mit dem Controller erfolgt über die RX- und TX-Leitung. Für jedes Kommando, dass über die RX-Leitung gesendet wird, sendet der Controller eine

¹⁷ 3M ID: EXII-7720SC (98-0003-2217-6)

Rückmeldung über die TX-Leitung. Ein vollständiges Kommando ist wie folgt aufgebaut:

<Header>Command<Terminator>

Das Startzeichen eines Kommandos ist immer das <Header> Zeichen, für das ein Wert 01 Hexadezimal gesendet wird. Im ASCII-Zeichensatz ist dieses als SOH Zeichen bekannt.

Das auszuführende Kommando wird zwischen Header und Terminator eingeführt und besteht immer nur aus Großbuchstaben und Ziffern.

Der Terminator folgt am Schluss des Kommandos und hat den Wert 0D hexadezimal. Im ASCII-Zeichensatz ist dies das Zeichen CR.

Ein Kommando könnte beispielsweise wie folgt zusammengestellt sein:

<SOH>Kommando<CR>

Nach jedem gesendeten Kommando folgt eine Antwort, die demselben Schema folgt wie die Anfrage.

Die Auflistung der möglichen Kommandos ist in [32] zu finden.

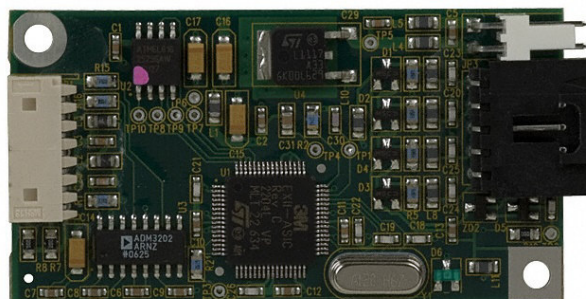


Abbildung 31 3M EXII 7720SC Controller¹⁸

¹⁸ <http://solutions.3m.com>



Abbildung 32 Der Controller ist auf der Rückseite der Messplatte integriert

7.4.3 Gehäuse

Das Gehäuse für den Touchscreen und dem zugehörigem Controller wurde vollständig aus Holz gefertigt. Verwendet wurden dabei stabile Mehrschichtplatten, die auf die notwendigen Masse zugeschnitten und anschließend gefräst wurden. Der Aufbau des Gehäuses besteht aus 3 Schichten, diese sind die Bodenplatte, die Controllerplatte und der Panelrahmen. Verbunden werden diese Einzelelemente durch 8 Schrauben, wobei diese durch alle Schichten des Gehäuses reichen. Der Bauplan mit den entsprechenden Bemaßungen ist in Abbildung 33 dargestellt.

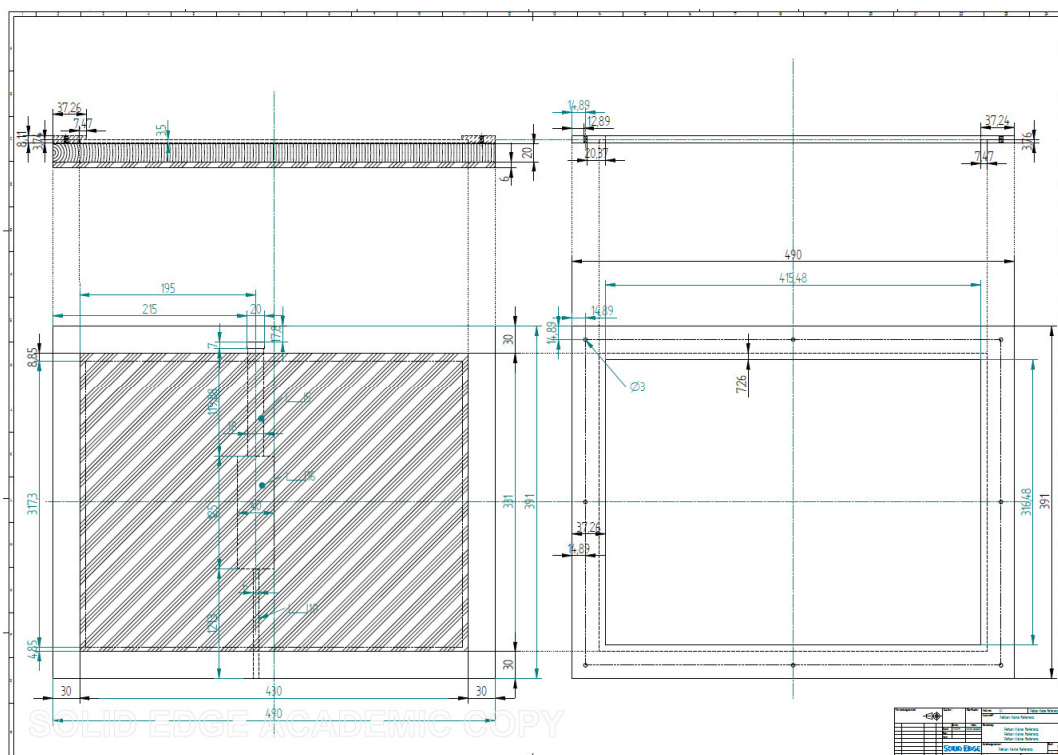


Abbildung 33 Bauplan GoM Gehäuse

7.4.4 Kommunikationsmodul

Das Kommunikationsmodul enthält die Komponenten zur Kommunikation mit dem Touchscreen-Controller, ein Bluetooth-Modul, sowie die Stromversorgung des gesamten Systems. Diese sind in einem Kompakt-Kunststoffgehäuse mit einer Abmessung von ca. 130 x 70 x 50 mm untergebracht. Die Aufgabe des Moduls besteht darin, die Koordinaten des Touch-Punktes auszulesen und an ein drahtlos verbundenes Endgerät weiterzuleiten.

Die Stromversorgung erfolgt mit einem 650 mAh Lithium-Polymer Akku beziehungsweise der dazu erforderlichen Lade- und Versorgungsschaltung. Der Akku kann mit einem Mini-USB Kabel geladen werden. Die Ausgangsspannung beträgt 5V DC.

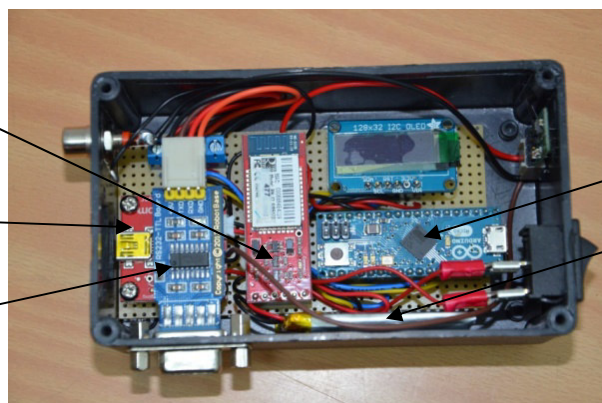
Die Verbindung zum Touchscreen-Controller erfolgt mit Hilfe eines Pegelwandlers der direkt an den Arduino Micro angeschlossen ist. Dieser wandelt die Pegel von TTL auf die für die RS-232 Schnittstelle notwendigen $\pm 15V$. Der Pegelwandler wird mit 5V DC betrieben. Die Verbindung von RX und TX erfolgt auf Port 0 und 1 des Arduino.

Das verwendete Bluetooth-Modul ist ein Modell Bluetooth Mate Silver mit dem Chipsatz Roving RN-42. Dieses kann ebenfalls über eine serielle RS-232 Schnittstelle angesprochen werden, wobei hier keine Pegelwandlung notwendig ist. Da der Arduino Micro nur über eine hardwaremäßige RS-232 Schnittstelle verfügt, muss diese als Software implementiert werden. Die verwendeten Ports sind 5 für TX und 6 für RX. Die notwendige Baudrate zum Modul beträgt 115200 Baud.

Bluetooth Mate Silver

Stromversorgung

Pegelwandler



Arduino Micro

Li-Po Akku

Abbildung 34 GoM Kommunikationsmodul von Oben

7.4.5 Hochrahmen

Für den Finger to Finger Test ist es notwendig die Messplatte mindestens 200 mm in die Höhe zu heben, damit man problemlos das Touch-Panel von unten aus berühren kann. Dazu wurde ein Aluminiumrahmen aus L-Profilen in rechteckiger Form zusammen geschweißt. An den 4 Eckpunkten wurden, ebenfalls aus Aluminium gefertigte, zylinderförmige Aufnahmen angebracht. Diese ermöglichen den Anbau von ca. 200 mm langen Rohren die dem Rahmen den notwendigen Abstand zum Boden geben. Da diese Rohre abnehmbar ausgeführt sind, können diese auch abmontiert werden um den Transport zu erleichtern. Der Plan in Abbildung 35 zeigt die einzelnen Komponenten und deren Bemaßungen. In Abbildung 36 ist der fertige Rahmen mit darauf liegender Messplatte zu sehen.

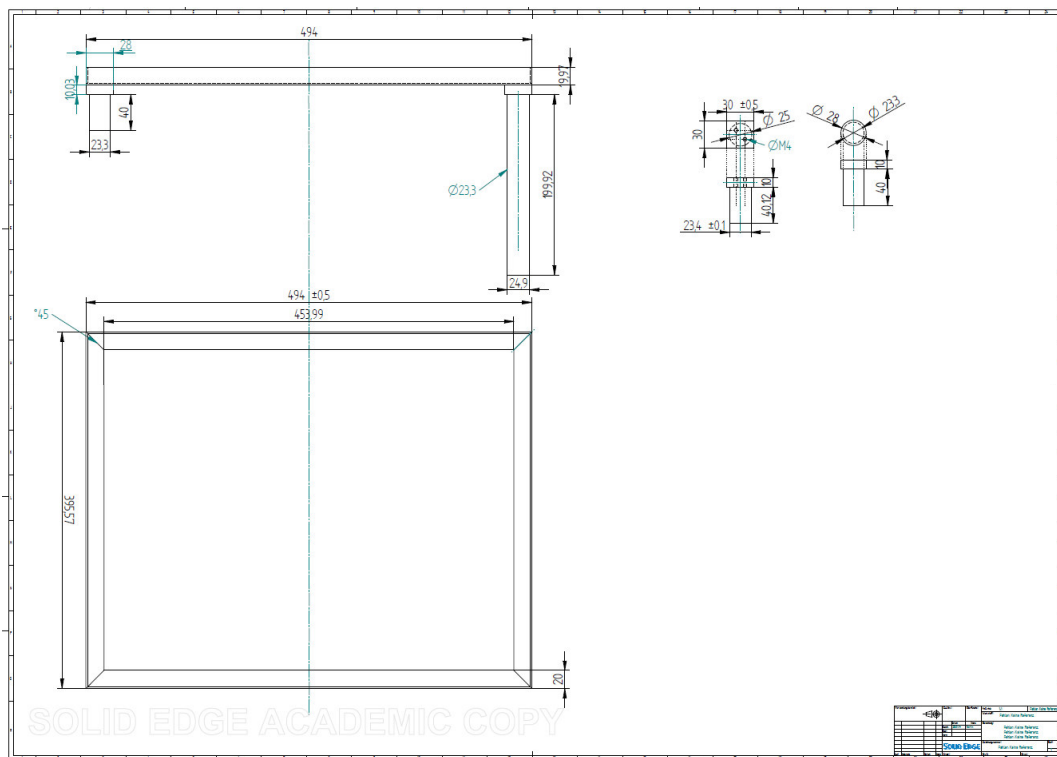


Abbildung 35 Bauplan des Hochrahmens für das GoM-System

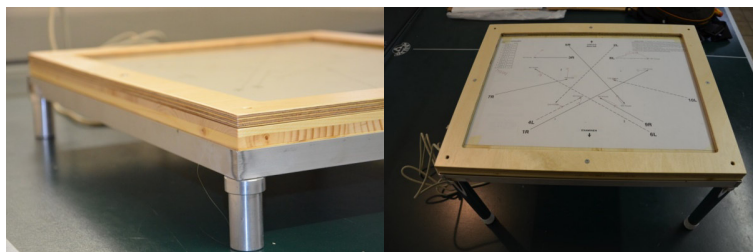


Abbildung 36 Fotos des Aluminium-Hochrahmens

7.5 Ablauf der Messwertabfrage

Nach dem Einschalten des Kommunikationsmoduls wird die serielle Verbindung mit 9600 Baud zum Touchscreen-Controller aufgebaut. Dabei wird folgende Zeichenkette übertragen, die den Controller initialisiert.

```
0x01 0x46 0x54 0x0D
```

Nach dieser Initialisierung sendet der Controller bereits Daten, sobald der Touchscreen berührt wird. Die Koordinaten werden durch jeweils 2 Byte übertragen, was bedeutet, dass es ein HIGH- und ein LOW-Byte gibt. Gespeichert werden diese Daten in folgender Struktur.

```
struct MICROTOUCH_FT {  
    byte status;  
    byte x1;  
    byte x2;  
    byte y1;  
    byte y2;  
    int x;  
    int y;  
};
```

Sobald das Zeichen **0x98** empfangen wurde, beginnt die Empfangsprozedur, welche die nächsten 5 Byte auswertet und die Struktur einfügt. Die empfangenen Bytes werden mit der Methode **word** in einen Integer konvertiert und in den Variablen **x** und **y** der Struktur gespeichert. Vor der Weiterleitung an das Bluetooth-Interface werden die Koordinaten, die einen Wert zwischen 0 und 32768 darstellen, auf einen Bereich von 1920 mal 1080 konvertiert. Diese Abfolge wiederholt sich bei jeder Berührung des Touchscreens.

Zur Verifizierung der Funktionsweise, werden die erfassten Koordinaten zusätzlich auch auf einem in das Kommunikationsmodul integrierten Display angezeigt.

Die Größe des Touchscreen als auch der maximale Messwert (1920 x 1080) sind bekannt. Daraus können die Maße eines Pixels errechnet werden, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind.

	x (mm)	y (mm)	d (mm)	
	417,800	317,300	524,630	mm
1 px	0,218	0,294	0,366	mm
10 px	2,176	2,938	3,656	mm

Wie in den Berechnungen zu sehen ist, ist die Auflösung mit ca. 0,3 mm per Pixel für die Anwendung beim GoM-Test als ausreichend anzusehen.

7.6 Entwurfsprozess

Wie bei dem GoF-Testgerät wurde auch hier zuerst ein Prototyp in kleiner Bauweise entwickelt. Dieser bestand, wie in Abbildung 31 zu sehen ist, aus einem 3,5 Zoll resistiven Touchscreen und einem Arduino Duemilanove. Nach den ersten erfolgreichen Tests wurden Attrappen und Prototypen aus Holz gefertigt. Dabei wurde auch versucht den Touchscreen durch die Verwendung eines iPad zu ersetzen, was dann jedoch aufgrund der hohen Kosten und unzureichenden Größe wieder verworfen wurde, siehe Abbildungen 37 und 38.

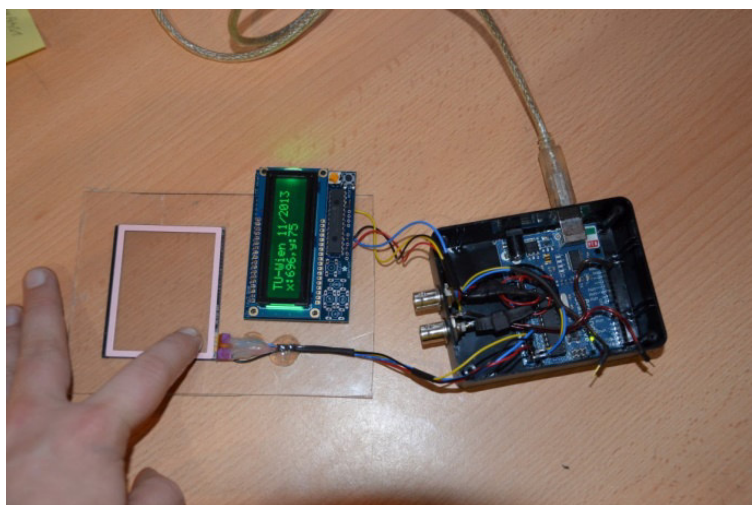


Abbildung 37 Erster Prototyp des GoM-Geräts



Abbildung 38 Prototyp GoM-Gerät mit iPad

In einem weiteren Schritt wurde die Hardware auf einem Steckbrett aufgebaut, welches in das Gehäuse integriert wurde (siehe Abbildung 39). Auf der Rückseite wurde eine resistiver 7 Zoll Touchscreen angebracht, der erste Testversuche ermöglichte. Die Datenübertragung erfolgte zu diesem Zeitpunkt bereits mittels Bluetooth Technologie.

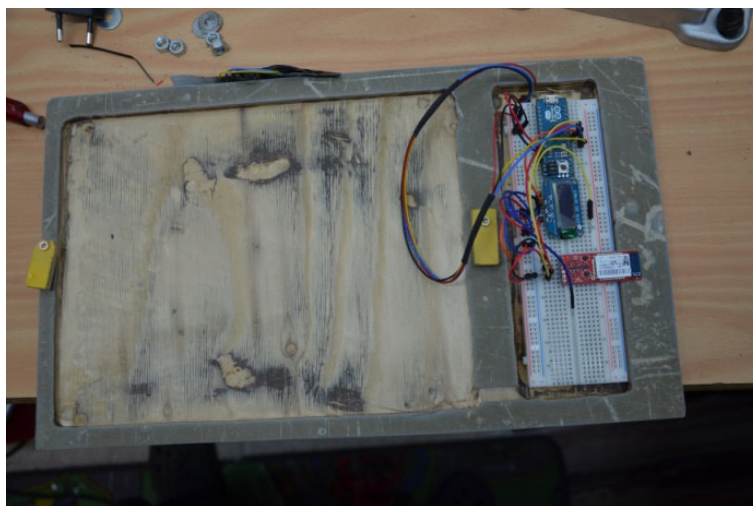


Abbildung 39 Elektronik des GoM-Prototyp mit iPad

8 Die mobile Applikation

Die Anzeige und Auswertung, der durch die Sensoren und Arduino Boards erfassten Daten, stellt ein wichtiges und notwendiges Instrument für den Bediener des Systems dar. Zu diesem Zweck wurde eine Applikation entwickelt, die auf verschiedenen mobilen Endgeräten lauffähig sein sollte. Diese wurde mit PhoneGap, HTML5 und JavaScript entwickelt. Um den Faktor Zeit, und vor allem den Entwicklungsaufwand zu reduzieren, wurde auf verfügbare Bibliotheken und Plug-Ins zurückgegriffen. Durch die Verwendung von jQuery Mobile und der D3Charts, konnte die Implementierung beschleunigt werden.

8.1 Features

Die Applikation soll den Bediener im gesamten Ablauf der Tests unterstützen. Das bedeutet, von der Erfassung der Testpersonendaten bis hin zu den statistischen Berechnungen der Ergebnisse. Alle Personendaten, Testdaten und Einstellungen werden zentral in einer lokalen Datenbank gespeichert.

Die Funktionalität kann grob in die folgenden Module eingeteilt werden.

- Einstellungen
- Patientenverwaltung
- Testdurchführung
- Datenaufzeichnung
- Statistische Auswertungen
- Mailversand der Daten

Die detaillierte Beschreibung dieser Module erfolgt in Abschnitt 8.3.

8.2 UI-Design

Das User-Interface sollte für Smartphones und Tablets optimiert implementiert werden. Daher wurden nur Bedienelemente verwendet, die auch für die Fingerbedienung geeignet sind. Die Applikation wird während des gesamten Testverlaufs nur von der Therapeutin bedient. Vor der eigentlichen Implementierung wurden mit dem Programm Pencil¹⁹ Bildschirmatrappen erstellt. Siehe Abbildungen 40 und 41.



Abbildung 40 Bildschirmatrappen des GoF-Test

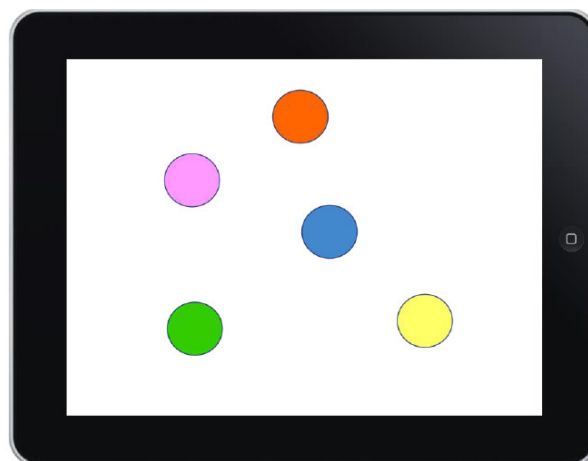


Abbildung 41 Bildschirmatrappen des GoM-Test

¹⁹ <http://pencil.evolus.vn/>

8.3 Module

Wie bereits im Abschnitt 8.1. beschrieben wurde, besteht die Applikation aus mehreren Modulen, die im folgenden Abschnitt dargestellt werden.

8.3.1 Infos

Die Informationen betreffend des Betriebssystems oder der Bildschirmauflösung wurden im Modul Infos implementiert.

8.3.2 Einstellungen

Im Modul Einstellungen können die gepaarten Bluetooth Geräte und die Grundeinstellungen bezüglich der Tests verwaltet werden.

8.3.3 Personenverwaltung

Die Personenverwaltung ermöglicht die Anlage, Bearbeitung und Löschung von Personen. Es können Namen, Geburtsdaten und das Geschlecht erfasst werden. Die Speicherung der Daten erfolgt in einer lokalen Datenbank.

8.3.4 Testdurchführung

Durch das Modul Testdurchführung werden die beiden Tests GoF und GoM ermöglicht. Der Ablauf eines Tests erfolgt dabei vollautomatisch ohne eine notwendige Interaktion mit der Software. Unterstützt wird die Therapeutin durch die grafische Darstellung der aufgewendeten Kraft beziehungsweise durch die Darstellung der Punkte des GoM-Tests.

8.3.5 Auswertung

Die Auswertungsmöglichkeiten zu einem durchgeführten Test umfassen die grafische Darstellung der Messwerte als auch die Berechnung von statistischen Kennzahlen. Die Darstellung der Werte erfolgt dabei in einem Liniendiagramm. Die gleichzeitig berechneten Kennzahlen sind das Minimum, Maximum, der Median und Mittelwert als auch die Varianz und die Standardabweichung. Die Speicherung der Daten erfolgt lokal in einer CSV-Datei.

8.3.6 E-Mail Versand

Die gespeicherten Testdaten und auch die berechneten Kennzahlen können auch als E-Mail versendet werden. Dadurch ist es nicht notwendig das Endgerät zum Datentransfer mit einem PC zu verbinden.

8.4 Implementierung

In diesem Abschnitt wird auf die Implementierung und die damit verbundenen Konfigurationen, Bibliotheken, usw. eingegangen.

8.4.1 Konfiguration

In der Datei `config.xml`, die sich im Ordner `www` befindet, werden die Einstellungen betreffend des Applikationsnamens, der Autorinformation und der Startparameter eingestellt. Hier werden auch die Splashscreens und Icons definiert.

8.4.2 Plug-Ins und Bibliotheken

In dieser Applikation gibt es zwei Arten von Plug-Ins. Einerseits die Plug-Ins, die von PhoneGap zum Zugriff auf die Hardware benötigt werden, und andererseits diejenigen, die die Java Script Programmierung vereinfachen.

Folgende PhoneGap Plug-Ins wurden verwendet:

`com.jcjee.plugins.emailcomposer`

Ermöglicht das Versenden von E-Mails mit Anhängen.

`com.megster.cordova.bluetoothserial`

Mit diesem Plug-In können Daten über die Bluetooth-Schnittstelle versendet und empfangen werden.

`org.apache.cordova.battery-status`
`org.apache.cordova.device`
`org.apache.cordova.device-orientation`
`org.apache.cordova.dialogs`
`org.apache.cordova.file`
`org.apache.cordova.file-transfer`
`org.apache.cordova.inappbrowser`
`org.apache.cordova.media`
`org.apache.cordova.splashscreen`
`org.apache.cordova.vibration`

Mit diesen Standard-Plug-Ins kann die Hardware des Endgeräts benutzt beziehungsweise abgefragt werden.

Die Komponenten von jQuery und jQuery Mobile vereinfachen und beschleunigen die JavaScript-Programmierung erheblich. Daher wurde diese auch in dieser Arbeit verwendet. Verwendet wurden folgende Versionen.

- `jquery-2.0.3.min.js`
- `jquery.mobile-1.4.0.js`

Es gibt zahllose Erweiterungen für das jQuery Framework, die beispielsweise UI-Elemente oder Timer implementieren. Das Countdown-Plug-In beinhaltet, wie der Name vermuten lässt, einen Countdown-Timer. Zur Visualisierung von begrenzten Werten, wie es beispielsweise bei Drehzahl- oder Geschwindigkeitsmessinstrumenten der Fall ist, kann das Plug-In Knob verwendet werden. Ein einfaches Tool zur Eingabe von Datumswerten stellt das Datepicker-Plug-In dar.

- `jquery.countdown.1.6.3`
- `jquery.mobile.datepicker.js`
- `jquery.knob.js`

Bei beiden Tests wird der aktuelle Status auf dem Display angezeigt, sprich die aufgewendete Kraft beziehungsweise die aktuelle Position. Zur Anzeige dieser Daten werden folgende Bibliotheken verwendet.

- `kinetic-v5.0.0.min.js`²⁰
- `gauge.min.js`²¹

Zur Analyse der aufgezeichneten Daten werden Bibliotheken zur Generierung von Diagrammen verwendet. Es wird eine Bibliothek namens D3.js²² verwendet.

Die Auswertung umfasst auch die Berechnung von einfachen statistischen Kenngrößen. Dies wird durch die Bibliothek Simple Statistics²³ ermöglicht.

²⁰ <http://kineticjs.com/>

²¹ <http://bernii.github.io/gauge.js/>

²² <http://d3js.org/>

²³ <http://www.macwright.org/simple-statistics/>

8.4.3 Struktur

Aufgrund des Code-Umfangs und der unterschiedlichen Features ist es sinnvoll, und auch notwendig, den Source-Code auf mehrere Dateien zu verteilen. Die Organisation erfolgte dabei auf Grundlage der zuvor definierten Module und stellt sich wie folgt dar. Die Einrückungen stellen dabei die hierarchische Abhängigkeit der einzelnen Module zueinander dar.

```
index.js
  index_events.js
  index_force.js
  index_touch.js
  index_utils.js
  index_mail.js
  index_db.js
    index_indexeddb.js
    index_websql.js
  index_test_data.json
  index_test_data_force.json
```

Die Startmethode, die die Initialisierung der Hardware, der Sounds und der Callback-Handler durchführt, ist in der Komponente `index.js` zu finden.

8.4.4 Datenbank

Es gibt in der entwickelten Applikation insgesamt zwei Datenbank-Konnektoren, die über ein definiertes Interface angesprochen werden können. Einerseits ist es möglich WebSQL zu verwenden, andererseits kann der Zugriff aber auch mit IndexedDB erfolgen. Welche dieser beiden Konnektoren verwendet wird, entscheidet die Applikation automatisch zur Laufzeit.

Die Methoden für WebSQL befinden sich im Namespace `autism.webSql` und sind in dem Modul `index_websql.js` zu finden.

Die Methoden für IndexedDB befinden sich im Namespace `autism.indexedDB` und sind in dem Modul `index_indexeddb.js` zu finden.

8.4.5 Charts

Die Darstellung von den Testergebnissen in Diagrammen wird durch die Bibliotheken D3 und Chart.js ermöglicht. Diese rendern die hinterlegten Testdaten in Liniendiagrammen auf ein Canvas-Objekt.

8.4.6 Vektorgrafiken

Zur Generierung der Vektorgrafiken des GoM-Test wird die Bibliothek Kinetic JS verwendet. Diese Canvas-Bibliothek ermöglicht die Anzeige von Formen, Animationen und Überblendungen.

8.4.7 Sounds

Die bei den Tests wiedergegebenen Sounds werden mit der Applikation im Ordner **sound** ausgeliefert. Die Speicherung dieser Dateien erfolgt im mp3-Format.

8.5 Testdaten

Die Tests sind in separaten Dateien hinterlegt, deren Inhalt einem definierten Schema folgt. Dadurch ist es möglich neue Tests durch eine Konfigurationserweiterung zu implementieren.

Jede Konfigurationsdatei muss eine Variable mit dem Namen **test_data** enthalten.

```
var test_data = {  
  
};
```

In diesem Objekt können die Tests definiert werden. Dazu werden folgende Variablen definiert.

```
"ayres": [  
  {  
    title: "Test 1",  
    hand: "right",  
    isTraining: true,  
    startPoint: [ 1280, 440 ],  
    endPoint: [ 1280, 940 ],  
    diff: [ 0, 0 ]  
  },  
  ...  
,  
  ...  
]
```

9 Bedienkonzept und Anleitung

9.1 GoM-Gerät

9.1.1 Vorbereitungen

Zuerst muss die Kommunikations- und Steuereinheit mit Strom versorgt werden. Hierzu wird das USB-Verbindungskabel mit beispielweise mit dem USB-Port eines PC verbunden. Siehe Abbildungen 42 und 43.

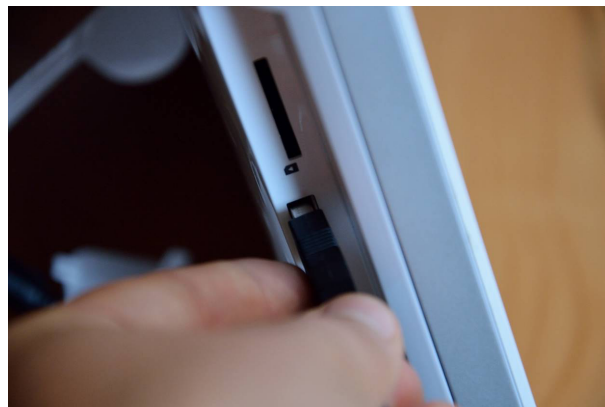


Abbildung 42 Herstellung der Stromversorgung am Endgerät



Abbildung 43 Herstellung der Stromversorgung der Einheit

Als nächster Schritt wird die Messplatte mit der Steuereinheit verbunden. Dazu wird zuerst die Stromversorgung hergestellt, indem der RCA-Stecker an der Steuereinheit angeschlossen wird, siehe Abbildung 44.



Abbildung 44 Stromversorgung Messplatte

Danach wird der Datenstecker mit der Steuereinheit verbunden, siehe Abbildung 45.

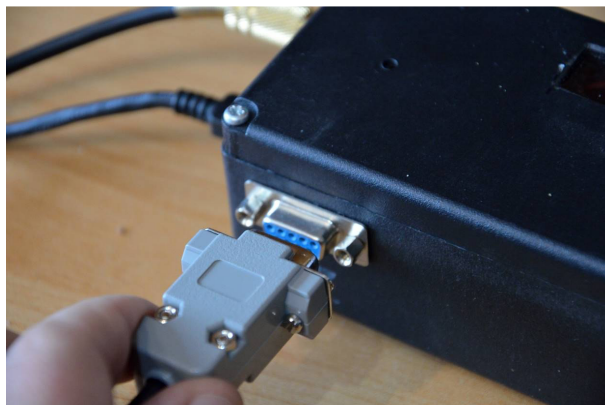


Abbildung 45 Verbindung Datenstecker mit Steuereinheit

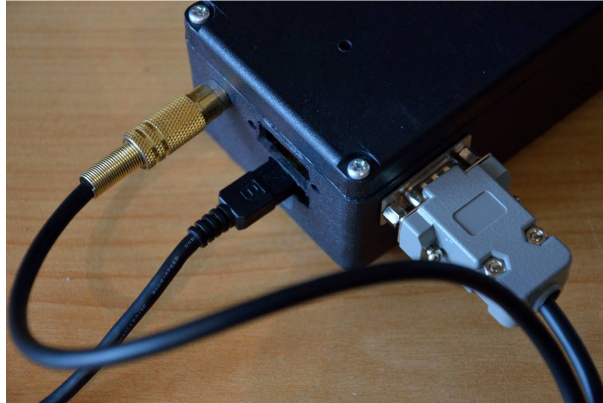


Abbildung 46 Fertige Verbindungen der Steuereinheit

Nun wird der Touchscreen-Controller mit dem Verbindungskabel verbunden, siehe Abbildungen 47 und 48.

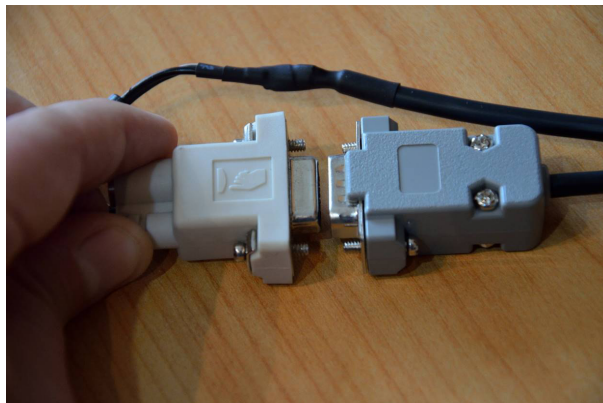


Abbildung 47 Verbindung Datenstecker



Abbildung 48 Verbindung Stromversorgung

9.1.2 Start der Tests

Zuerst wird die Steuereinheit aktiviert, siehe Abbildung 49.



Abbildung 49 Aktivierung der Steuereinheit

Danach wird Bluetooth auf dem Endgerät aktiviert und die Applikation gestartet, siehe Abbildung 50.

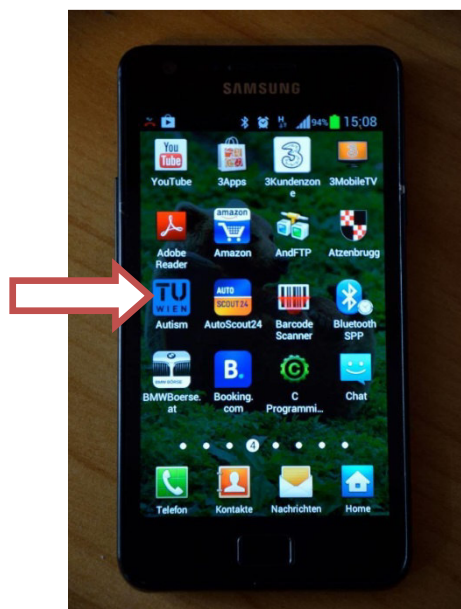


Abbildung 50 Start der Applikation

Nach dem Start der Applikation wird zuerst die Bluetooth-Verbindung zum Messgerät hergestellt, siehe Abbildungen 51 bis 53.

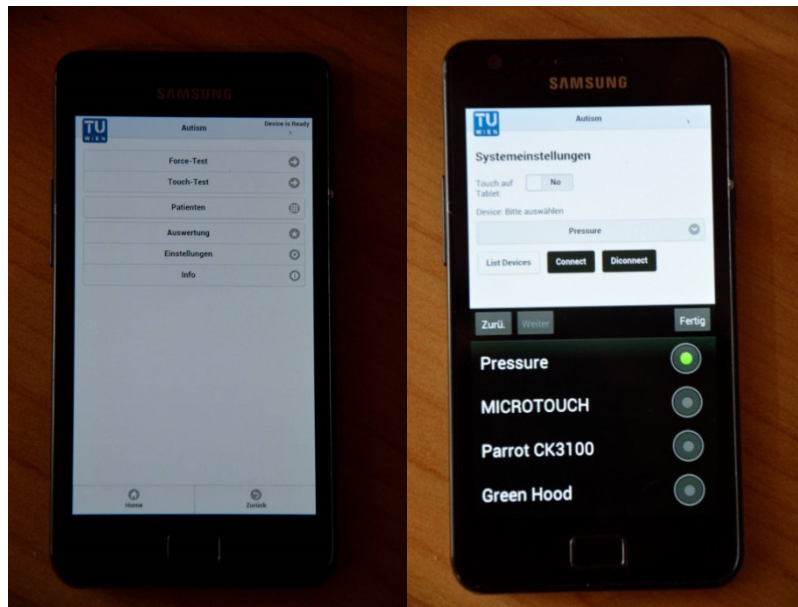


Abbildung 51 Startmaske und Verbindung des Bluetooth-Geräts

Während des Verbindungsaufbaus wird auf dem Display der Text „Device Connecting“ angezeigt.

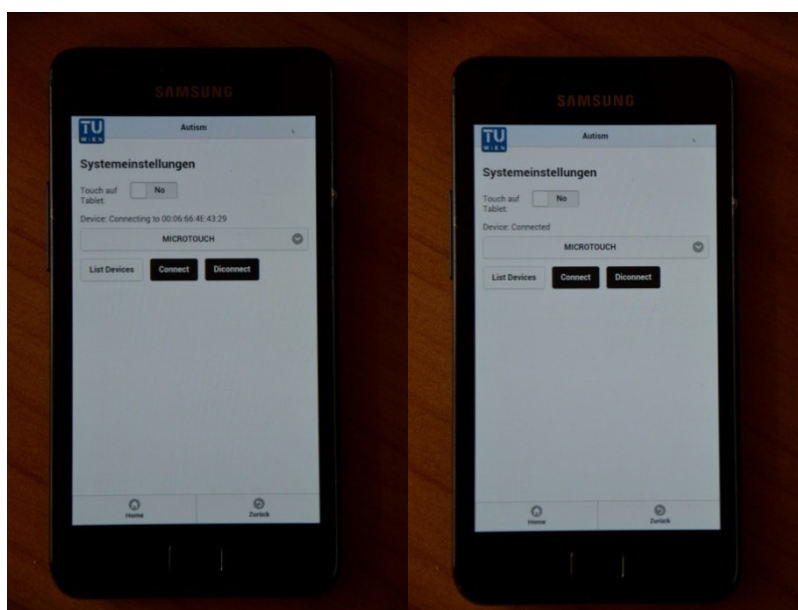


Abbildung 52 Bluetooth Verbindungsaufbau

Nach erfolgreichem Verbindungsaufbau wird „Connected“ angezeigt. Jetzt kann der eigentliche Test beginnen.

Nach der erfolgreichen Verbindungsherstellung kann mit dem GoM-Test begonnen werden. Dazu werden zuerst die Testperson und das Testschema ausgewählt. Siehe Abbildung 53. Der Test wird nun automatisch durchgeführt.

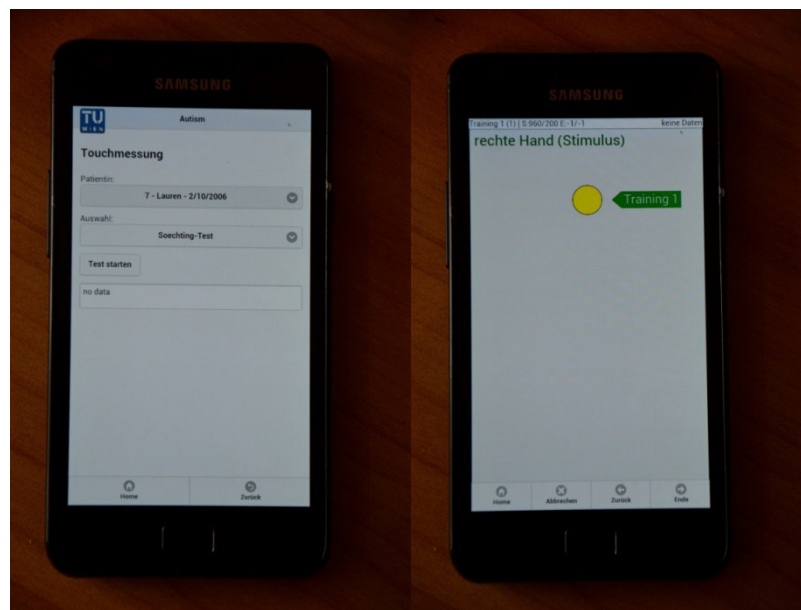


Abbildung 53 Auswahl Testperson und Testdurchführung am Smartphone

9.2 GoF-Gerät

9.2.1 Vorbereitungen

Die Messeinheit wird auf einem flachen Gegenstand, wie beispielsweise einer Tischplatte, platziert. Siehe Abbildung 54.



Abbildung 54 Platzierung GoF-Messeinheit

9.2.2 Starten der Tests

Zum starten des Geräts wird der Ein-Aus Schalter auf Rückseite betätigt. Siehe Abbildung 55.



Abbildung 55 Einschalten des GoF-Geräts

Zur Sicherheit wird kontrolliert, ob die LED abwechselnd rot-grün blinkt. Siehe Abbildung 56.

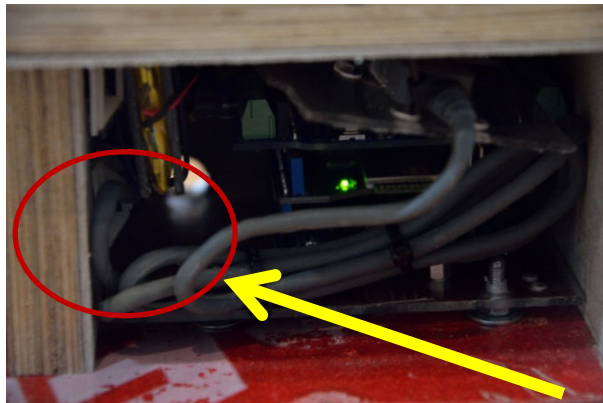


Abbildung 56 Kontroll-LED des GoF-Test

Danach kann die Verbindung mit dem Gerät hergestellt werden. Siehe Abbildung 60.

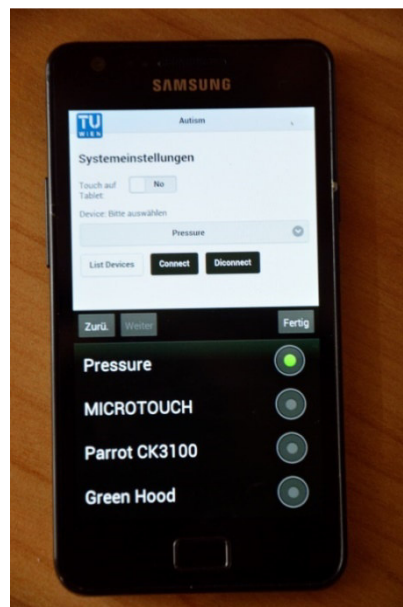


Abbildung 57 Herstellung der Verbindung mit dem GoF-Gerät

Nun kann der Force-Test gestartet werden.

9.3 Kopplungscodes für die Bluetooth-Verbindung:

Für die Verbindung des Endgerätes mit den Testgeräten sind folgende Codes für die Kopplung notwendig:

Force-Test: **0000**

Movement-Test: **1234**

10 Evaluierung

Zur Evaluierung der Tests wurden unterschiedliche Testverfahren angewendet. In einem ersten Schritt wurden bei einem Funktionstest die maximale Belastbarkeit und die Genauigkeit ermittelt. Die Praxistauglichkeit wurde in einer Testreihe mit gesunden Kindern untersucht, welche in Zusammenarbeit mit einer Psychologin erfolgte.

10.1 Funktionstests

Die Funktionstests sollten darüber Aufschluss geben, wie weit die Geräte belastet werden können, beziehungsweise wie genau diese Messen können. Zu diesem Zwecke wurden die beiden Tests in mehreren Versuchen mit Referenzwerten überprüft.

Das GoF-Testgerät wurde bei dem Versuch mit zuvor definierten und gewogenen Gewichten belastet. Die Belastung wurde dabei in 1 kg Schritten kontinuierlich erhöht, bis diese bei 8 kg angelangt war. Insgesamt wurden so 4 Testläufe durchgeführt, wodurch 36 Messwerte aufgezeichnet werden konnten. Durch eine Auswertung dieser Messwerte stellte sich heraus, dass die gemessenen Werte nahezu linear mit der Gewichtsbelastung ansteigen (siehe Abbildung 58). Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert der 4 Testläufe beträgt ca. 1,84 %. Dadurch konnte die Reproduzierbarkeit des Versuchs und die daraus resultierende Robustheit bestätigt werden.

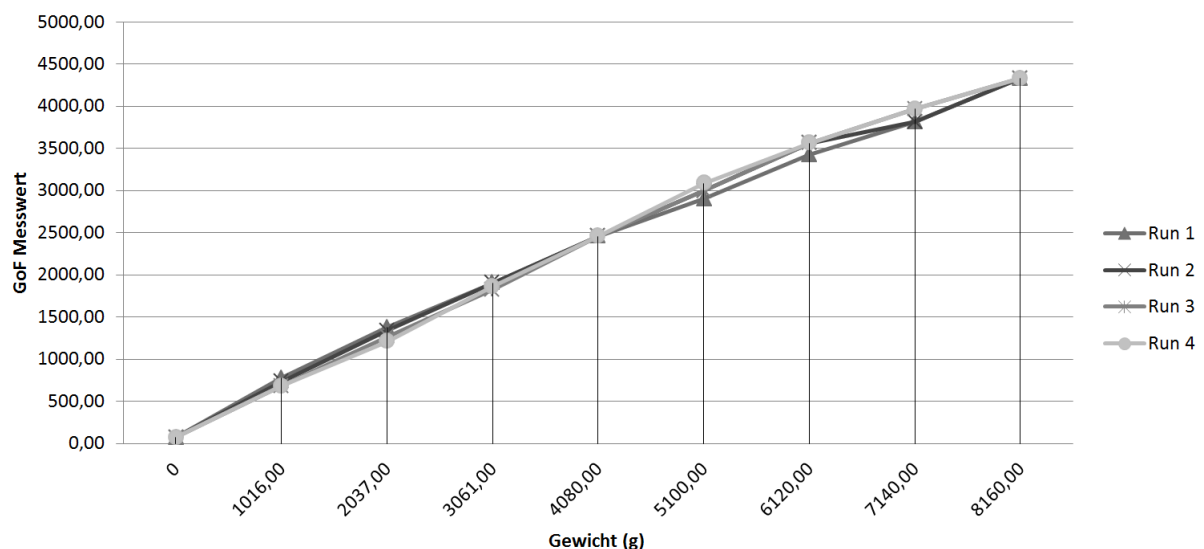


Abbildung 58 Diagramm der Messwerte des GoF-Test

Die Evaluierung des GoM-Test stellte sich als schwierig heraus, da hier keine absoluten Referenzwerte zur Verfügung stehen. Zur Verifizierung der Genauigkeit und Repetierbarkeit wurden zwei unterschiedliche Tests durchgeführt. Bei beiden wurden unter der Glasplatte Referenzpunkte markiert, die aber keine definierte Position hatten.

Beim ersten Test sollte ein Kind mit dem Zeigefinger mindestens 4-mal einen Referenzpunkt berühren. Dieser Referenzpunkt wurde zuvor mit einem Touch-Stift eingemessen und die Werte notiert. Die Ausführung hatte keine zeitliche Beschränkung und die Sicht auf die Punkte war möglich. Insgesamt wurden 3 Referenzpunkte in 8 Durchläufen berührt, woraus sich 96 Messwerte ergeben. Durchschnittlich ergibt sich daraus eine Abweichung von 0,37 %, was ca. 3 mm entspricht. Da die Größe einer Fingerkuppe im Durchschnitt mehr als 10 mm beträgt, kann die Genauigkeit als ausreichend angenommen werden.

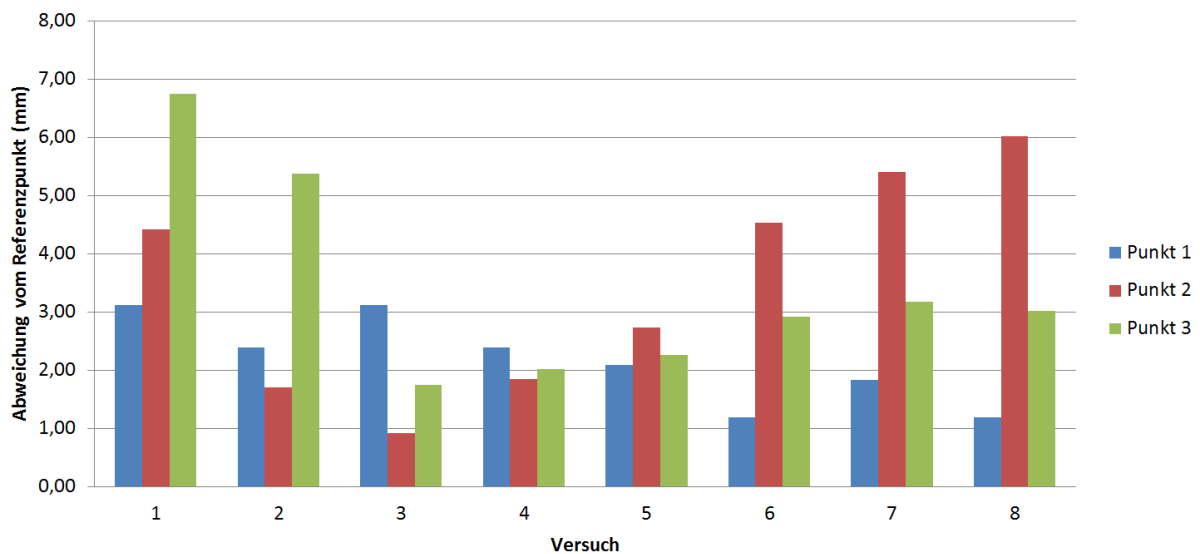


Abbildung 59 Diagramm der Abweichungen beim GoM-Test

Der zweite Test hatte denselben Versuchsaufbau wie der vorherige Test, nur dass das statt eines Referenzpunktes eine Referenzlinie mit 50 und 100 mm berührt werden musste. Vor dem Versuchsbeginn wurden 6 dieser Linien mit der jeweiligen Länge unter dem Touchscreen angebracht und eingemessen. In insgesamt 3 Durchläufen mit 4 Versuchen pro Linie wurden 144 Messpunkte erfasst. Bei den Linien mit 50 mm stellte sich eine durchschnittliche Abweichung von 2,41 mm heraus, wohingegen bei

den Linien mit 100 mm die Abweichung 4,55 mm betrug. Die durchschnittliche Längenabweichung beträgt gesamthaft also 3,50 mm, was einer relativen Abweichung von ca. 4,69 % entspricht. Die einzelnen Abweichungen sind in der folgenden Abbildung 60 und 61 dargestellt.

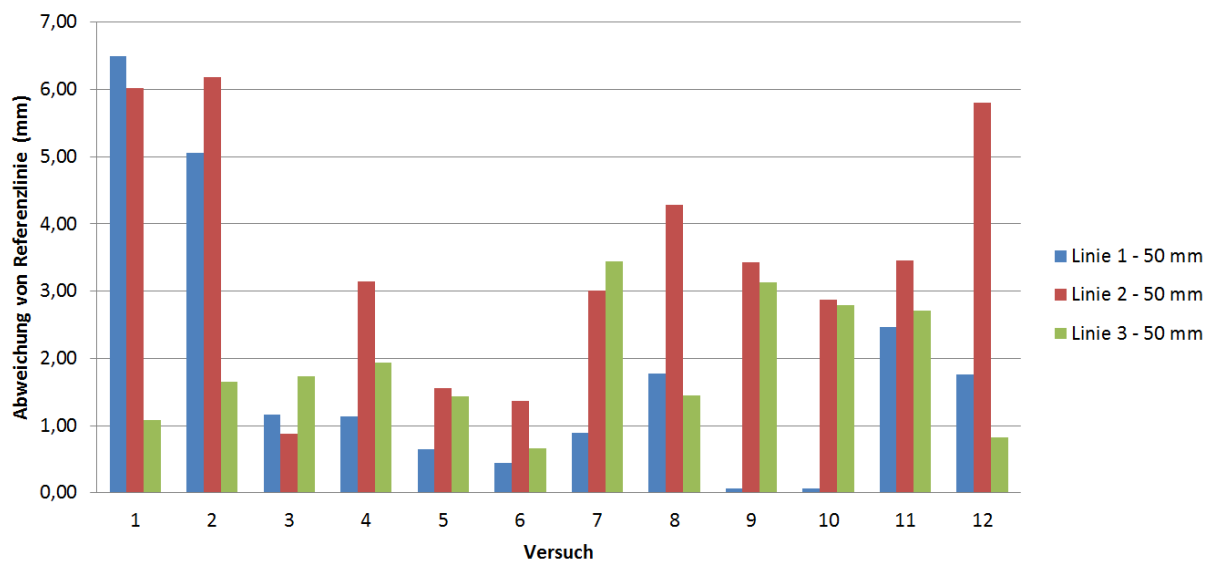


Abbildung 60 Diagramm der Abweichungen beim GoM-Test 50 mm

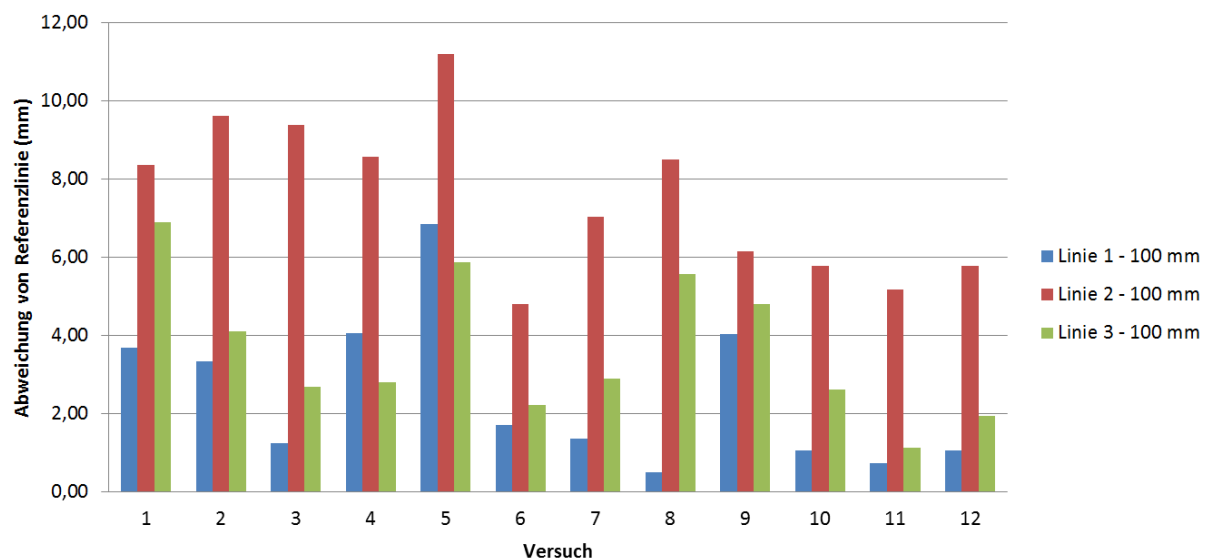


Abbildung 61 Diagramm der Abweichungen beim GoM-Test 100 mm

10.2 Testreihe mit gesunden Kindern

Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Funktionstests wurde eine Testreihe mit normal entwickelten Kindern durchgeführt, um den Testablauf und die Bedienbarkeit zu überprüfen. Diese Testreihe wurde mit Unterstützung einer Psychologin durchgeführt, und zeigte einige Schwächen des Systems auf. Beispielsweise versuchten die Kinder immer wieder zu schummeln, was dazu führte, dass ein Sichtschutz verwendet werden musste. Die Testgruppe bestand aus 4 Kindern, davon 2 Mädchen im Alter von 5 und 8 Jahren, und 2 Buben im Alter von 10 und 11 Jahren. Jedes der Kinder absolvierte jeweils 10 Test-Items des GoF- und GoM-Tests. Zur Analyse wurden in weiterer Folge aber nur die Daten von 3 Kindern verwendet. Die gewonnenen Daten sind in der unten stehenden Tabelle ersichtlich. Diese beschreibt die minimalen und durchschnittlichen Abweichungen. Die Werte sind als Rohmesswerte zu verstehen und dienen einem Vergleich zwischen den unterschiedlichen Kindern.

Person	GoF		GoM	
	Avg.	Min.	Avg.	Min.
Girl 1	341	0	20	7
Boy 1	253	40	7	0
Boy 2	303	75	26	1

Wie die Tests durchgeführt wurden, und wie die Kinder die Messgeräte bedient haben, ist in den nächsten Abbildungen 62 bis 64 zu sehen.



Abbildung 62 Versuchsaufbau GoF-Test



Abbildung 63 Versuchsaufbau GoM-Test

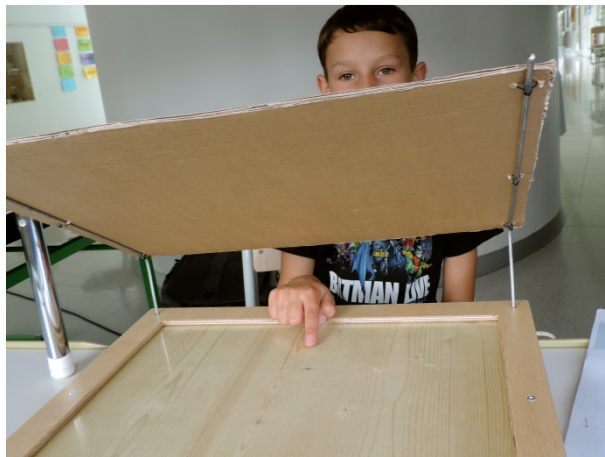


Abbildung 64 GoM-Test mit Blende

11 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden in Zusammenarbeit mit einer Psychologin, Tests zur Ermittlung der propriozeptiven Fähigkeiten von Kindern entworfen, implementiert und evaluiert. Es wurden dabei Geräte mit Kraftsensoren und Touchscreens ausgestattet, die es ermöglichen sollen, Unterschiede zwischen normal entwickelten Kindern und Kindern mit Autismus zu finden. Die Auswertung der Sensoren erfolgt dabei mit günstigen Arduino-Boards, wobei die so gewonnenen Daten in weiterer Folge an ein Smartphone oder Tablet drahtlos übertragen werden. Auf dem mobilen Endgerät läuft eine Applikation, die weitere Berechnungen und statistische Auswertungen durchführt, und diese auch lokal für spätere Zwecke abspeichert. Diese Applikation wurde plattformunabhängig mit HTML5 und PhoneGap entwickelt, und kann somit auf unterschiedlichen Endgeräten installiert werden.

In zwei unabhängigen Evaluierungsschritten konnte die Leistungsfähigkeit des implementierten Systems aufgezeigt werden. Zuerst wurde das System mit objektiven und realen Vergleichsmitteln auf die möglichen Grenzwerte und die Genauigkeit hin überprüft. Danach wurden in einer zweiten Evaluierung, normal entwickelte Kinder von einer Psychologin mit Hilfe des neuen Systems hinsichtlich ihrer Fähigkeiten untersucht. Dadurch konnten weitere Erkenntnisse für Verbesserungen gewonnen werden.

Für zukünftige Tests könnten auch weitere Messmethoden untersucht werden. Möglicherweise könnte die Erfassung von Arm- und Handpositionen gute Unterscheidungsmerkmale zwischen normal entwickelten Kindern und Kindern mit Autismus liefern. Dazu könnten auch zusätzlich Daten einer Tiefenkamera hinzugezogen werden.

In weiterer Folge werden von der beteiligten Psychologin Evaluierungen mit autistischen Kindern erfolgen, um die vermuteten Unterschiede zu normal entwickelten Kindern zu bestätigen.

12 Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei allen, die mir im Studium zur Seite gestanden sind und bei der Erreichung meines Zieles geholfen haben. Besonders bedanken möchte ich mich aber

bei den Betreuern meiner Diplomarbeit, Dipl.-Ing. Christian Schönauer und Dr. Hannes Kaufmann, die mir immer mit gutem Rat zur Seite standen.

bei meiner Kollegin Mag. Elisabeth Söchting, für die kritische Betrachtung, Datenerhebung und Tests der entwickelten Prototypen.

bei Manfred Schenk, Markus Schmöllerl und Martin Sprengnagel für die Unterstützung beim Bau der Gehäuse und Vorrichtungen.

bei meinen Studienkollegen Richard, Christian und Johannes, die mich fast durch das ganze Studium hin begleitet haben.

bei meiner Familie, ohne deren Unterstützung mein Studium wahrscheinlich nicht möglich gewesen wäre.

bei Thomas Linzbauer, ohne den ich wahrscheinlich nicht in der Welt der Informatik gelandet wäre.

13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersicht Autismus-Spektrum-Störung [12]	10
Abbildung 2 Bluetooth Serial Port Profile Stack	18
Abbildung 3 Schichtenaufbau eines FSR [26].....	19
Abbildung 4 Schematische Darstellung der Möglichkeiten zur Kraftmessung [28]	19
Abbildung 5 FSR - Messung mit Spannungsteiler [26].....	20
Abbildung 6 FSR - Vergleich Kraft und Vout [26]	20
Abbildung 7 Schema des oberflächen-kapazitiven Touchscreen	22
Abbildung 8 Unterstützungsmatrix für WebGL	25
Abbildung 9 Unterstützungsmatrix für IndexedDB	26
Abbildung 10 Registrierung Adobe ID für Adobe PhoneGap Build.....	27
Abbildung 11 Upload-Prozess des PhoneGap Build-Service	28
Abbildung 12 Abschluss der PhoneGap-Erstellung.....	28
Abbildung 13 Rollen der Use-Case Analyse	32
Abbildung 14 Use-Case Diagramm des implementierten Systems.....	33
Abbildung 15 3D Modell des GoM-Test	36
Abbildung 16 Erste Attrappe des GoM-Test	36
Abbildung 17 Foto des Interlink FSR 406	38
Abbildung 18 Arduino Uno mit Bluetooth Modul	38
Abbildung 19 Stromversorgung Li-Po Rider	39
Abbildung 20 Zyklus der FSR Messung.....	41
Abbildung 21 Steckbrettaufbau des GoF-Prototypen	42
Abbildung 22 Prototyp 1 GoF-Test.....	42
Abbildung 23 Prototyp 1 GoF-Test Seitenansicht	42
Abbildung 24 Prototyp 2 GoF-Test.....	43
Abbildung 25 Prototyp 2 GoF-Test mit montiertem FSR.....	43
Abbildung 26 Prototyp 2 GoF-Test mit montierter Elektronik	43
Abbildung 27 Ayres Sensory Integration Test auf Papier.....	45
Abbildung 28 Berührungspunkte des Finger to Finger Tests.....	46
Abbildung 29 Bedienung des Finger To Finger Tests.....	47
Abbildung 30 3M SCT3250 Touch Panel mit 20,65 Zoll Diagonale.....	48
Abbildung 31 3M EXII 7720SC Controller	49
Abbildung 32 Der Controller ist auf der Rückseite der Messplatte integriert	50
Abbildung 33 Bauplan GoM Gehäuse.....	50

Abbildung 34 GoM Kommunikationsmodul von Oben	51
Abbildung 35 Bauplan des Hochrahmens für das GoM-System	52
Abbildung 36 Fotos des Aluminium-Hochrahmen.....	52
Abbildung 37 Erster Prototyp des GoM-Geräts	54
Abbildung 38 Prototyp GoM-Gerät mit iPad	55
Abbildung 39 Elektronik des GoM-Prototyp mit iPad	55
Abbildung 40 Bildschirmattrappen des GoF-Test	57
Abbildung 41 Bildschirmattrappen des GoM-Test.....	57
Abbildung 42 Herstellung der Stromversorgung am Endgerät	63
Abbildung 43 Herstellung der Stromversorgung der Einheit.....	63
Abbildung 44 Stromversorgung Messplatte.....	64
Abbildung 45 Verbindung Datenstecker mit Steuereinheit	64
Abbildung 46 Fertige Verbindungen der Steuereinheit	65
Abbildung 47 Verbindung Datenstecker	65
Abbildung 48 Verbindung Stromversorgung	65
Abbildung 49 Aktivierung der Steuereinheit	66
Abbildung 50 Start der Applikation	66
Abbildung 51 Startmaske und Verbindung des Bluetooth-Geräts	67
Abbildung 52 Bluetooth Verbindungsaufbau	67
Abbildung 53 Auswahl Testperson und Testdurchführung am Smartphone	68
Abbildung 54 Platzierung GoF-Messeinheit.....	69
Abbildung 55 Einschalten des GoF-Geräts	69
Abbildung 56 Kontroll-LED des GoF-Test	70
Abbildung 57 Herstellung der Verbindung mit dem GoF-Gerät	70
Abbildung 58 Diagramm der Messwerte des GoF-Test.....	72
Abbildung 59 Diagramm der Abweichungen beim GoM-Test.....	73
Abbildung 60 Diagramm der Abweichungen beim GoM-Test 50 mm.....	74
Abbildung 61 Diagramm der Abweichungen beim GoM-Test 100 mm	74
Abbildung 62 Versuchsaufbau GoF-Test	75
Abbildung 63 Versuchsaufbau GoM-Test	76
Abbildung 64 GoM-Test mit Blende.....	76

14 Literaturverzeichnis

- [1] W. H. Organization. (2010). *International Classification of Diseases (ICD)*. Available: <http://www.who.int/classifications/icd/en/>
- [2] J. Baio, "Prevalence of Autism Spectrum Disorders: Autism and Developmental Disabilities Monitoring," Centers for Disease Control and Prevention, Network, 14 Sites, United States 1546-0738, 2012.
- [3] W. Dunn, "The Sensory Profile manual," San Antonio, 1999.
- [4] N. Razali and A. W. A. Rahman, "Motor movement for autism spectrum disorder (ASD) detection," in *International Conference on Information and Communication Technology for the Muslim World (ICT4M)*, 2010, pp. E90-E95.
- [5] N. Aresti Bartolome, A. Mendez Zorrilla, and B. Garcia Zapiain, "Autism Spectrum Disorder children interaction skills measurement using computer games," in *18th International Conference on Computer Games: AI, Animation, Mobile, Interactive Multimedia, Educational & Serious Games (CGAMES)*, 2013, pp. 207-211.
- [6] M. Frutos, I. Bustos, B. G. Zapiain, and A. M. Zorrilla, "Computer game to learn and enhance speech problems for children with autism," in *16th International Conference on Computer Games (CGAMES)*, 2011, pp. 209-216.
- [7] P. Perego, S. Forti, A. Crippa, A. Valli, and G. Reni, "Reach and throw movement analysis with support vector machines in early diagnosis of autism," in *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2009, pp. 2555-2558.
- [8] M. Riederer, C. Schoenauer, H. Kaufmann, E. Soechting, C. Lamm, "Development of Tests to Evaluate the Sensory Abilities of Children with Autism Spectrum Disorder using Touch and Force Sensors," in *4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare (MobiHealth 2014)*, Athens, Greece, 2014, p. 4.
- [9] F. R. Volkmar, C. Lord, A. Bailey, R. T. Schultz, and A. Klin, "Autism and pervasive developmental disorders," *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 45, pp. 135-170, 2004.
- [10] M. Randolph-Gips, "Autism: A Systems Biology Disease," in *First IEEE International Conference on Healthcare Informatics, Imaging and Systems Biology (HISB)*, 2011, pp. 359-366.

- [11] A. J. R. Ayres, J., *Bausteine der kindlichen Entwicklung : sensorische Integration verstehen und behandeln ; das Original in moderner Neuauflage / A. Jean Ayres. Überarb. und erw. durch das Pediatric Therapy Network. Aus dem Amerikan. übers. von Elisabeth Soechting* Berlin: Springer, 2013.
- [12] G. Barth. (2010, 30.05.2014). Autismus. Available: <http://www.medizin.uni-tuebingen.de/ppkj/>
- [13] K. Wietfeld, "Was ist Propriozeption," *Orthopädie-Technik*, vol. 11, pp. 802-803, 2003.
- [14] C. Fuentes, S. Mostofsky, and A. Bastian, "No Proprioceptive Deficits in Autism Despite Movement-Related Sensory and Execution Impairments," *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 41, pp. 1352-1361, 2011/10/01 2011.
- [15] G. Pioggia, R. Igliozi, M. Ferro, A. Ahluwalia, F. Muratori, and D. De-Rossi, "An android for enhancing social skills and emotion recognition in people with autism," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 13, pp. 507-515, 2005.
- [16] C. Yiyu, N. K. H. Chia, D. Thalmann, N. K. N. Kee, Z. Jianmin, and N. M. Thalmann, "Design and Development of a Virtual Dolphinarium for Children With Autism," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 21, pp. 208-217, 2013.
- [17] N. Bugnariu, C. Garver, C. de Weerd, E. van Loon, C. Young, K. Rockenbach, R. Longnecker, and R. M. Patterson, "Motor function in children with Autism spectrum disorders," in *International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 2013, pp. 51-56.
- [18] J. P. Hourcade, N. E. Bullock-Rest, and T. E. Hansen, "Multitouch tablet applications and activities to enhance the social skills of children with autism spectrum disorders," *Personal Ubiquitous Comput.*, vol. 16, pp. 157-168, 2012.
- [19] F. Taffoni, V. Focaroli, D. Formica, E. Gugliemelli, F. Keller, and J. M. Iverson, "Sensor-based technology in the study of motor skills in infants at risk for ASD," in *4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, 2012, pp. 1879-1883.
- [20] A. Elnakib, M. F. Casanova, G. Gimel'farb, A. E. Switala, and A. El-Baz, "Autism diagnostics by centerline-based shape analysis of the Corpus Callosum," in *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro*, 2011, pp. 1843-1846.

- [21] C. Tsung Teng and M. Lee, "Ubiquitous Computing in Prospect: A Bibliographic Study," in *Ubiquitous Multimedia Computing, 2008. UMC '08. International Symposium on*, 2008, pp. 57-62.
- [22] G. H. Schildt, *Einführung in die Technische Informatik*: Springer Wien New York, 2005.
- [23] mikrocontroller.net. (2014, 05.11.2014). *I2C*. Available: <http://www.mikrocontroller.net/articles/I%C2%B2C>
- [24] Mikrocontroller.net. (2014, 05.11.2014). *Serial Peripheral Interface*. Available: http://www.mikrocontroller.net/articles/Serial_Peripheral_Interface
- [25] Bluetooth SIG. (2014, 05.11.2014). Specification Adopted Documents. Available: <https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>
- [26] I. Electronics. (2013, 11.01.2014). *FSR Force Sensing Resistors - Integration Guide* [PDF]. Available: http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/InterlinkElectronics_1027/PDF/Interlink_Electronics_Integration_Guide.pdf?redirected=1
- [27] S. I. Yaniger, "Force Sensing Resistors: A Review Of The Technology," in *Electro International*, 1991, pp. 666-668.
- [28] O. M. Labs. (2014, 22.02.2014). *Force Sensitive Resistors (FSRs)*. Available: <http://www.openmusiclabs.com/learning/sensors/fsr/>
- [29] N. Semiconductors, "Interfacing 4-wire and 5-wire resistive touchscreens," 13.11.2008, 2008.
- [30] A. S. Incorporated. (2014, 10.04.2014). *PhoneGap Build Documentation*. Available: http://docs.build.phonegap.com/en_US/3.3.0/index.html
- [31] A. J. Ayres, "The Sensory Integration and Praxis Tests," Los Angeles, CA1989.
- [32] 3M Touch Systems Inc., "3M MicroTouch Controller EX Serial Reference Guide," 2011.

15 Anhang

Projektplan

Das Projekt „Diplomarbeit“ wurde in 5 Teilabschnitte gegliedert, wobei zuerst mit der Entwicklung eines Prototyps begonnen wurde. Parallel dazu war die Literaturrecherche geplant, wobei diese bis zum Ende der Entwicklungsarbeiten andauern sollte. Zu Beginn war der Fortschritt bei der Entwicklung des Prototyps sehr groß, wobei dieser zum Jahresende weniger wurde. Die Implementierung war mit 16 Tagen zu gering geschätzt, da diese bis Ende Februar 2014 andauerte. Durch einige Iterationen mit Tests und Verbesserungen, wurde die Phase 2 im April 2014 abgeschlossen. Das Schreiben der schriftlichen Arbeit konnte daher erst später begonnen werden, und dauerte länger als geplant. Im November 2014 wurde die Phase 3 abgeschlossen und mit dem Abschluss begonnen. Die geplanten 10 Tage konnten hier eingehalten werden.

