

Posture Games

Realisierung eines Eingabegeräts mit entsprechender Softwarelösung
zur spielerischen Verbesserung der Körperhaltung im Sitzen

Masterthesis

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Arts (M.A.)

Vorgelegt von: **Nils Gudat**
Mat. Nr.: 2333455
E-Mail: info@nils-gudat.de

Abgabetermin: 01.05.2019

Fakultät: Design, Medien und Information
Department: Medientechnik
Studiengang: Zeitabhängige Medien / Sound - Vision - Games

Erstprüfer: Prof. Ralf Hebecker
Zweitprüferin: Prof. Dr. Franziska Uhing

Seevetal, den 29.04.2019

Gender-Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Masterthesis die Sprachform des generischen Maskulinums angewandt. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Kurzfassung

Die im Sitzen ausgeführte Arbeit zählt zu den ungünstigsten Tätigkeiten, die dem Rücken auf Dauer zugemutet werden können. Dabei ist die sitzende Körperhaltung diejenige, die von dem Großteil der Menschen in den Industrienationen zum täglichen Erwerb eingenommen wird (Dustmann et al. 2002, S. 25 & BAuA 2011, S. 19).

Anhand des Auszugs wird deutlich, dass die Suche nach Möglichkeiten zur Förderung eines gesunden Sitzverhaltens mit zunehmender Digitalisierung an Bedeutung gewinnt. Aus diesem Grund behandelt die vorliegende Thesis die Überprüfung der Umsetzbarkeit eines Systems zur spielerischen Verbesserung der Körperhaltung im Sitzen. Das Ziel der Abhandlung besteht darin herauszufinden, wie ein solches System entwickelt werden kann, welche Auswirkungen dessen Verwendung auf die Sitzhaltung hat und wie es von einer potenziellen Zielgruppe wahrgenommen wird. Der Hauptteil der Ausarbeitung besteht in der technischen Realisierung eines Eingabegeräts zur Ermittlung der Haltung einer sitzenden Person in Echtzeit. Damit einher geht ebenso die Entwicklung einer Software, welche die Daten des Eingabegeräts empfängt und diese sowohl für spielerische Haltungsübungen als auch zur Haltungsüberwachung verwendet.

Die Untersuchung der Hard- und Software von zwei Experten auf dem Gebiet der Orthopädie und Physiotherapie hat ergeben, dass sich die Kombination aus Haltungs- und Haltungsüberwachung dazu eignen kann, die Sitzhaltung zu verbessern. Bei Tests mit einer potenziellen Zielgruppe konnte darüber hinaus ein positiver Gesamteindruck bezüglich des Systems verzeichnet werden. Dabei wurde ebenfalls deutlich, dass sich die Haltungs- und Haltungsüberwachung im Arbeitsalltag nur bedingt integrieren lassen. Anhand der durchgeführten Tests und einer eigenen Einschätzung kann festgehalten werden, dass weitere Untersuchungen, Verbesserungen der Hard- und Software sowie Langzeittests unternommen werden müssen, um fundierte Aussagen über die Wirkung und Nutzbarkeit des Systems treffen zu können. Dennoch stellt die vorgelegte Thesis einen guten Ausgangspunkt für nachfolgende Analysen auf dem Gebiet der spielerischen Haltungsverbesserung dar.

Abstract

Work carried out sitting, is one of the most unfavorable activities you can do to the back in perpetuity. A sitting posture, though is used by most people in industrialized countries for their daily work (Dustmann et al. 2002, p. 25 & BAuA 2011, p. 19).

Based on the previous excerpts it becomes clear, with increasing digitization the search for ways to promote healthy sitting habits is becoming more important. For this reason, the present thesis deals with the review of the feasibility of a system for the playful improvement of sitting posture. The aim of the paper is to find out, how such a system can be developed, what effects its use has on sitting posture and how it is perceived by a potential target group. The main part of the elaboration consists of the technical realization of an input device for the determination of the posture of a sitting person in real time. This is accompanied by the development of a software that receives data from the input device and uses it for playful posture exercises as well as posture monitoring.

Tests of the hardware and software by two experts in the field of orthopedics and physiotherapy have shown that the combination of posture games and posture monitoring can be used to improve sitting posture. Moreover, tests with a potential target group have shown a positive overall impression of the system. It also became clear that posture games can only be integrated in everyday working life to a limited extent. On the basis of the tests carried out and my own assessment, it can be stated that further investigations, improvements of the hardware and software as well as long-term tests must be realized, in order to be able to make informed statements about the effect and usability of the system. Nevertheless, the submitted thesis is a good starting point for subsequent analyzes in the field of playful posture improvement.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	2
1.2 Aufgabenstellung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Theoretische Grundlagen	4
2.1 Einführende Begriffsklärungen	4
2.2 Medizinischer Hintergrund	5
2.2.1 Der Bewegungsapparat	5
2.2.2 Die Wirbelsäule	6
2.2.3 Der Schultergürtel	7
2.2.4 Die Muskulatur	7
2.3 Haltung	9
2.3.1 Fehlerhafte Sitzhaltung und ihre Folgen	11
2.3.2 Die richtige Haltung im Sitzen	13
3 Realisierung des Systems	15
3.1 Anforderungen an das Eingabegerät	15
3.2 Anforderungen an die Software	16
3.3 Möglichkeiten der Haltungserkennung	17
3.3.1 Haltungserkennung mit Tiefensensor	18
3.3.2 Haltungserkennung mit tragbaren Sensoren	19
3.3.3 Haltungserkennung über die Sitzfläche	21
3.3.4 Auswertung der Umsetzungsmöglichkeiten	23
3.4 Realisierung des Eingabegeräts	24
3.4.1 Verwendete Bestandteile des Eingabegeräts	24
3.4.1.1 Arduino UNO	24
3.4.1.2 MUX (Multiplexer)	26
3.4.1.3 MPU-6050 (Gyroskop)	27
3.4.1.4 Load Cell (Wägezelle)	27
3.4.1.5 FSR (Force Sensitive Resistor)	29
3.4.2 Ein erster Ansatz - Die FSR-Matrix	30
3.4.3 Finale Umsetzung des Eingabegeräts	32

3.5 Realisierung der Software	38
3.5.1 Programmierung des Arduino UNO	39
3.5.2 Datenübertragung	42
3.5.3 Programmierung der Anwendung	45
3.5.3.1 Core	45
3.5.3.2 Calibration	47
3.5.3.3 Monitoring	50
3.5.3.4 Settings	52
3.5.3.5 Statistics	53
3.6 Posture Games	55
3.6.1 Übungen zur dynamischen Sitzhaltung	55
3.6.2 Umsetzung der Spiele	59
3.6.2.1 Hover Racer	60
3.6.2.2 Endless Runner	63
4 Analyse des Systems	66
4.1 Interviews	66
4.1.1 Leitfadeninterviews mit einer potenziellen Zielgruppe	68
4.1.2 Experteninterviews	70
4.1.3 Zusammenfassung der Interviews	73
4.2 Möglichkeiten und Grenzen des Systems	74
4.2.1 Analyse der Technik	74
4.2.2 Analyse der Software	75
5 Fazit	78
5.1 Erkenntnisse	78
5.2 Ausblick	79
Literaturverzeichnis	81
Online Quellen	84
Sonstige Quellen	86
Anlage - DVD	86
Selbstständigkeitserklärung	87

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Übersicht über die Krümmungen der Wirbelsäule sowie deren Aufbau. Quelle: Eigene Darstellung nach: Dustmann, Hans Otto / Mackensen, Iris / Kunz, Michael (2002): Aktiv gegen den Rückenschmerz: Informationen und Ratschläge - Mit praktischen Übungen [eBook], S. 4..... 6
- Abb. 2:** Detailansicht eines Lendenwirbels mit umschlossenem Rückenmark. Quelle: Eigene Darstellung nach: Dustmann, Hans Otto / Mackensen, Iris / Kunz, Michael (2002): Aktiv gegen den Rückenschmerz: Informationen und Ratschläge - Mit praktischen Übungen [eBook], S. 17..... 6
- Abb. 3:** Stellung des Schultergürtels mit nach vorn gestreckten Armen (Draufsicht). Quelle: Eigene Darstellung nach: Appell, Hans-Joachim / Stang-Voss, Christiane (1996): Funktionelle Anatomie: Grundlagen sportlicher Leistung und Bewegung (3., überarb. Aufl.), S. 49..... 7
- Abb. 4:** Stellung des Schultergürtels mit nach hinten gezogenen Armen (Draufsicht). Quelle: Eigene Darstellung nach: Appell, Hans-Joachim / Stang-Voss, Christiane (1996): Funktionelle Anatomie: Grundlagen sportlicher Leistung und Bewegung (3., überarb. Aufl.), S. 49..... 7
- Abb. 5:** Mediale Muskelstränge der Rückenmuskulatur. Quelle: Eigene Darstellung nach: 3D4Medical (2015): Complete Anatomy 19 [Software]. <https://3d4medical.com/support/complete-anatomy/setup-guide?trial> [18.03.2019] 8
- Abb. 6:** Rotatores (grün) für Drehbewegungen des Oberkörpers. Quelle: Eigene Darstellung nach: Education Mobile (2015): 3D Bones and Organs (Anatomy) [Software]. <https://www.microsoft.com/de-de/p/3d-bones-and-organs-anatomy/9wzdnrcrd91mw?activetab=pivot:overviewtab> [03.04.2019] 8
- Abb. 7:** Laterale Muskelstränge der Rückenmuskulatur. Quelle: Eigene Darstellung nach: 3D4Medical (2015): Complete Anatomy 19 [Software]. Abgerufen von <https://3d4medical.com/support/complete-anatomy/setup-guide?trial> [18.03.2019] ... 8

-
- Abb. 8:** Trapezium mit darunter liegender Muskulatur für Bewegungen des Schultergürtels. Quelle: Eigene Darstellung nach: 3D4Medical (2015): Complete Anatomy 19 [Software]. Abgerufen von <https://3d4medical.com/support/complete-anatomy/setup-guide?trial> [18.03.2019]..... 9
- Abb. 9:** Kategorien der Körperhaltung nach Owczarek und Krämer. Quelle: Owczarek, V. / Krämer, J. (1998): Rückenschule. in: Sektion 03, Spezielle Erkrankungen mit präventivem Potential (1. Ordner). in: Allhoff, Peter / Leidel, Jan / Ollenschläger, Günter / Voigt, Hans-Peter (Hrsg.): Präventivmedizin: Praxis - Methoden - Arbeitshilfen (9. Aufl.) [eBook], S. 5..... 10
- Abb. 10:** Drei verschiedene Arten der Sitzhaltung. Quelle: Eigene Darstellung nach: Wottke, Dietmar (2013): Rückengerechtes Verhalten, S. 13 - 16..... 11
- Abb. 11:** Die vorgewölbte Bandscheibe drückt auf Nervenbahnen hinter der Wirbelsäule (Bandscheibenvorfall). Quelle: Dustmann, Hans Otto / Mackensen, Iris / Kunz, Michael (2002): Aktiv gegen den Rückenschmerz: Informationen und Ratschläge - Mit praktischen Übungen [eBook], S. 17..... 12
- Abb. 12:** Analyse der Haltung nach Yao et al. anhand zweier Winkel mittels einer Kinect. Quelle: Yao, Leiyue / Min, Weidong / Cui, Hao (2017): A New Kinect Approach to Judge Unhealthy Sitting Posture Based on Neck Angle and Torso Angle. in: Zhao, Yao / Kong, Xiangwei / Taubman, David (Hrsg.): Image and Graphics: 9th International Conference, ICIG 2017, Shanghai, China, September 13 - 15, 2017, Revised Selected Papers, Part I [eBook], S. 343..... 19
- Abb. 13:** Analyse der Haltung mittels Dehnungsmesstreifen, welche in das Gewebe integriert sind. Quelle: Farooq, M. / Sazonov, E. (2015): Strain Sensors in Wearable Devices. in: Mukhopadhyay, Subhas Chandra (Hrsg.): Wearable Electronics Sensors: For Safe and Healthy Living [eBook], S. 229..... 20
- Abb. 14:** Upright App (links) und tragbarer Sensor (rechts) zur Überwachung der Körperhaltung. Quelle: Eigene Darstellung..... S. 20

-
- Abb. 15:** Abdruck des Fahrers auf einer Rastermatte bestehend aus 32 x 32 Drucksensoren. Quelle: Riener, Andreas / Ferscha, Alois / Matscheko, Michael (2008): Intelligent Vehicle Handling: Steering and Body Postures While Cornerin. in: Brinkschulte, Uwe / Ungerer, Theo / Hochberger, Christian / Spallek, Rainer G. (Hrsg.): Architecture of Computing Systems - ARCS 2008: 21st International Conference, Dresden, Germany, February 25 - 28, 2008, Proceedings, S. 76 22
- Abb. 16:** Nachbau eines Arduino UNO Microcontrollers von ELEGOO. Quelle: Eigene Darstellung 24
- Abb. 17:** Vereinfachtes Schaltbild eines Multiplexers für die serielle Ansteuerung von acht zusätzlichen Pins. Quelle: Cook, Mike (2015): Arduino Music and Audio Projects [eBook], S. 106 26
- Abb. 18:** Beispiel zur Ansteuerung des ersten Kanals (C1) eines 16-Channel-Multiplexers. Quelle: Eigene Darstellung 26
- Abb. 19:** Anschluss des MPU-6050 über I2C mit Hilfe des SCL- und SDA-Pins. Quelle: Eigene Darstellung 27
- Abb. 20:** Verschiedene Arten von Wägezellen mit unterschiedlicher Anordnung von Dehnungsmessstreifen. Quelle: Eigene Darstellung nach: Regtien, Paul P. L. (2012): Sensors for Mechatronics [eBook], S. 74 28
- Abb. 21:** Abbildung eines HX711-Moduls mit den entsprechenden Pins zum lesen von Gewichtsdaten. Quelle: Eigene Darstellung 28
- Abb. 22:** Messung eines eigenen FSR-Sensors aus Kupfer und Velostat ohne aufliegendes Gewicht. Der Widerstand beträgt 1.398 Kiloohm [kΩ]. Quelle: Eigene Darstellung 29
- Abb. 23:** Messung eines eigenen FSR-Sensors mit Druck auf den Sensor. Der Widerstand hat sich auf 0.006 Kiloohm [kΩ] verringert. Quelle: Eigene Darstellung 29
- Abb. 24:** Nicht linear abnehmender Widerstand bei linear ansteigendem Druck auf einen FSR-Sensor. Quelle: Regtien, Paul P. L. (2012): Sensors for Mechatronics [eBook], S. 80 30

Abb. 25: Schaltplan einer LED Matrix bestehend aus 8 x 8 LEDs mit direkter Steuerung am Arduino ohne Multiplexing. Quelle: Eigene Darstellung nach: Margolis, Michael (2012): Arduino Kochbuch: Arduino für Fortgeschrittene (1. Aufl.), S. 252.....	30
Abb. 26: Test einer 6 x 6 Matrix aus FSR Sensoren, welche über mehrere Widerstände am Arduino angeschlossen sind. Quelle: Eigene Darstellung.....	31
Abb. 27: Größerer Aufbau eines FSR-Rasters mit zwei Multiplexern und Widerständen zwischen den einzelnen Sensoren, um Ghosting-Effekte zu vermeiden. Quelle: Eigene Darstellung	31
Abb. 28: Nintendo Wii Balance Board: Unterseite mit vier Standfüßen, an welchen jeweils eine Wägezelle montiert ist. Quelle: Eigene Darstellung.....	33
Abb. 29: Maße der Aufhängung zwischen der Sitzfläche und den Füßen des verwendeten Bürostuhls. Quelle: Eigene Darstellung.....	34
Abb. 30: 3D-Abbildung der Montage von vier Wägezellen zwischen Sitzfläche und Unterkonstruktion des Bürostuhls. Quelle: Eigene Darstellung.....	34
Abb. 31: Nahaufnahme einer Load Cell innerhalb des Eingabegeräts. Quelle: Eigene Darstellung	35
Abb. 32: Elektronischer Aufbau des finalen Eingabegeräts. Quelle: Eigene Darstellung.....	35
Abb. 33: Innenansicht eines verwendeten Drucksensors ohne Velostatschicht zwischen den Kupferbändern. Quelle: Eigene Darstellung	36
Abb. 34: Fünf FSR-Sensoren an der Rückenlehne zur Ermittlung der Körperstellung in einer angelehnten Haltung. Quelle: Eigene Darstellung	37
Abb. 35: Beispiel für die Berechnung des Schwerpunkts anhand der Daten der vier Wägezellen. Quelle: Eigene Darstellung.....	40
Abb. 36: Der Serial-Monitor der Arduino-IDE. Quelle: Eigene Darstellung.....	42

-
- Abb. 37:** Senden einer Datenanfrage an den Arduino innerhalb der Unreal Engine mittels des Blueprint-Systems zur visuellen Programmierung. Quelle: Eigene Darstellung..... 43
- Abb. 38:** Der String „*AllModules*“ beinhaltet alle Messwerte der Sensoren. Er wird mit jedem Durchgang der Loop neu gefüllt und auf dem Serial-Monitor ausgegeben. Quelle: Eigene Darstellung 44
- Abb. 39:** Der übermittelte String „*AllModules*“ wird nur gespeichert, wenn die Schlüsselwörter „*end*“ und „*start*“ im String enthalten sind. Quelle: Eigene Darstellung..... 44
- Abb. 40:** Einzelne Funktion zur Ermittlung des Gesamtdrucks auf die Wägezellen. Quelle: Eigene Darstellung..... 47
- Abb. 41:** Userinterface zur Durchführung der ersten Kalibrierung. Quelle: Eigene Darstellung 47
- Abb. 42:** Wiederholtes Senden des Strings „*calibrate*“ an den Arduino, bis die Kalibrierungsanfrage erfolgreich übertragen wurde. Quelle: Eigene Darstellung 48
- Abb. 43:** Durchführung von Kalibrierungsfunktionen der Sensoren. Der Statusbericht an die Engine erfolgt über die Ausgabe von Strings (*Serial.println(„calibrate“)*) auf dem Serial-Monitor. Quelle: Eigene Darstellung..... 48
- Abb. 44:** Auslesen des Status der Kalibrierung in der Engine in jedem Frame. Quelle: Eigene Darstellung 49
- Abb. 45:** Aufforderung zur zweiten Kalibrierung mit sitzendem Anwender. Quelle: Eigene Darstellung 49
- Abb. 46:** Ansicht für die Haltungsüberwachung in Echtzeit mit Ausgabe der erforderlichen Überwachungsangaben bezüglich der Haltung des Nutzers. Quelle: Eigene Darstellung 50
- Abb. 47:** Blendspace zur Anzeige der aktuellen Haltung mittels des Avatars. Quelle: Eigene Darstellung 52

-
- Abb. 48:** Verschiedene Einstellungsmöglichkeiten bezüglich der Warung vor Haltungskonstanz, Bildschirmdarstellung und Lautstärke der Anwendung. Quelle: Eigene Darstellung 53
- Abb. 49:** Darstellung der Statistik als Balkendiagramm. Die erhobenen Daten werden Tageweise angezeigt und lassen sich einzeln ein- und ausblenden. Quelle: Eigene Darstellung 54
- Abb. 50:** Übung 1: Anziehen der Knie. Quelle: Rühl, Norbert (1993): Fit im Büro durch Muskeltraining [eBook], o. S, Übung 6.2 56
- Abb. 51:** Übung 2: Training der Brustwirbelsäule. Quelle: Dustmann, Hans Otto / Mackensen, Iris / Kunz, Michael (2002): Aktiv gegen den Rückenschmerz: Informationen und Ratschläge - Mit praktischen Übungen [eBook], S. 65 56
- Abb. 52:** Übung 3: Mobilisierung von Schulter- Brust- und Armmuskulatur. Quelle: Rühl, Norbert (1993): Fit im Büro durch Muskeltraining [eBook], o. S, Übung 9.1 57
- Abb. 53:** Übung 4: Die Hände befinden sich auf dem Rücken, wobei Druck auf die Rückenlehne ausgeübt wird. Quelle: VBG: Ihre Gesetzliche Unfallversicherung (2010): Gymnastik im Büro Fit durch den Tag [online]. http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Themen/Bildschirm_und_Bueroarbeit/Gymnastik_im_Buero_VBG-Info.pdf?__blob=publicationFile&v=14 [11.03.2019]..... 57
- Abb. 54:** Übung 5: Der Anwender lehnt sich vor und zurück, um die Rückenmuskulatur zu stärken. Quelle: Rühl, Norbert (1993): Fit im Büro durch Muskeltraining [eBook], o. S., Übung 6.1..... 58
- Abb. 55:** Übung 6: Fahrradfahren. Quelle: Rühl, Norbert (1993): Fit im Büro durch Muskeltraining [eBook], o. S., Übung 12.1 58
- Abb. 56:** Auswahl der beiden Posture Games im Hauptmenü der Anwendung. Quelle: Eigene Darstellung 59
- Abb. 57:** Hover Racer: Ein Rennspiel mit Steuerung durch Bewegungen des Oberkörpers. Quelle: Eigene Darstellung..... 60

-
- Abb. 58:** Das Startmenü des Hover Racers mit Einblendung des Streckennamens, der Bestzeiten und des Highscores. Quelle: Eigene Darstellung 60
- Abb. 59:** Steuerung des Hover Racers mittels Drehung der Hüfte sowie einer Vor- und Zurück-Bewegung des Rumpfs. Quelle: Eigene Darstellung 61
- Abb. 60:** Gegner werden durch Druck auf die FSR-Sensoren an der Rückenlehne ausgeschaltet. Quelle: Eigene Darstellung..... 61
- Abb. 61:** Aufbau der Rennstrecke mittels eines eigenen Splinetools. Quelle: Eigene Darstellung 62
- Abb. 62:** Bei dem Spiel Endless Runner weicht der Spieler verschiedenen Hindernissen über drei Lanes auf der Strecke aus. Quelle: Eigene Darstellung..... 63
- Abb. 63:** Der Avatar rutscht unter einem Hindernis hindurch. Quelle: Eigene Darstellung..... 63
- Abb. 64:** Steuerung des Endless Runners mittels einer Links-Rechts-Bewegung des Oberkörpers für den Wechsel der Lanes. Quelle: Eigene Darstellung..... 64
- Abb. 65:** Zieht der Spieler die Beine an, rutscht der Avatar unter einem Hindernis hindurch. Quelle: Eigene Darstellung..... 64
- Abb. 66:** Steht der Spieler auf, überspringt der Avatar ein Hindernis. Quelle: Eigene Darstellung 65
- Abb. 67:** Ein Teilabschnitt der Rennstrecke des Endless Runners. Quelle: Eigene Darstellung 65

1 Einleitung

„Etwa jeder zwanzigste erwerbstätige Versicherte (5,2 Prozent) war 2017 wenigstens einmal wegen Rückenschmerzen krankgeschrieben“ (DAK-Gesundheit 2018, S. 32).

In Deutschland arbeiten ca. 18 Millionen Menschen täglich an einem Computer vor dem Bildschirm. Im Laufe des Arbeitslebens verbringt der durchschnittliche Angestellte somit rund 80.000 Stunden in einer sitzenden Haltung. Dabei zählt die im Sitzen ausgeführte Arbeit, mit rundem Rücken und nach vorn gestreckten Armen, zu den ungünstigsten Tätigkeiten, die dem Rücken auf Dauer zugemutet werden können (BAuA 2013, S. 5 & Dustmann et al. 2002, S. 25). Rückenleiden bezeichnen eine der häufigsten Erkrankungen der modernen Zivilisationsgesellschaft. Sie verursachen erhebliche volkswirtschaftliche Kosten, welche sich sowohl auf medizinische Behandlungen als auch auf Produktionsausfälle zurückführen lassen. Maßgebliche Gründe für diese Entwicklung sind Bewegungsmangel und falsches Bewegungsverhalten (DAK-Gesundheit 2018, S. 33 & Dustmann et al. 2002, S. 1 f.). Das Dauersitzen ist eines der Hauptprobleme für die Rückengesundheit und beansprucht die Wirbelsäule erheblich stärker als Stehen oder Gehen. Dabei ist die sitzende Körperhaltung diejenige, die von dem Großteil der Menschen in den Industrienationen zum täglichen Erwerb eingenommen wird (BAuA 2011, S. 16 - 19).

Selbstverständlich ist eine sitzende Arbeitsweise nicht ausschließlich für alle Rückenprobleme verantwortlich. Dennoch ist es wissenschaftlich erwiesen, dass die Kombination aus länger andauerndem Sitzen und Bewegungsmangel auf Dauer fast jeder Wirbelsäule und Bandscheibe Schaden zufügt (BAuA 2013, S. 5).

Anhand der vorangegangenen Auszüge wird deutlich, dass eine Beschäftigung mit dem Thema Körperhaltung bei der Arbeit am Bildschirm mit zunehmender Digitalisierung an Bedeutung gewinnt. Im Vordergrund steht dabei die Vermeidung von andauerndem Sitzen in einer unphysiologischen Haltung der Wirbelsäule, wodurch ein gesundes Sitzverhalten gefördert wird (Wottke 2013, S. 18). In diesem Zusammenhang existiert eine Vielzahl an Übungen und Vorgehensweisen, welche ein dynamisches Sitzverhalten unterstützen und somit Rückenleiden vorbeugen können. Diese lassen sich auch ohne großen Zeitaufwand auf dem Bürostuhl am Arbeitsplatz umsetzen (Rühl 1993). Die Motivation zur Durchführung solcher Trainingseinheiten kann über einen längeren Zeitraum jedoch sinken. Somit scheint es erforderlich zu sein, nach einer Lösung zu suchen, welche die Langzeitmotivation zur wiederholten Ausführung der Übungen aufrechterhält und die sitzende Person auf eine gesundheitsschädliche Haltung hinweist.

Ein möglicher Ansatz in diese Richtung könnte die Verwendung eines computergestützten Kontrollsystems darstellen, welches sowohl eine Überwachung der Haltung als auch verschiedene Übungen in spielerischer Form anbietet. Computerspiele können hierbei mittels ihrer interaktiven Eigenschaften und dem Einsatz von Belohnungssystemen einen Anreiz für die wiederholte Durchführung von Haltungsübungen darstellen (Strahinger / Leyh 2017, S. 102). Zusätzlich ist es möglich, dass die bei der Überwachung und während des Spielens erhobenen Daten Aufschluss über das Sitzverhalten sowie dessen Veränderung über einen längeren Zeitraum liefern. Mittels der Analyse dieser Messwerte, hätte der Anwender die Möglichkeit eine gesunde Sitzhaltung durch entsprechende Maßnahmen zu fördern.

1.1 Zielsetzung

Die vorliegende Ausarbeitung behandelt die Überprüfung der Umsetzbarkeit eines Systems bestehend aus einem Eingabegerät sowie einer Software zur spielerischen Verbesserung der Haltung im Sitzen. Das primäre Ziel dabei ist es zu klären, mit welchen Mitteln und auf welche Art und Weise sich ein solches System realisieren lässt. Des Weiteren sollen Möglichkeiten, die mit der Nutzung der entwickelten Technologie einhergehen, dargelegt und Grenzen des Versuchsaufbaus aufgezeigt werden. Hierin enthalten ist unter Anderem die Analyse von Auswirkungen auf das Sitzverhalten bedingt durch die Verwendung von Haltungsspielen oder eine Haltungsüberwachung. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie die Nutzung des Versuchsaufbaus von einer potenziellen Zielgruppe aufgenommen wird und welche Einsatzbereiche für das System vorstellbar sind.

1.2 Aufgabenstellung

Um die angeführte Zielsetzung erfüllen zu können, steht die Realisierung eines Eingabegeräts mit entsprechender Softwarelösung im Fokus der Abhandlung. Diese beinhaltet sowohl die rein technische Umsetzung der Hardware als auch die Programmierung einer Anwendung zur Haltungskontrolle, welche verschiedene Haltungsspiele enthält. Zur näheren Einordnung und Beschreibung des zu entwickelnden Systems müssen neben der prototypischen Umsetzung ebenfalls medizinische und technische Sachverhalte erörtert werden, welche sich im Themenumfeld des Versuchsaufbaus bewegen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorgelegte Arbeit beginnt mit der Vermittlung verschiedener theoretischer Grundlagen in Kapitel 2. An dieser Stelle werden zunächst einführende Begrifflichkeiten geklärt und für die Haltung im Sitzen erforderliche Bestandteile des Bewegungsapparats näher beleuchtet. Im Anschluss daran wird gesondert auf das Thema Haltung eingegangen, wobei sowohl Folgen einer schlechten Haltung als auch die korrekte Sitzhaltung erörtert wird.

Kapitel 3 behandelt die Umsetzung des zu realisierenden Systems. Hierbei erfolgt zunächst die Darstellung von Anforderungen an den Versuchsaufbau sowie die Präsentation von Möglichkeiten einer praktischen Realisierung. Anschließend wird neben dem Weg zum finalen Eingabegerät ebenfalls die Vorgehensweise bei der Programmierung der Software dargelegt. Darüber hinaus beinhaltet das Kapitel Beschreibungen bezüglich der Umsetzung von zwei Haltungsspielen für das vorgestellte System. In Abschnitt 4 findet eine nähere Untersuchung der entwickelten Hard- und Software statt. An dieser Stelle werden zunächst durchgeführte Anwendertests sowie Experteninterviews analysiert und deren Ergebnisse zusammengefasst wiedergegeben. Im Anschluss daran erfolgt die Darstellung von Möglichkeiten und Grenzen der entwickelten Technik sowie der programmierten Software.

Ein abschließendes Fazit trägt die gesammelten Erkenntnisse der Thesis zusammen und nimmt kritisch Stellung bezüglich der Realisierung des Systems sowie dessen Möglichkeiten. Den Schluss des Fazits bildet ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen des Versuchsaufbaus und zu erforschende Themenbereiche.

2 Theoretische Grundlagen

Das folgende Kapitel beginnt mit einer einführenden Erklärung von verschiedenen Begrifflichkeiten auf Grundlage der gewählten Überschrift der Thesis. Da sich ein Großteil der vorliegenden Abhandlung mit einer gesundheitsschädlichen Sitzhaltung und deren Verbesserung befasst, erfolgt im Anschluss die Erörterung von medizinischen Grundlagen bezüglich der Körperhaltung im Sitzen. Diese bilden die Basis für die darauf folgende Erklärung des Begriffs „Haltung“ und werden für die weiteren Ausführungen benötigt. In den letzten beiden Abschnitten des Kapitels wird zunächst die falsche Sitzhaltung und ihre Folgen und daraufhin die richtigen Haltung im Sitzen näher erläutert.

2.1 Einführende Begriffsklärungen

In der Literatur existiert keine allgemein gültige Definition für den Begriff „Posture Games“, oder auch „Haltungsspiele“. Unter Posture Games werden in der vorliegenden Abhandlung computerbasierte Spiele verstanden, welche mittels Bewegungssteuerung einen Einfluss auf die Sitzhaltung einer Person nehmen können. Die für die Thesis gewählte Überschrift fasst die verschiedenen Themenbereiche der Ausarbeitung zusammen und schafft eine Abgrenzung zu Bewegungsspielen, welche keine direkte Verbindung zur Haltungsverbesserung im Sitzen aufweisen. Der Titel setzt sich aus den englischen Begriffen „Posture“ (Haltung) und „Games“ (Spiele) zusammen und soll mit Hilfe einer englischen Schreibweise einen Bezug zu elektronischen Spielen herstellen.

Die Steuerung der realisierten Posture Games geschieht anhand eines eigens entwickelten Eingabegeräts. Ein Eingabegerät ist eine Art technisches Hilfsmittel, mit welchem der Benutzer Daten in ein interaktives System eingeben kann. Im Prinzip besteht ein Eingabegerät aus Sensoren, welche Änderungen des Benutzerverhaltens registrieren und in Signale übersetzen, die von einem interaktiven System interpretiert werden können (Heinecke 2012, S. 98). Das realisierte Eingabegerät lässt sich zu den bewegungsgesteuerten Eingabegeräten zählen und erhebt Daten anhand von Bewegungen des Oberkörpers einer auf dem Eingabegerät sitzenden Person.

Das interaktive System, welches die Signale der Sensoren empfängt, wird innerhalb der Thesis allgemein als Softwarelösung oder auch Software bezeichnet und beinhaltet zwei verschiedene Bereiche. Diese bestehen auf der einen Seite aus einer Anwendung, welche die Daten der Hardware für den Nutzer aufzeichnet sowie grafisch darstellt und auf der anderen Seite aus verschiedenen Posture Games.

Der Begriff „System“ wird in den weiteren Ausführungen allgemein für die Beschreibung des gesamten Versuchsaufbaus, bestehend aus Eingabegerät mit entsprechender Haltevorrichtung und Softwarelösung, verwendet.

2.2 Medizinischer Hintergrund

Im Folgenden werden medizinische Begrifflichkeiten bezüglich des Oberkörpers sowie die Funktionsweise des menschlichen Bewegungsapparats näher erläutert. Der Begriff Oberkörper wird dabei als allgemeines Synonym für den menschlichen Rumpf, bestehend aus Wirbelsäule, Brustkorb sowie Becken- und Schultergürtel, verwendet (Trebsdorf 2000, S. 12). Des Weiteren beziehen sich die folgenden Ausführungen lediglich auf die für die Haltung im Sitzen wichtigsten Organe und sind an dieser Stelle komprimiert dargestellt.

2.2.1 Der Bewegungsapparat

Grundsätzlich lassen sich die für Bewegung und Haltung des Körpers notwendigen Organe in passive und aktive Bereiche unterteilen (Trebsdorf 2000, S. 89). Organe, welche dem passiven Bewegungsapparat zugeordnet werden können, setzen sich aus unbeweglichen Teilen des Körpers, wie bspw. Knochen, Gelenken und Bändern zusammen. Sie stellen das Skelettsystem des Menschen dar und stützen den gesamten Körper. Darüber hinaus sind sie für den Schutz von wichtigen inneren Organen zuständig. Der aktive Bewegungsapparat besteht gegenüber den passiven Elementen aus beweglichen Organen, wie bspw. Muskeln oder Sehnen. Diese üben Kräfte auf den passiven Bewegungsapparat aus und sorgen sowohl für die Stabilität des Skeletts als auch für dessen Bewegungen. Da sich Muskeln lediglich aktiv verkürzen können, werden für Bewegungen von Gelenken mehrere Muskeln benötigt. Somit findet bei Bewegungen des Körpers ein stetiger Wechsel von aktiver Verkürzung und passiver Dehnung der Muskulatur statt (Richard / Kullmer 2013, S. 2 - 3).

2.2.2 Die Wirbelsäule

Maßgeblich verantwortlich für die Haltung und Stabilität des Rumpfs ist die Wirbelsäule. Sie hat die Form eines doppelt S-förmig gekrümmten Stabes und sorgt auf Grund ihrer Biegung für eine vielseitige Beweglichkeit des Oberkörpers (Abb. 1). Darüber hinaus trägt ihre Federung bedingt durch die Doppel-S-Form dazu bei, den Oberkörper bei verschiedenen Bewegungen, wie bspw. dem Gehen, Laufen oder auch Setzen, abzdämpfen. Die Wölbungen der Wirbelsäule, welche in Richtung der Vorderseite des Körpers zeigen, werden gemein als Lordose bezeichnet und lassen sich in Halslordose sowie Lendenlordose unterteilen. Die entgegengesetzte Biegung in Brusthöhe des Rumpfs wird demgegenüber fachsprachlich als Brustkyphose betitelt (Trebsdorf 2000, S. 104).

Die Wirbelsäule ist aus dem Kreuzbein, dem Steißbein sowie 24 einzelnen Wirbeln zusammengesetzt. Die 24 Wirbel sind durch 23 Bandscheiben voneinander getrennt und bestehen je nach Wirbelgruppe aus verschiedenen Elementen (Abb. 2) (Dustmann et al. 2002, S. 3). Ein Hauptbestandteil der Wirbel sind die Wirbelkörper, welche eine Art Basis der Wirbel darstellen. Die zwischen ihnen befindlichen Bandscheiben enthalten einen Gallertkern, welcher von knorpeligem Gewebe umgeben ist. Die Bandscheiben

sorgen für eine bewegliche Verbindung zwischen den einzelnen Wirbelkörpern und sind für die Dämpfung von Stößen verantwortlich. Durch die von oben nach unten größer werdenden Wirbel bewirkt die Wirbelsäule eine Stützung des Rumpfs und schützt das Rückenmark durch den Wirbelkanal (Trebsdorf 2000, S. 104 ff.).

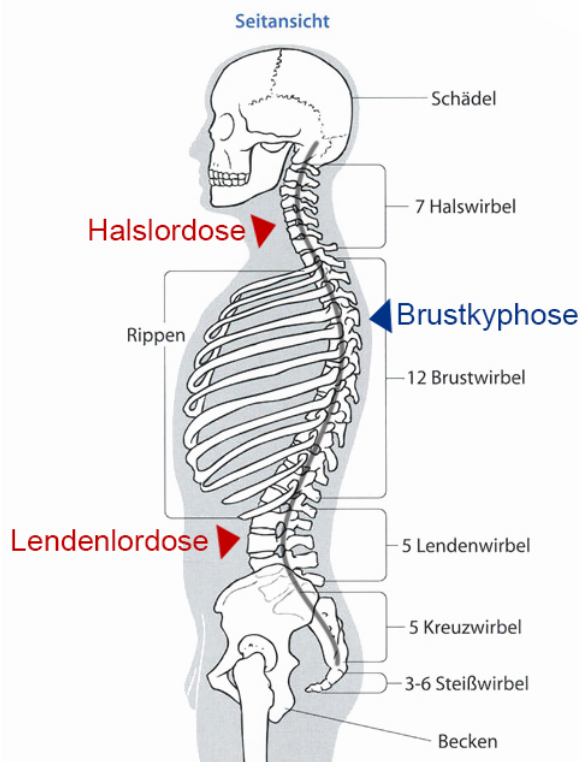


Abb. 1: Übersicht über die Krümmungen der Wirbelsäule sowie deren Aufbau

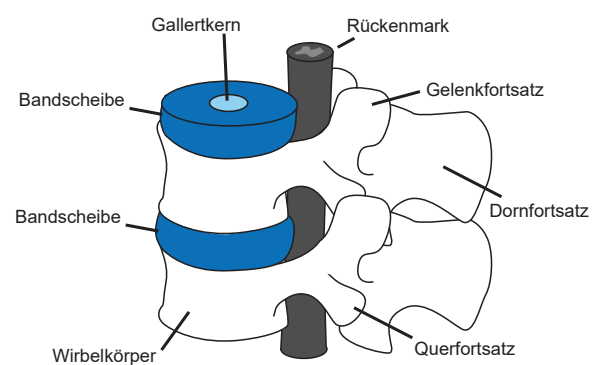


Abb. 2: Detailansicht eines Lendenwirbels mit umschlossenem Rückenmark

2.2.3 Der Schultergürtel

In der Fachliteratur beziehen sich Ausführungen bezüglich der Sitzhaltung überwiegend auf die Wirbelsäule. Da der Schulterbereich jedoch maßgeblich an dem Auftreten vieler Haltungsbeschwerden beteiligt ist, findet an dieser Stelle eine genauere Beschreibung des Schultergürtels statt (Schoberth 1989, S. 23). Der Schultergürtel setzt sich aus dem Schlüsselbein sowie dem Schulterblatt zusammen und liegt lose auf dem Brustkorb auf (Abb. 3). Auf Grund dieser lockeren Verbindung wird eine hohe Beweglichkeit der Arme gewährleistet. Das Schlüsselbein ist dabei durch ein inneres Gelenk mit dem Brustkorb und über ein äußeres Gelenk mit dem Schulterblatt verbunden. Das Schulterblatt wiederum vereinigt die oberen Extremitäten über das Schultergelenk beweglich mit dem Rumpf. Da es mit dem Schlüsselbein verbunden ist, schiebt sich das Schulterblatt bei Bewegungen des Schlüsselbeins gleitend über den Brustkorb, wodurch ein hoher Aktionsradius der Arme gewährleistet wird (vgl. Abb. 3 zu Abb. 4) (Appell / Stang-Voss 1996, S. 48 f.).

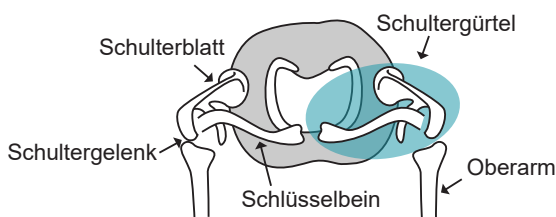


Abb. 3: Stellung des Schultergürtels mit nach vorn gestreckten Armen (Draufsicht)

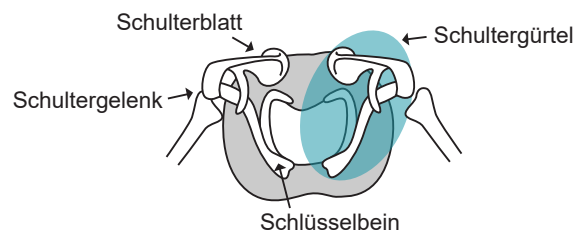


Abb. 4: Stellung des Schultergürtels mit nach hinten gezogenen Armen (Draufsicht)

2.2.4 Die Muskulatur

Wie eingangs bereits erwähnt, ist der aktive Bewegungsapparat bzw. die Kontraktion der Muskulatur für Bewegungen des Skelettsystems verantwortlich. Die Bewegungen des Oberkörpers erfolgen durch große Muskelgruppen, die überwiegend auf die Wirbelsäule wirken. Für die Aufrichtung und Stützung der Wirbelsäule sind die Rückenstrecker von besonderer Bedeutung. Sie ziehen sich in Form von zwei Muskelsträngen vom Becken beidseits entlang der Wirbelsäule bis zum Hals und sind im Gegensatz zu anderen Muskelgruppen ausschließlich für die Stabilität und Bewegung der Wirbelsäule verantwortlich.

Die Rückenstrecker bestehen aus zwei verschiedenen Muskelgruppen. Auf der einen Seite aus tiefen, medialen Muskelsträngen und auf der anderen Seite aus äußeren,

lateralen Muskeln. Die medialen Muskelstränge sind eng mit der Wirbelsäule verbunden und sorgen für die Haltung und Stützung des Rumpfs (Abb. 5). Sie setzen sich aus vielen kleineren Muskeln zusammen und überspannen teils nur ein Bewegungssegment der Wirbelsäule oder sind mit mehreren gleichzeitig verbunden.

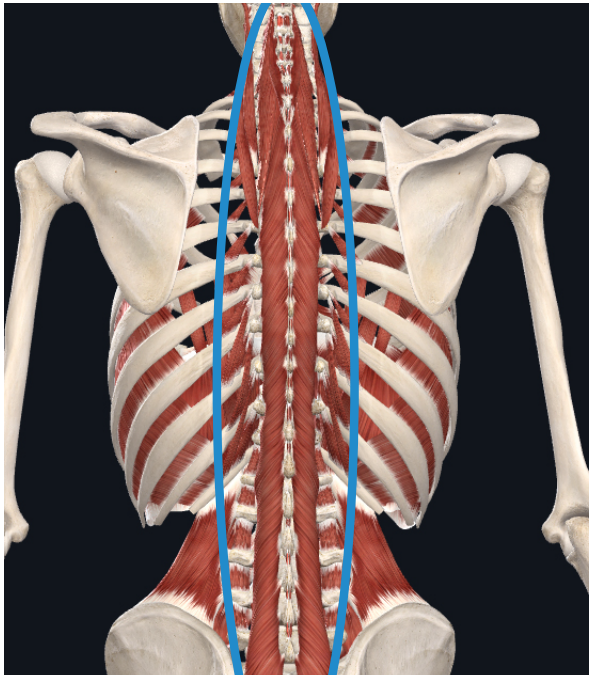


Abb. 5: Mediale Muskelstränge der Rückenmuskulatur

Zu der medialen Muskulatur zählen unter anderem die sogenannten Rotatores (Abb. 6). Diese erstrecken sich von den Querfortsätzen eines Wirbels zu den höher gelegenen Dornfortsätzen des nächsten Bewegungselements und spielen eine entscheidende Rolle für die Stabilisierung und Drehung des Oberkörpers (Geraedts 2018, S. 98).

Die äußeren, lateralen Muskeln der Rückenstrecker sind vom Becken ausgehend mit den Rippen verbunden und sorgen allgemein für die Beweglichkeit der Wirbelsäule (Abb. 7). Sie lassen sich in drei Bereiche unterteilen, welche je nach Art und Weise für eine Links-Rechts-Bewegung oder die Aufrichtung der unteren

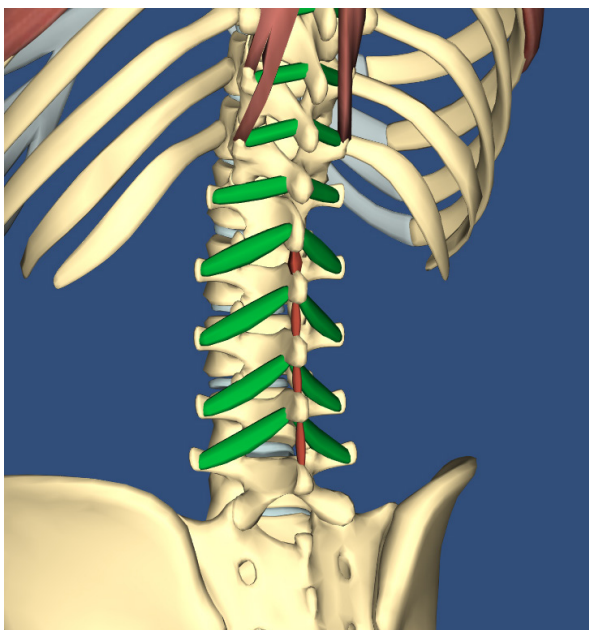


Abb. 6: Rotatores (grün) für Drehbewegungen des Oberkörpers

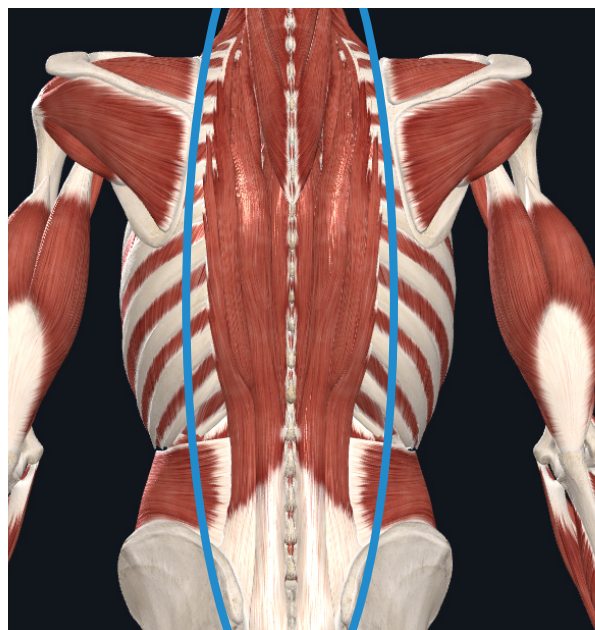


Abb. 7: Laterale Muskelstränge der Rückenmuskulatur

Wirbelsäule verantwortlich sind. Überlagert wird die Wirbelsäule von der eingewanderten Rückenmuskulatur, welche aus den Muskeln des Schultergürtels besteht. Ein Hauptbestandteil der eingewanderten Rückenmuskulatur ist der Trapezius (Abb. 8). Dieser hat seinen Ursprung an den Halswirbeln und ist mit dem Kopf, Schlüsselbein und Schulterblatt verbunden. Der trapezförmige Rückenmuskel sorgt für das nach hinten Kippen des Kopfs sowie für ein Absenken und nach oben Ziehen der Schultern. Die unter dem Trapezius liegenden kleineren Muskeln (großer Rautenmuskel, kleiner Rautenmuskel und Schulterblattheber) sind mit den unteren Hals- und oberen Brustwirbeln sowie dem Schulterblatt verbunden und ziehen bei ihrer Kontraktion das Schulterblatt nach hinten. An der nach vorn gerichteten Bewegung des Schultergürtels ist der vordere Sägemuskel maßgeblich beteiligt. Eine Kontraktion des Muskels zieht das Schulterblatt nach vorn und ermöglicht ein Anheben der Arme.

Um den gesamten Oberkörper vorn über zu beugen, wird die Bauchmuskulatur (Bauchwand) benötigt. Je nachdem welche Muskelgruppe des Bauchs angespannt wird, wird der Brustkorb abgesenkt oder zur Seite gezogen. Auf diese Weise wird ebenfalls die Wirbelsäule gekrümmt und eine nach vorn gerichtete Neigung des Oberkörpers erzeugt (Appell / Stang-Voss 1996, S. 39 - 48 & Faller et al. 2004, S.152 -159).

2.3 Haltung

Der Begriff „Haltung“ ist nur schwer zu definieren, da Haltung ein Vorgang ist, welcher durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird (Owczarek / Krämer 1998, S. 4). Grundlegend ist unter Haltung der stetige Kräfteausgleich zwischen Muskulatur und Schwerkraft zu verstehen und kann als gehaltene Bewegung definiert werden.

Bei einer neutralen Haltung sind die Kräfte zwischen Skelettsystem und Muskulatur ausgeglichen. Hierbei wird der Energieverbrauch minimiert und Gelenke sowie Weichtei-



Abb. 8: Trapezius mit darunter liegender Muskulatur für Bewegungen des Schultergürtels

le nicht überbelastet (Wottke 2013, S. 2). Der beschriebene Kräfteausgleich wird im Allgemeinen durch die Rückenstreck-, Bauch- und Extremitätenmuskeln ermöglicht und ist zu einem großen Teil vom Zustand der Muskeln aber auch der Stellung der Wirbelsäule, des Schultergürtels und des Beckens abhängig (Owczarek / Krämer 1998, S. 4). Die Körperhaltung lässt sich nach Owczarek und Krämer zur Veranschaulichung grob in vier verschiedene Kategorien einteilen (Abb.9):

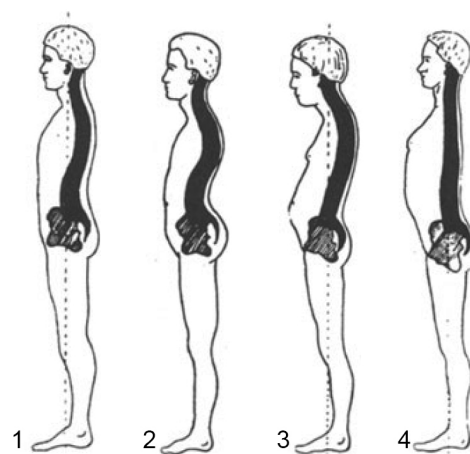


Abb. 9: Kategorien der Körperhaltung nach Owczarek und Krämer

1. Die physiologische (normale) Haltung: Die Wirbelsäule weist die typische doppel-S-förmige Krümmung auf. Hals- und Lendenlordose sowie Brustkyphose sind gleichermaßen ausgeprägt (Owczarek / Krämer 1998, S. 5).

2. Der Hohlrundrücken: Die Halslordose, Brustkyphose und Lendenlordose sind stärker ausgeprägt als bei der normalen Haltung. Häufig führt der Hohlrundrücken zu vorgezogenen Schultern und einer Verkürzung des vorderen Sägemuskels sowie einer Überbeanspruchung der Bauchmuskulatur (Owczarek / Krämer 1998, S. 5 & Bartrow 2012, S. 58).

3. Rundrücken: Verstärkung der Brustkyphose und Abflachung der Lendenlordose bei total rundem Rücken. Die nach vorn geneigte Haltung kann benachbarte Regionen, wie den Schultergürtel oder den Brustkorb, negativ beeinträchtigen. Den Schultergürtel betreffende Muskeln werden wie beim Hohlrundrücken entsprechend verkürzt oder überbeansprucht (Owczarek / Krämer 1998, S. 5 & Bartrow 2012, S. 57).

4. Flachrücken: Minderung der physiologischen Wirbelsäulenschwingungen, Halslordose, Brustkyphose und Lendenlordose fehlen nahezu gänzlich (Owczarek / Krämer 1998, S. 5 & Bartrow 2012, S. 57).

Die beschriebenen Haltungsformen, mit Ausnahme der physiologischen Haltung, sind nicht zwangsläufig zu einer fehlerhaften Haltung oder Haltungsschwäche zuzuordnen. Die normale Haltung ist ein fiktives Konstrukt und von äußeren Einflüssen sowie kör-

pereigenen Kräften abhängig. Dadurch ist sie von keinem Menschen zu 100 % erreichbar. Die Einnahme einer Ruhehaltung mit bspw. einer stärkeren Brustkyphose ist normal. Erst ihre längere oder ständige Beibehaltung ist krankhaft. Da wesentliche Abweichungen von der charakteristischen Wirbelsäulenform (Kategorie 2 - 4) häufig mit Beschwerden einhergehen, können sie dennoch als fehlerhaft eingeordnet werden (Heipertz / Schmitt 1978, S. 51 & Bartrow 2012, S. 57).

2.3.1 Fehlerhafte Sitzhaltung und ihre Folgen

„Die Natur ist gnadenlos effizient: Alles was nicht benutzt, also auch nicht benötigt wird, wird abgebaut“ (Glöckl / Breithecker 2014, S. 11).

Die zunehmende Technisierung wirkt sich oft ungünstig auf die Haltung aus, wodurch sich der Bewegungs- und Halteapparat nur ungenügend entwickelt. Auf Grund von zu wenig Bewegung, einer einseitigen Belastung, der dauerhaften Einnahme einer bestimmten Haltung (Haltungskonstanz) oder ungünstigen Sitzverhältnissen verkümmert die Muskulatur. Dadurch kann eine fehlerhafte Haltung, eine Haltungsschwäche (ausgleichbare Abweichung der Wirbelsäule) oder sogar ein Haltungsschaden (knöcherner Fixation einer Haltungsschwäche) entstehen (Wottke 2013, S. 3).

Grundlegend können drei verschiedene Sitzhaltungen unterschieden werden (Abb. 10). Befindet sich die Person in der sogenannten „vorderen Sitzhaltung“ wird die Lendenlordose zunehmend reduziert und die Brustkyphose verstärkt. Die Schultern werden nach vorn gezogen und die Halswirbel zunehmend verkrümmt. Wird diese Stellung des Körpers auf



Abb. 10: Drei verschiedene Arten der Sitzhaltung

Dauer eingenommen, führt diese unphysiologische Haltung zwangsläufig zu einer Verkürzung verschiedener Muskelgruppen, wie bspw. dem Trapezius. Darüber hinaus ist die Belastung auf die Wirbelsäule deutlich höher als in der physiologischen Haltung, wodurch sich die Bandscheiben verlagern und heraustreten können (Wottke 2013, S. 13). Des Weiteren führt diese Haltung zu einer Überbeanspruchung der medialen und lateralen Rückenmuskulatur sowie einer Belastung von inneren Organen, wie dem Verdauungsapparat und den Atmungsorganen (Bullinger 1994, S. 213 f.).

Eine andere Haltungsweise im Sitzen ist die hintere Sitzhaltung. Dabei wird das Becken nach vorn geschoben, wobei sich Kopf und Schultergürtel hinter dem Becken befinden. Hierbei werden die Bandscheiben entlastet, da ein Druck auf die Wirbelsäule von der Rückenlehne des Stuhls abgefangen wird. Allerdings können bei längerem Einhalten dieser Sitzposition Muskelverkürzungen, wie bei der vorderen Sitzhaltung, auftreten. Des Weiteren kann die hintere Sitzhaltung zu einer Überbelastung der Haltebänder der Wirbelsäule führen (Wottke 2013, S. 14).

Eine dritte Haltungsposition, welche zunächst nicht mit einer fehlerhaften oder schlechten Haltung verbunden wird, ist die mittlere Sitzhaltung. Dabei wird das Becken leicht nach vorn gekippt, wobei die Wirbelsäule ihre physiologische Form einnimmt und die Halswirbelsäule leicht gestreckt wird. Diese labile Sitzhaltung erfordert eine gute Kraftausdauer, da die Muskulatur hierbei im stetigen Kräfteausgleich mit der Schwerkraft steht (Wottke 2013, S. 15 & Bullinger 1994, S. 214).

Generell ist eine Sitzhaltung erst dann schädlich, wenn sie über einen längeren Zeitraum eingehalten wird. Bei längerem Sitzen in einer Stellung kann auch trotz optimaler Belastungsverteilung auf die gesamte Wirbelsäule ein Zusammenpressen der

Bandscheiben nicht vermieden werden. Darüber hinaus kann es zu einer unzureichenden Durchblutung der Muskeln sowie einer Störung des Stoffwechsels kommen. Eine Folge des erhöhten Drucks auf die Bandscheiben ist eine Vorwölbung des Gallertkerns, welcher auf die Nerven hinter der Wirbelsäule drückt und Schmerzen verursacht (Abb. 11).

Des Weiteren kann der Entzug von Nährstoffen und Flüssigkeit durch die dauernde Über- bzw. Fehlbelastung dazu führen, dass die Bandscheiben porös werden und Stöße von der Wirbelsäule

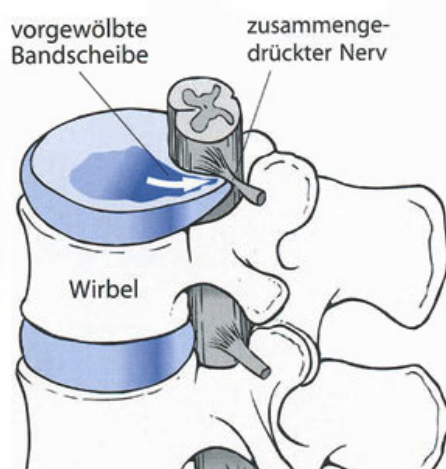


Abb. 11: Die vorgewölbte Bandscheibe drückt auf Nervenbahnen hinter der Wirbelsäule (Bandscheibenvorfall)

nicht mehr abgedeutert werden können. Im Extremfall entstehen so knöcherne Verhärtungen der Bandscheiben, wodurch die Beweglichkeit und Stabilität des Oberkörpers stark eingeschränkt wird (Dustmann 2002, S. 17 - 20). Eine weitere Auswirkung der Schmälerung der Bandscheiben sind Druckbelastungen der kleineren Wirbelgelenke. Diese führen ebenfalls zu einer Verringerung des Gelenkraums zwischen den Wirbelgelenken, welche sich meist in chronischen Kreuzschmerzen manifestiert (Owczarek / Krämer 1998, S. 7). Darüber hinaus kann es beim längeren unbeweglichen Sitzen zu Gefäßerkrankungen wie Venenproblemen in den Waden und Hämorrhoiden kommen, da der Blutfluss besonders in den Oberschenkeln durch die Sitzfläche blockiert wird (Glöckl / Beithecker 2014, S. 14).

2.3.2 Die richtige Haltung im Sitzen

Die „richtige Haltung“ ist nur schwer zu definieren, da sie von vielen verschiedenen Einflussfaktoren wie dem Alter, dem Körperbau und dem Stand der Muskulatur abhängt. Eindeutig ist allerdings, dass eine physiologische Haltung im Sitzen einen guten Ausgangspunkt für eine richtige Haltung darstellt. Demensprechend sitzt man „richtig“, wenn die Wirbelsäule ihre natürliche doppel-S-förmige Krümmung einnimmt, die Rückenmuskulatur angespannt ist und das Becken leicht nach vorn geneigt wird. Auf diese Weise wird die Wirbelsäule gleichmäßig belastet, wodurch es zu keiner Verkürzung oder Überbelastung von Muskeln sowie des Schultergürtels kommt (Dustman 2002, S. 25). Allerdings ist selbst bei einer physiologischen Haltung im Sitzen zu bedenken, dass der Druck auf die Wirbelsäule so hoch ist, dass die Bandscheiben keine Flüssigkeit aufnehmen können und dadurch nur unzureichend ernährt werden (Wottke 2013, S. 17).

In der Literatur lässt sich im Zusammenhang mit dem richtigen Sitzverhalten vermehrt die Empfehlung „dynamisch Sitzen“ bzw. „Haltungskonstanz vermeiden“ finden (Dustmann 2002, S. 24 & Wottke 2013, S. 18 & Bullinger 1994, S. 214). Anhand dieser Ausführungen wird deutlich, dass sich eine schlechte Haltung und Haltungsfehler nur vermeiden lassen, wenn keiner der genannten Haltungstypen aus Abschnitt 2.3.1 auf Dauer eingenommen wird. Nur auf Grund von Bewegungen des Körpers können die Bandscheiben durchgewalkt und mit Nährstoffen und Sauerstoff versorgt werden, um bspw. Bandscheibenvorfälle zu vermeiden. Es ist darüber hinaus möglich für kurze Zeit Sitzhaltungen einzunehmen, bei denen das Skelettsystem überbeansprucht wird, um für eine Entspannung der Muskulatur zu sorgen (Wottke 2013, S. 17 f.).

Für die Büroarbeit werden auf Basis von Arbeitsschutzvorschriften Bürostühle vorgeschrieben, welche die physiologische Haltung unterstützen. Auf diese Weise sollen Zwangs- oder Fehlhaltungen durch eine ungünstige Gestaltung und Einstellung der Sitzmöbel vermieden werden (DGUV 2018, S. 30 ff.). Die Rückenlehne sollte sich in allen Haltungspositionen der physiologischen Wirbelsäulenkrümmung anpassen und den Rücken möglichst großflächig unterstützen, um einen Teil des Oberkörpergewichts abzufangen. Zusätzliche Armlehnen dienen der Ablage der Unterarme, um das Gewicht auf den Schultergürtel zu reduzieren (BAuA 2011, S. 22).

Bezogen auf die optimale Sitzhaltung auf einem Bürostuhl existieren keine allgemein gültigen Richtlinien. Dennoch gibt es bestimmte Empfehlungen, welche die Belastung durch das Sitzen minimieren sollen. So ist es bspw. empfehlenswert, die Arme und Beine in einem Winkel von 90 Grad abzulegen, um die Durchblutung zu fördern. Darüber hinaus sollte der Stuhl (Rückenlehne und Sitzfläche) ganzflächig genutzt werden, um die Wirbelsäule und Muskulatur zu entlasten. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin empfiehlt generell aufrecht zu sitzen, aber dennoch zwischen vorderer, hinterer und mittlerer Haltung zu wechseln (BAuA 2011, S. 24).

3 Realisierung des Systems

In den vorangegangenen Abschnitten konnte geklärt werden, was unter dem Begriff „Haltung“ und insbesondere der physiologischen Haltung zu verstehen ist. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, welche Schäden durch eine unphysiologische Haltung sowie Haltungskonstanz entstehen können und welchen Einfluss der Bürostuhl auf die Haltung am Arbeitsplatz nimmt. Die theoretischen Grundlagen spielen eine bedeutende Rolle bei Entscheidungen, welche im Verlauf der technischen und softwareseitigen Umsetzung getroffen wurden und liefern die Informationsgrundlage für die weiteren Ausführungen. Das vorliegende Kapitel behandelt die Realisierung des Systems zur spielerischen Verbesserung der Haltung im Sitzen und stellt den Hauptteil der Abhandlung dar.

Die ersten beiden Abschnitte fokussieren sich dabei zunächst auf die Darstellung von verschiedenen Anforderungen an das Eingabegerät sowie an die zu erstellende Software. Im Anschluss daran erfolgt die Beschreibung von mehreren, bereits existierenden Möglichkeiten der Umsetzung und bisherigen Untersuchungen bezüglich der elektronischen Haltungserkennung. Die abschließende Auswahl einer Umsetzungsmöglichkeit bildet die Basis für die folgende Realisierung des Eingabegeräts.

Hierin enthalten ist sowohl eine Einführung in die wichtigsten Bestandteile der Technik als auch die Darstellung der finalen, technischen Umsetzung. Nachdem die Herstellung des Eingabegeräts behandelt wurde, erfolgen verschiedene Ausführungen bezüglich der Programmierung der Software des Systems. Hierbei wird sowohl die Programmierung der Hardware als auch der Anwendung, mit welcher der Nutzer interagieren kann, beschrieben.

In dem letzten Teil des Kapitels wird die Erstellung der Posture Games dargestellt. Dieser Abschnitt setzt sich aus Ausführungen bezüglich verschiedener Haltungsübungen auf einem Bürostuhl und der Realisierung der Haltungsspiele zusammen.

3.1 Anforderungen an das Eingabegerät

Anhand der Zielsetzung der vorliegenden Thesis sowie den Ausführungen bezüglich der Sitzhaltung, ergeben sich verschiedene Anforderungen an die zu realisierende Hardware, welche an dieser Stelle erläutert werden sollen. Da der Fokus der Abhandlung auf einer Haltungsverbesserung am Bildschirmarbeitsplatz liegt und Bürostühle auf Basis von Arbeitsschutzvorschriften verordnet werden, wird der Bürostuhl in die weiteren Überlegungen mit einbezogen.

Der Hauptanspruch an den technischen Prototypen besteht darin, die Haltung einer

Person, welche auf einem Bürostuhl sitzt, möglichst genau zu analysieren. Darüber hinaus muss es möglich sein, die erhobenen Haltungsdaten dazu zu verwenden, spielerische Haltungsübungen mit der Apparatur durchzuführen. Dementsprechend ist es notwendig, dass die übermittelten Messdaten in Echtzeit an die zu erstellende Software übertragen werden, um Verzögerungen im Spielablauf zu vermeiden und eine flüssige Steuerung zu ermöglichen. Die schnelle Datenübermittlung ist ebenso notwendig, um die Haltung über die Sitzdauer zu protokollieren, damit eine Statistik über die Haltungsveränderungen erstellt werden kann. Da die Haltung als solches wie bereits beschrieben schwer zu definieren ist und von diversen Faktoren beeinflusst wird, wird der Versuchsaufbau hinsichtlich der Haltungserkennung zunächst auf den Versuch beschränkt, die Neigung des Oberkörpers zu erfassen. Darüber hinaus sollte es möglich sein die Rotation des Beckens sowie die Sitzposition des Anwenders zu bestimmen. Ein weiteres Kriterium der zu entwickelnden Technik besteht aus einer hohen Flexibilität des Versuchsaufbaus. Da im Rahmen einer Analyse mehrere Tests mit unterschiedlichen Anwendern und Experten durchgeführt werden sollen, muss der gesamte Aufbau nach Möglichkeit auf verschiedene Bürostuhltypen anwendbar sein. Diese Vorgabe setzt eine Bauweise voraus, bei der die Hardware relativ unabhängig von den Abmessungen des verwendeten Bürostuhls ist. Darüber hinaus muss das Eingabegerät transportfähig und dementsprechend kompakt und leicht sein.

Eine weitere Anforderung an die technische Umsetzung ist, dass sie die alltägliche Arbeit der Testpersonen nicht beeinflusst. Für die Versuche in einem kleineren Rahmen, bei denen es in erster Linie darum geht, Rückschlüsse auf die Nutzbarkeit der Technik und Software zu ziehen, können gewisse Einschränkungen hinsichtlich der Benutzung allerdings in Kauf genommen werden. Dennoch sollte die Technik grundlegend dazu geeignet sein, über einen langen Zeitraum verwendet zu werden. Da die Technologie zur Haltungsverbesserung für verschiedene Personen jeder Statur anwendbar sein sollte, muss auch die prototypische Umsetzung für ein gewisses Gewicht ausgelegt sein. Dementsprechend ist es für die ersten Tests erforderlich, dass die Technik ein Gewicht von mindestens 100 kg tragen kann.

3.2 Anforderungen an die Software

Bezüglich der Verbesserung der Sitzhaltung ergeben sich verschiedene Anforderungen an die zu erstellende Software. In erster Linie muss sie dazu in der Lage sein, die gesessene Zeit aufzuzeichnen und Informationen über die Körperstellung einer sitzenden Person zu sammeln. Das Speichern der Daten ist dabei über einen längeren Zeitraum

erforderlich, um Veränderungen im Sitzverhalten zu erkennen und die Anwendung sowie Technik auf ihre Funktionalität und Wirkung überprüfen zu können. Darüber hinaus müssen die Trackingdaten bezüglich der Sitzzeit und Haltung visuell aufbereitet werden, um dem Anwender die Möglichkeit zu geben, Rückschlüsse auf eine mögliche Verbesserung der Haltung zu ziehen. Des Weiteren sollte die Anwendung möglichst unterschiedliche Spiele mit variierender Bewegungssteuerung anbieten, um sowohl die zugrundeliegende Hardware testen zu können als auch Möglichkeiten der Realisierbarkeit von verschiedenen Steuerungsarten in Bezug zur Haltungsverbesserung zu analysieren. Eine weitere Anforderung an die Software besteht aus einer neutralen und selbsterklärenden Gestaltung. Diese ist erforderlich, um die Meinung der testenden Personen nicht durch ein aufdringliches Design zu verfälschen und den Fokus auf die wesentlichen Elemente des Programms zu lenken. Zusätzlich ist es notwendig, verschiedene Personalisierungseinstellungen zu implementieren, damit der Anwender die Möglichkeit hat, die Software auf sein Sitzverhalten bzw. die Arbeitszeiten am Bildschirm anzupassen. Dementsprechend müssen die Intervalle, nach welchen eine Warnung vor einer schlechten Sitzhaltung ausgegeben wird, manuell einstellbar sein und ausgesetzt werden können. Hierzu gehört ebenfalls die Möglichkeit, das Programm im Hintergrund des Desktops ablegen zu können, damit die Arbeit während der Überwachung nicht behindert wird. Da der Fokus der vorliegenden Thesis zunächst auf der ersten Überprüfung auf Machbarkeit eines solchen Kontroll- und Spielsystems liegt, können mögliche Einschränkungen bezüglich einer leistungsschwächeren Bürohardware zunächst außer Acht gelassen werden.

3.3 Möglichkeiten der Haltungserkennung

Es existieren verschiedene Untersuchungen und Forschungen im Bereich der Haltungserkennung des menschlichen Körpers sowie der Analyse der gesammelten Daten. Viele haben dabei einen Bezug zur Rehabilitation oder dienen der Messung von Gesundheitswerten und der Aktivität des Anwenders. Einige dieser Untersuchungen haben das Ziel, den Nutzer dazu zu bewegen, bestimmte Übungen durchzuführen, welche seine Gesundheit fördern.

Zur Gesundheitsförderung werden oftmals elektronische Spiele eingesetzt, welche den Anwender dazu anregen sollen, die Technik generell zu nutzen oder Übungen länger durchzuhalten (Wiemeyer 2016, S. 19 f.). Solche Untersuchungen setzen in der Regel spezielle Hardware voraus und beziehen sich oftmals auf den gesamten Körper. Deshalb werden an dieser Stelle lediglich Ansätze vorgestellt, welche

unter Berücksichtigung der Haltungserkennung im Sitzen Anwendung finden können. Die Analyse von bereits durchgeführten Untersuchungen soll zunächst einen Überblick über verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten geben. Des Weiteren dient die Recherche nach bereits betriebener Forschung der Findung eines Lösungsansatzes bezüglich der zuvor beschriebenen Anforderungen an die zu realisierende Technik und Software.

3.3.1 Haltungserkennung mit Tiefensensor

Eine erste Möglichkeit die Haltung auf einem Bürostuhl in Echtzeit zu bewerten, besteht aus der Verwendung von Kameras mit Tiefensensor. Solche Kameras wie bspw. die Microsoft Kinect sind in der Lage ein dreidimensionales Abbild der Umgebung und der darin enthaltenen Objekte zu erstellen. Bei diesem Prozess projiziert ein Projektor innerhalb der Kinect-Sensorleiste ein Raster aus kleinen Infrarot-Punkten auf die Umgebung, welche von einer Infrarot-Kamera gelesen werden. Bei diesem Vorgang wird das ursprüngliche Raster der Kinect mit dem durch die Umgebung verzerrten Raster verglichen. Anhand des erzeugten Differenzmusters ist es möglich, eine Tiefenkarte der Umgebung aufzuzeichnen. Es gibt verschiedene Programme, welche in der Lage sind, die Haltung und Bewegung einer Person mittels der ausgesandten Tiefenbilder zu erkennen. Dabei ist die Software darauf trainiert, diverse Körperformen zu analysieren und die Ausrichtung verschiedener Körperteile für das Erkennen von Bewegungen und Haltungen zu nutzen (Miles 2012, S. 5 - 10).

In Bezug zur Haltung im Sitzen wurden mit der Kinect verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Wiedemann et al. erforschen in ihrer Abhandlung zur Untersuchung der Ergonomie am Arbeitsplatz bspw. die ideale Platzierung des Kinect-Sensors in Bezug auf die Qualität der Haltungserkennung. Hierzu wurde die Kinect an sieben unterschiedlichen Positionen mit jeweils unterschiedlichen Betrachtungswinkeln zum Anwender aufgestellt. Die erhobenen Sensordaten wurden anschließend auf die Erkennung von fünf Haltungen analysiert, um die ideale Platzierung des Sensors für die Datenerfassung zu ermitteln (Wiedemann et al. 2014, S. 275 - 278). Ein weitaus fortgeschrittener Ansatz von Yao et al. untersucht die Haltungserkennung mittels einer Kinect in Bezug auf die Rotation von Nacken und Oberkörper. In der Abhandlung wird davon ausgegangen, dass sich eine sitzende Person in einer schlechten Haltung befindet, wenn der Winkel des Oberkörpers mehr als 20 Grad vom Lot (in Relation zur Schwerkraft) abweicht (Abb. 12). Gleiches gilt für eine Abweichung des Nacken-Winkels zur Oberkörperrotation. In ihrem Versuchsaufbau richten Yao et al. eine Kinect seitlich auf eine sitzende Person,

um mittels des Tiefensensors die Winkelstellung von Oberkörper und Nacken zu ermitteln. Yao et al. schlagen für die Bewertung der Haltung mittels ihres Aufbaus ein System vor, welches die Haltung auf Basis von zuvor erhobenen Daten alle 10 Minuten bewertet und bei einer schlechten Haltung eine Warnung ausgibt (Yao et al. 2017, S. 340 - 350).

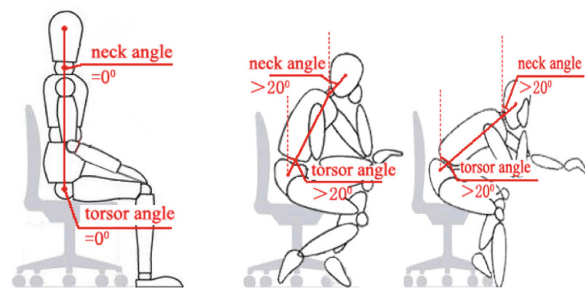


Abb. 12: Analyse der Haltung nach Yao et al. anhand zweier Winkel mittels einer Kinect

Die Verwendung von Tiefenkameras ist nach Yao et al. und Wiedemann et al. sehr zuverlässig. Darüber hinaus ist mit ihrer Hilfe eine Datenerhebung in Echtzeit möglich, wodurch sich verschiedene Spiele zur Haltungsverbesserung umsetzen ließen. Ein großer Nachteil hierbei ist allerdings, dass für die Verwendung der Kamera relativ viel Platz benötigt wird, um die erforderlichen Daten zu erfassen. Nach Wiedemann et al. ist für das Erkennen der Haltung ein Abstand von mindestens 1,7 Metern zur Versuchsperson erforderlich, was die Verwendung in einem Büro erschwert. Darüber hinaus kann der Sensor nicht direkt vor einer Person aufgestellt werden, da zu erwarten ist, dass der Schreibtisch einen Teil des Körpers verdeckt, wodurch eine genauere Messung erschwert wird.

3.3.2 Haltungserkennung mit tragbaren Sensoren

Im Bereich der tragbaren Sensoren zur Haltungserkennung existieren diverse Anwendungen und Forschungen sowohl im medizinischen Bereich als auch für den privaten Gebrauch. Die im Folgenden vorgestellten Forschungsansätze stellen lediglich einen Auszug der vorhandenen Systeme dar und sollen ein grundlegendes Verständnis über die dargelegte Haltungsbewertung mit tragbaren Systemen liefern.

Eine erste Möglichkeit ist der Einsatz von Dehnungssensoren (Dehnungsmessstreifen) zur Überwachung von Körperbewegungen, Haltungen und Gesten. Dehnungssensoren reagieren auf eine Deformierung des Sensors auf Grund von Biegungs- oder Zugkräften, welche auf den Sensor wirken. Je nach Belastung, ändert sich der Widerstand des Sensors, wodurch entweder mehr oder weniger Strom durch ihn hindurch geleitet wird. Der Widerstand gibt wiederum Auskunft darüber, wie weit ein Dehnungssensor gebogen ist bzw. wieviel Zugkraft auf ihn wirkt (Farooq / Sazonov 2015, S. 221 f.). Ein Vorteil von Dehnungsmessstreifen ist, dass sie sehr flexibel sind und entweder an einem Gewebe angebracht oder auch mit leitfähigem Garn in einen Stoff integriert

werden können (Abb. 13). In diesem Zusammenhang existieren verschiedenste Anwendungen, welche bspw. die Analyse von Biegungen der Finger in Form eines Handschuhs oder die Überwachung von Bewegungen des Oberkörpers umfassen (Farooq / Sazonov 2015, S. 227). Da für die Verwendung von Dehnungsmessstreifen lediglich Strom benötigt wird, um die Daten des Sensors interpretieren zu können, wäre eine Verwendung im Echtzeitbereich und somit die Umsetzung von Spielen für ein tragbares Eingabegerät dieser Art denkbar.

Ein weiterer Ansatz bezüglich tragbarer Sensorik ist die Verwendung von Gyroskopen oder Accelerometern (Beschleunigungsmessern). Accelerometer bieten eine kostengünstige Methode zur Erfassung von menschlichen Bewegungen und können je nach Bauweise Beschleunigungen in drei Dimensionen erfassen. Gyroskope sind im Gegensatz dazu in der Lage, eine Rotation des Sensors in drei Achsen wiederzugeben. Sie werden bspw. in der Automobilindustrie zu Stabilitätszwecken oder zur Erkennung von Überschlagungen des Autos eingesetzt. Auf Grund ihrer leichten und kleinen Bauweise können Beschleunigungsmesser und Gyroskope dazu eingesetzt werden, Rotationswinkel und Positionen von Körperteilen zu bestimmen (Gouwanda / Senanayake 2008, S. 715 - 718). Dementsprechend lassen sie sich ebenfalls dazu einsetzen, die Haltung einer Person zu erfassen. Es sind bereits Komplettlösungen zur Haltungsverbesserung bzw. Haltungskontrolle auf der Basis solcher Sensoren erhältlich. Ein Beispiel dafür ist das UPRIGHT GO System (i.F. Upright) (Abb. 14). Dieser 5,5 x 3,5 cm große Sensor wird mittels wiederverwendbarer Klebestreifen am unteren Nackenbereich auf die Haut geklebt und lässt sich drahtlos mit einer speziellen Mobile App verbinden. Zur Analyse der Sitzhaltung, muss zunächst eine physiologische Haltung eingenommen werden. Anschließend wird der Sensor über die App kalibriert.

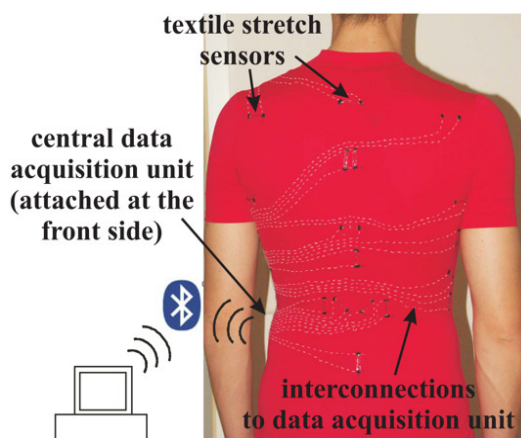


Abb. 13: Analyse der Haltung mittels Dehnungsmessstreifen, welche in das Gewebe integriert sind

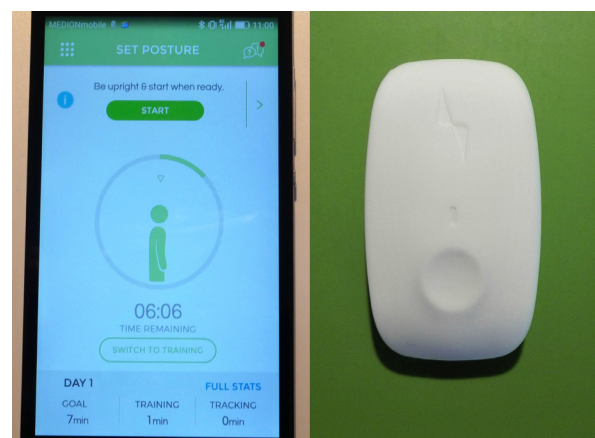


Abb. 14: Upright App (links) und tragbarer Sensor (rechts) zur Überwachung der Körperhaltung

briert. Weicht die Lage des Sensors bei Bewegungen von dem gespeicherten Zustand ab, kann der Sensor einen Vibrationsimpuls aussenden. Dieser soll den Träger vor einer Differenz zur festgehaltenen Körperstellung warnen und ihn dazu anhalten, eine aufrechte Position einzunehmen. Der Upright-Sensor verwendet zur Haltungsbestimmung einen Beschleunigungsmesser in Kombination mit verschiedenen Algorithmen (Ben from Upright 2019). Die Verwendung eines Accelerometers wurde in Selbsttests verdeutlicht. Hierbei zeigte die Mobile App eine Rotation des Sensors an, auch wenn dieser lediglich horizontal bewegt wurde.

Die vorgestellten, tragbaren Technologien haben verschiedene Vorteile bezüglich der Haltungserkennung. Da sie sehr leicht sind und kompakt verbaut werden können, ist es möglich die Sensoren über einen längeren Zeitraum zu tragen. Allerdings werden für eine präzise Datenerhebung mehrere Sensoren benötigt, um konkrete Aussagen über die Haltung zu treffen, was die Mobilität des Trägers einschränken kann. Im Beispiel von Upright zeigt sich, dass die Haltung als schlecht eingeordnet wird, wenn sich der Anwender mit geradem Rücken nach vorn lehnt. Demzufolge reicht ein einzelner Sensor vermutlich nicht aus, um eine konkrete Aussage über die Haltung zu treffen. Darüber hinaus kann die Befestigungsvorrichtung je nach Art der Anbringung bei häufiger Verwendung verschleißern, wodurch eine korrekte Befestigung nicht mehr möglich ist. Da sich tragbare Sensoren direkt am Körper befinden, kann das Tragen trotz der leichten Bauweise je nach Größe des Sensors bei einem täglichen Gebrauch als unangenehm empfunden werden. Außerdem ist es notwendig den Sensor täglich ab- und anzulegen und muss je nach beruflichem Umfeld unter der Kleidung verborgen werden.

3.3.3 Haltungserkennung über die Sitzfläche

Eine weitere Möglichkeit der Haltungserkennung kann über die Sitzfläche des Anwenders geschehen. Auf dieser Basis existieren verschiedene Forschungsansätze in unterschiedlichen Bereichen, wie bspw. der Automobilindustrie. Häufig werden bei dieser Art der Haltungserkennung Drucksensoren eingesetzt. Diese zeichnen sich durch einen Anstieg oder Abfall ihrer Leitfähigkeit aus, sobald eine Kraft auf den Sensor ausgeübt wird. In der Abhandlung „Intelligent Vehicle Handling: Steering and Body Postures While Cornering“ untersuchen Riener et al. ein System zur Aktivitätserkennung von Autofahrern bei kurvenreichen Fahrten. Hierfür verwenden sie zwei vorgefertigte Rastermatten bestehend aus jeweils 32 x 32 Drucksensoren, welche sowohl auf dem Fahrersitz als auch an der Rückenlehne angebracht sind (Abb. 15). Die Daten aus den beiden Arrays werden per USB an einen Laptop gesendet und dort

mittels einer speziellen Software verarbeitet. Die Beanspruchung einzelner Sensoren aus dem Raster kann bei der Verarbeitung Aufschluss darüber geben, in welcher Haltung sich der Fahrer befindet (Riener et al. 2008, S. 68 - 81).

In Bezug auf die zu erstellende Hardware muss hierbei berücksichtigt werden, dass sich das Experiment von Riener et al. auf die Links-Rechts-Bewegung des Fahrers konzentriert. Da ein Autofahrer in der Regel zu jeder Zeit angelehnt ist, kann dessen Haltung mittels zweier Matrizen relativ exakt ermittelt werden. Bei einer Bewegung nach vorn ist allerdings fraglich, ob die von der Sitzfläche übermittelten Daten ausreichen, um eine Aussage über die Sitzhaltung zu treffen.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt das Team von Darma. Das Darma-System besteht aus einem 40 cm² großen Sitzpolster, welches über mehrere faseroptische Sensoren verfügt und drahtlos mit einer Mobile App verbunden ist. Die eigens von Darma entwickelten Sensoren sind in der Lage, den Herzschlag, die Atmung und die Haltung des Anwenders über das Sitzpolster zu ermitteln. Je nach Haltung oder Haltungskonstanz schlägt die App Pausen und Übungen zur Entlastung des aktiven und passiven Bewegungsapparats vor (Darma 2016).

Die Haltungserkennung mittels Sensoren, welche auf Belastung reagieren und auf der Sitzfläche des Bürostuhls angebracht sind, hat verschiedene Vorteile. Auf der einen Seite muss die Hardware nicht am Körper getragen werden, weshalb sich die Technik gut in den Arbeitsablauf integrieren lässt. Auf der anderen Seite ermöglichen die Drucksensoren einen relativ flachen Aufbau, welcher den Sitzkomfort nicht beeinträchtigt.

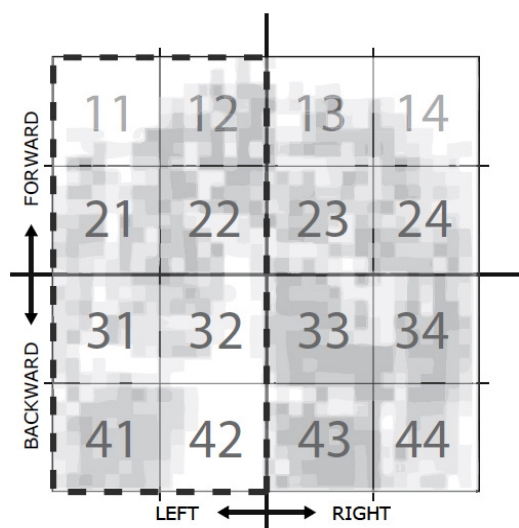


Abb. 15: Abdruck des Fahrers auf einer Rastermatte bestehend aus 32 x 32 Drucksensoren.

Darüber hinaus muss für die Datenerhebung lediglich der Widerstand der einzelnen Druckflächen gemessen werden. Folglich ist es möglich die Daten in Echtzeit auszulesen, wodurch sich die Hardware ebenfalls für Spieleanwendungen nutzen ließe. Ein Nachteil ist allerdings, dass es gerade bei der Verwendung von einem größeren Raster vermutlich schwierig ist, die erzeugten Daten auszuwerten. Darüber hinaus ist die Haltungserkennung lediglich über die aufgebrauchte Druckverteilung des Sitzenden wahrscheinlich nicht so genau wie bei anderen Verfahren.

3.3.4 Auswertung der Umsetzungsmöglichkeiten

Kameras mit Tiefensensor können bei der Datenerhebung je nach Umfang sehr präzise Messwerte liefern und wären vermutlich dazu in der Lage, eine Wirbelsäulenkrümmung relativ genau abzubilden, welche bei der Vermeidung von Fehlhaltungen eine entscheidende Rolle spielt. Die Verwendung von Sensorkameras scheint in einer Büroumgebung und beim Arbeitsalltag auf Grund von Platzmangel allerdings wenig praktikabel zu sein. Es ist vermutlich nicht jedem Nutzer möglich, den Sensor an der idealen Position aufzustellen, wodurch die Qualität des Systems von Anwender zu Anwender schwanken könnte oder ein Einsatz gar nicht erst möglich wäre.

Tragbare Sensoren sind im Gegensatz zu den statischen Kameras sehr flexibel. Darüber hinaus sind sie dazu in der Lage, Daten in Echtzeit zu übertragen. Dementsprechend könnten sie zur spielerischen Verbesserung der Haltung im Sitzen verwendet werden. Deren Einsatz hat jedoch den Nachteil, dass der Träger, insbesondere bei der Verwendung mehrerer Sensoren, in seiner durchzuführenden Tätigkeit beeinträchtigt werden kann. Des Weiteren ist es vermutlich nicht in jeder Arbeitsumgebung möglich, die Sensoren unter der Kleidung zu verbergen. Ebenso kann das ständige An- und Ablegen der Sensoren auf Dauer als störend empfunden werden.

Im Gegensatz dazu hat die Nutzung eines Bürostuhls, in Kombination mit zwei Drucksensor-Matrizen, verschiedene Vorteile bezüglich der Haltungserkennung. Die Sensoren sind sehr flexibel, sodass sie sich jedem Stuhl bzw. Sitzpolster anpassen können und somit für die meisten Sitzgelegenheiten verwendbar sind. Darüber hinaus sind sie sehr leicht und demzufolge bei Anwendertests an verschiedenen Orten gut einsetzbar. Ein weiterer Vorteil der Drucksensoren ist, dass sie nahezu keine Gewichtsbeschränkung besitzen, sodass sie für diverse Tester genutzt werden können. Da die Sensoren auf dem Stuhl befestigt werden, wird der Anwender in seiner Arbeit nicht behindert und muss das System nicht wie bei tragbaren Sensoren täglich neu anlegen bzw. einrichten. Des Weiteren sind Drucksensoren relativ kostengünstig, weshalb sie sich gerade für eine prototypische Umsetzung und zur Überprüfung der Zielsetzung eignen. Darüber hinaus ist der Bürostuhl in vielen Fällen im Büroalltag unverzichtbar und besitzt einen großen Einfluss auf die Sitzhaltung. Daher ist es sinnvoll, diesen auch bei der Datenerhebung bezüglich der Körperhaltung sowie einer Umsetzung von Haltungsübungen mit einzubeziehen.

Auf Grund der genannten Vorteile der Verwendung von Drucksensor-Matrizen sowie den dargestellten Anforderungen an das Eingabegerät, wurde diese Art der Umsetzung für einen ersten Versuchsdurchlauf ausgewählt.

3.4 Realisierung des Eingabegeräts

Der folgende Abschnitt behandelt die rein technische Entwicklung des Eingabegeräts zur spielerischen Verbesserung der Körperhaltung. In einem ersten Schritt werden zunächst verschiedene elektronische Bestandteile vorgestellt, welche bei der Realisierung verwendet wurden. Deren Erläuterung erleichtert die weiteren Ausführungen bezüglich der Entwicklung des Systems. Im Anschluss an die Darstellung der einzelnen Komponenten erfolgt die Beschreibung eines ersten Lösungsansatzes zur technischen Umsetzung der Hardware. Den Abschluss stellt daraufhin die finale Realisierung des Eingabegeräts dar.

3.4.1 Verwendete Bestandteile des Eingabegeräts

In dem vorangegangenen Abschnitt bezüglich der verschiedenen Umsetzungsmöglichkeiten der Hardware wurde bereits auf mehrere elektronische Komponenten eingegangen, welche unter anderem zur Haltungserkennung eingesetzt werden können. Um die technische Umsetzung des Eingabegeräts besser nachvollziehen zu können, erfolgt an dieser Stelle zunächst eine genauere Beschreibung von elektronischen Bestandteilen, welche bei der Realisierung der Hardware verwendet wurden.

3.4.1.1 Arduino UNO

Der Arduino UNO Microcontroller (i.F. auch Arduino) ist eine Art Minicomputer, welcher über USB an einen Computer angeschlossen werden kann (Abb. 16). Er wird bei der

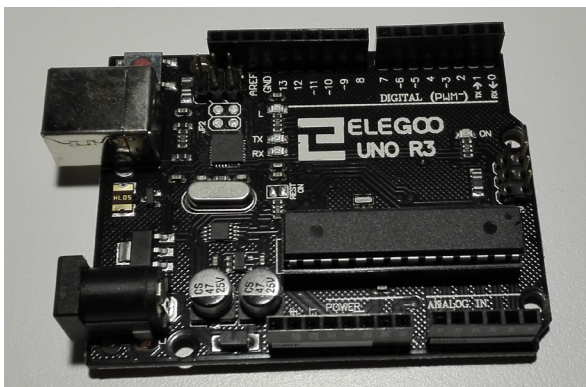


Abb. 16: Nachbau eines Arduino UNO Microcontrollers von ELEGOO

Herstellung des Eingabegeräts als eine Art Schaltzentrale verwendet, in welcher sämtliche Daten aus den verschiedenen Sensoren zusammengetragen werden. Der Arduino wird mit einer Spannung von 5 V versorgt und kann sowohl Daten an den Computer übertragen als auch empfangen. Dies geschieht über 14 digitale sowie 6 analoge Ein- und Ausgänge (INPUT-, OUTPUT-Pins), mit welchen entweder Spannung an einen Sensor ange-

legt oder ausgelesen werden kann. Im Zusammenhang mit Arduino Microcontrollern ist hierbei häufig die Rede von HIGH und LOW. Bezogen auf die Spannungsübertragung (OUTPUT) bedeutet das, dass bei einem auf HIGH geschalteten Pin die maximal zur Verfügung stehende Spannung von 5 V übertragen wird. Ist der Pin wiederum auf LOW gesetzt, wird keine Spannung weitergegeben.

Die Stärke des Microcontrollers liegt im Zusammenhang mit dem zu realisierenden Eingabegerät darin, nicht nur Spannungen anzulegen, sondern ebenso eingehende Spannungen auszulesen. Wird bspw. ein Potenziometer (variabler Widerstand) über einen als OUTPUT deklarierten Pin mit Strom versorgt, kann ein weiterer analoger INPUT-Pin dazu verwendet werden, die vom Potenziometer weitergegebene Restspannung zu empfangen. Beim Lesen von analogen Pins, wird die eingehende Spannung in digitale Werte von 0 - 1023 umgewandelt. Dementsprechend kann die angelegte Spannung relativ genau angezeigt werden. Die digitalen Pins sind im Gegensatz zu den Analogen lediglich in der Lage ein digitales HIGH oder LOW auszulesen. Liegt die empfangene Spannung bei einem digitalen INPUT-Pin über 3 V, erkennt der Arduino diesen Pin als HIGH an. Sinkt die Spannung wiederum unter 1.5 V, liest der Arduino diesen Pin als LOW.

Ein großer Vorteil des Arduino ist, dass er mit relativ einfachen Codeanweisungen in der Programmiersprache C++ programmiert werden kann. Hierfür werden im Programmablauf zunächst verschiedene Parameter, wie bspw. die Übertragungsrate zum PC oder Timeouts der Pins (Wartezeit bis ein Lesevorgang abgeschlossen ist), festgelegt. Darüber hinaus können hier eigene Variablen wie Integer (ganze Zahlen), Floats (Kommazahlen) oder Strings (Zeichenketten) deklariert und Pins entweder auf das Empfangen oder die Ausgabe von Spannungen eingestellt werden (Arduino 2019). Das eigentliche Programm findet innerhalb der Loop-Funktion des Arduino statt. Diese wird nach der Verbindung mit dem PC oder dem Starten des Programms aus der Arduino-IDE (Entwicklungsumgebung) ausgeführt und kontinuierlich wiederholt. Wird bspw. ein Pin innerhalb der Loop mit einer Zeitverzögerung abwechselnd auf HIGH und LOW gestellt, kann eine LED im Interval der festgelegten Verzögerung (Delay) zum Blinken gebracht werden.

Ein Problem dabei ist, dass alle Anweisungen innerhalb der Loop nur nacheinander und nicht gleichzeitig ausgeführt werden können. Das gilt ebenso für Frameworks, welche innerhalb des Programms eingebunden werden. Wenn ein Lesevorgang bspw. eine gewisse mindest Zeit benötigt, um ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen, werden alle darauf folgenden Anweisungen zeitverzögert ausgeführt, wodurch die gesamte Loop verlangsamt wird.

3.4.1.2 MUX (Multiplexer)

Mittels eines Multiplexers ist es möglich, die verfügbare Pin-Anzahl des Aduinios zu erweitern und sowohl digitale als auch analoge Daten zu lesen und Spannungen auszugeben (Abb. 17). Der Arduino verfügt von vornherein bereits über 20 Ein- und Ausgänge. Allerdings werden für verschiedene Erweiterungsplatinen mehrere Pins auf einmal belegt, wodurch die Pin-Anzahl nicht für alle Anwendungen ausreichend ist. Ein Multiplexer verwendet je nach Art und Größe bis zu acht Pins des Aduinios und erweitert den Microcontroller dabei um bis zu 16 Pins. Möglich ist dies, indem die Erweiterungspins des MUX nicht gleichzeitig, sondern nacheinander (seriell) angesteuert werden, was auf Grund der hohen Geschwindigkeit des Aduinios für die meisten Anwendungen kein Problem darstellt (Cook 2015, S. 106 - 109).

Um den Vorgang zu demonstrieren dient folgendes Beispiel (Abb. 18). Der MUX ist über vier Ansteuerungspins mit dem Arduino verbunden. Werden die vier Pins auf [HIGH, LOW, LOW, LOW] geschaltet, kann der erste Erweiterungspin (C1) des MUX gelesen oder mit Spannung versorgt werden. Ist nur der zweite Ansteuerungspin auf HIGH geschaltet, wird der zweite MUX-Pin (C2) angesteuert. Auf diese Weise können 16 Binärkombinationen an den MUX übermittelt werden, wodurch sich alle Pins des Multiplexers erfassen lassen. Das Auslesen und Anlegen von Spannungen geschieht dabei über den Signal-Pin der Platine. Wird der wie eben beschriebene Prozess innerhalb der Loop-Funktion des Programms über eine For-Schleife durchlaufen, erfolgt die Ansteuerung aller Erweiterungspins automatisch hintereinander. Werden bspw. 16 LEDs an den Multiplexer angeschlossen, sorgt das hohe Pulstempo des Aduinios

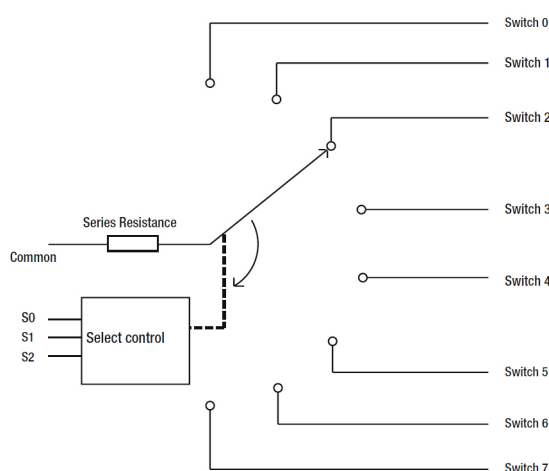


Abb. 17: Vereinfachtes Schaltbild eines Multiplexers für die serielle Ansteuerung von acht zusätzlichen Pins

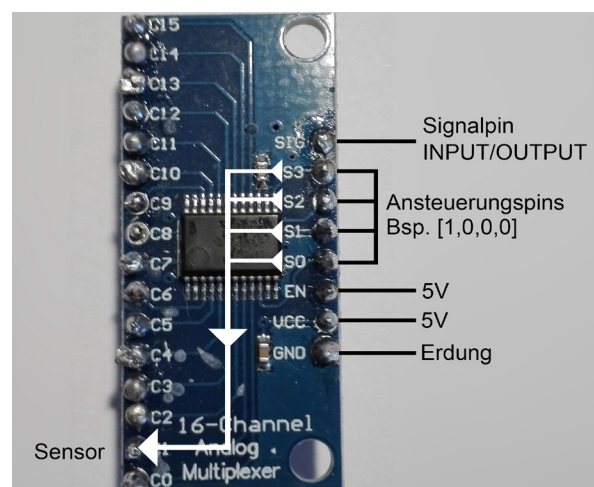


Abb. 18: Beispiel zur Ansteuerung des ersten Kanals (C1) eines 16-Channel-Multiplexers

dafür, dass es den Anschein hat, als würden alle LEDs gleichzeitig leuchten, obwohl sie lediglich nacheinander an und aus geschaltet werden. Der soeben beschriebene Ablauf dient lediglich der Veranschaulichung des MUX-Prozesses. Die eigentliche Implementierung ist für verschiedene Anwendungen wesentlich komplexer, da hierbei mehrere Schleifen ineinander verschachtelt werden müssen, um die Daten gezielt auslesen zu können.

3.4.1.3 MPU-6050 (Gyroskop)

Der MPU-6050 Chip (i.F. MPU) ist ein Bewegungssensor, welcher Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten in drei Dimensionen messen kann (Ziemann 2018, S. 34). Mittels eines Frameworks ist es möglich, die Winkelgeschwindigkeiten in konkrete Winkelangaben umzuwandeln, sodass Drehungen des Chips als Gradangaben mit dem Arduino gelesen werden können. Die Ansteuerung des in Abbildung 19 gezeigten Gyroskops erfolgt über die I2C-Verbindung (Inter-Integrated Circuit) des Arduino Boards. Hierbei werden zwei spezielle Pins, die SCL (Serial Clock Line) und SDA (Serial Data Line) benötigt, welche die Kommunikation zwischen dem Arduino und dem MPU mittels

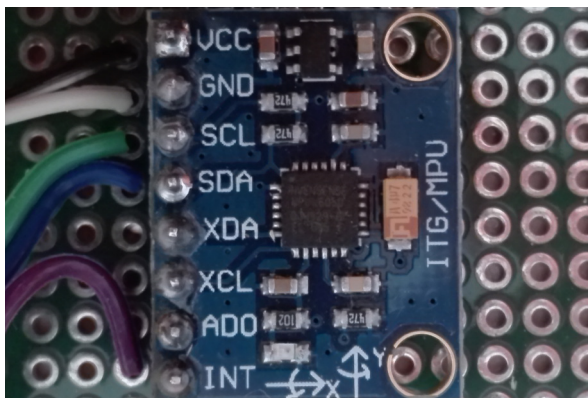


Abb. 19: Anschluss des MPU-6050 über I2C mit Hilfe des SCL- und SDA-Pins

einer Bibliothek ermöglichen. Da die analogen Pins A4 und A5 bei der Verwendung von I2C ebenfalls als Clock- und Dataline fungieren, können an diesen analogen Pins keine Daten von anderen Sensoren ausgelesen werden, was die Anzahl der verfügbaren Pins am Arduino minimiert (Margolis 2012, S. 421 f.). Zusätzlich muss das Gyroskop mit einer 5 V Versorgungsspannung (VCC) sowie mit der Erdung (GND) des Arduinos verbunden werden.

3.4.1.4 Load Cell (Wägezelle)

Eine Load Cell oder auch Wägezelle ist ein Kraft- bzw. Drucksensor zur Messung von Gewichten. Sie besteht meist aus einem speziell geformten metallenen Federkern, an welchem mehrere Dehnungsmessstreifen (Strain Gauges) befestigt sind. Dehnungsmessstreifen sind Draht- oder Filmwiderstände, die auf einem dünnen, flexiblen Trä-

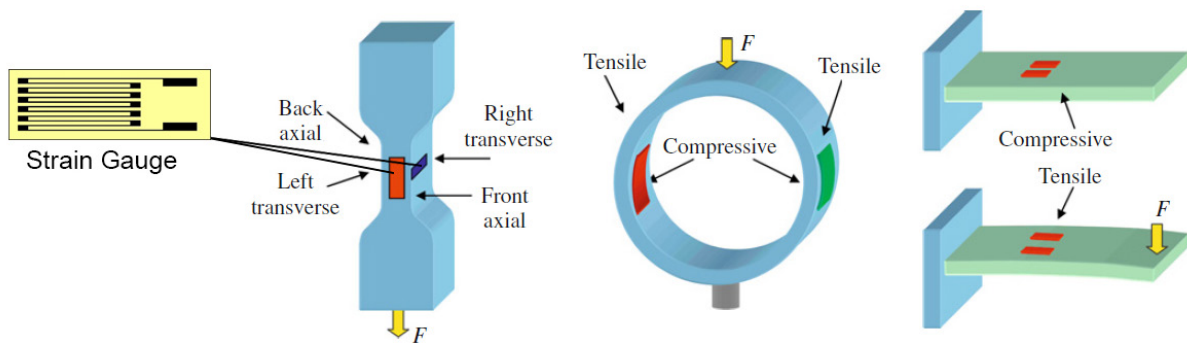


Abb. 20: Verschiedene Arten von Wägezellen mit unterschiedlicher Anordnung von Dehnungsmessstreifen.

germaterial aufgebracht sind. Sie dienen der Messung von Kraft und Drehmoment in einem mechatronischen Aufbau. Auf einer Load Cell sind meist mehrere Strain Gauges befestigt. Während einer der Filmsensoren die Druckkraft misst, welche auf das Metallelement ausgeübt wird, berechnet der Andere die gegensätzliche Zugkraft. Durch die Verwendung mehrerer Dehnungsmessstreifen können Temperaturunterschiede oder Messungenauigkeiten ausgeglichen und die empfangenen Werte stabilisiert werden. Je nach Anwendung können verschiedene Arten von Wägezellen oder Dehnungsmessstreifen zum Einsatz kommen (Abb. 20). Dabei ist ihre Konfiguration oder Größe abhängig von der erforderlichen Genauigkeit der Messung oder dem zur Verfügung stehenden Platz innerhalb der Konstruktion (Regtien 2012, S. 73 f.).

Um eine Wägezelle am Arduino verwenden zu können, wird ein Verstärkermodul wie der HX711 benötigt. Der HX711 ist ein Analog- zu Digital-Wandler (i.F. A/D-Wandler) und verstärkt das elektrische Signal der Wägezelle (Abb. 21). Während die Load Cell typischerweise ein Signal von wenigen Millivolt ausgibt, kann das HX711 Modul dieses



Abb. 21: Abbildung eines HX711-Moduls mit den entsprechenden Pins zum Lesen von Gewichtsdaten

schwache Signal auf mehrere Volt anheben, sodass es problemlos vom Arduino UNO gelesen werden kann. Die Steuerung des HX711 erfolgt bei dem Anschluss an den Arduino über den SCK (Clock) Pin. Dieser pulsiert in einer bestimmten Frequenz zwisch LOW und HIGH, um die Datenübertragung von einzelnen Sensoren zu synchronisieren. Das Auslesen der Daten wiederum geschieht über den Data-Pin des HX711 (Avia 2012, S. 1 - 4).

3.4.1.5 FSR (Force Sensitive Resistor)

FSR-Sensoren sind kraftempfindliche Widerstände, bei welchen der Widerstand mit zunehmendem Druck auf den Sensor geringer wird. Es ist möglich solche Sensoren relativ kostengünstig selbst herzustellen, was wiederum verschiedene Vorteile in Bezug auf den zu realisierenden Prototypen hat.

Der Grundaufbau für die FSR-Sensoren, welche innerhalb des Versuchsaufbaus verwendet wurden, besteht aus zwei Streifen Kupferfolie, die durch eine Schicht aus Velostat voneinander getrennt sind. Velostat ist eine Folie aus Polyolefin, welche mit Kohlenstoff imprägniert ist und dadurch leitfähig wird (Guler et al. 2016, S. 77).

Wird eines der Kupferstücke mit Spannung versorgt und das Andere an die Erdung des Arduinos sowie an einen analogen Input-Pin angeschlossen, kann der Widerstand des Velostats gemessen werden. Wird anschließend Druck auf die drei Schichten ausgeübt, verringert sich der Widerstand des Velostats, wodurch mehr Spannung durch den Schaltkreis fließen kann (Abb. 22 und Abb. 23). Um hierbei Kurzschlüsse zu vermeiden und den Messumfang des Sensors zu verändern, können Vorwiderstände in verschiedenen Größen verwendet werden.

Der Eigenbau hat neben dem günstigeren Preis im Vergleich zu fertig montierten FSR-Sensoren den Vorteil, dass die Sensorgrößen an das jeweilige Projekt angepasst werden können. Darüber hinaus sind sie sehr biegsam, wodurch sich die Sensoren ebenfalls für tragbare Anwendungen eignen. Ein Problem bei FSR-Sensoren ist, dass ihr Widerstand nicht linear abnimmt. Je höher der Druck ist, welcher auf das

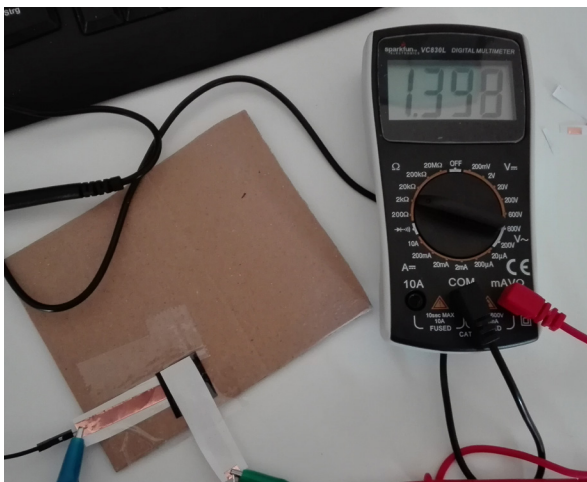


Abb. 22: Messung eines eigenen FSR-Sensors aus Kupfer und Velostat ohne aufliegendes Gewicht. Der Widerstand beträgt 1.398 Kiloohm [kΩ]

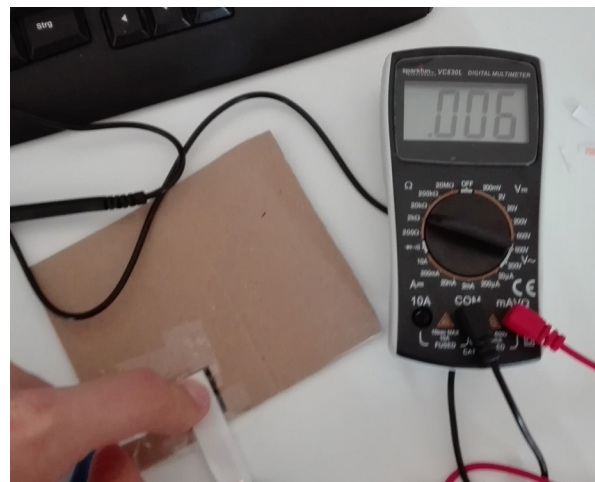


Abb. 23: Messung eines eigenen FSR-Sensors mit Druck auf den Sensor. Der Widerstand hat sich auf 0.006 Kiloohm [kΩ] verringert

Velostat ausgeübt wird, desto geringer werden die Messunterschiede zwischen den Druckveränderungen. Zu sehen ist diese Eigenschaft in Abbildung 24. Dadurch ist es mit dieser Art Sensor nicht möglich von dem ausgelesenen Widerstand direkt auf den ausgeübten Druck zu schließen (Regtien 2012, S. 80). Folglich können diese Sensoren eher dafür verwendet werden festzustellen, ob Kraft auf einen bestimmten Punkt ausgeübt wird oder nicht.

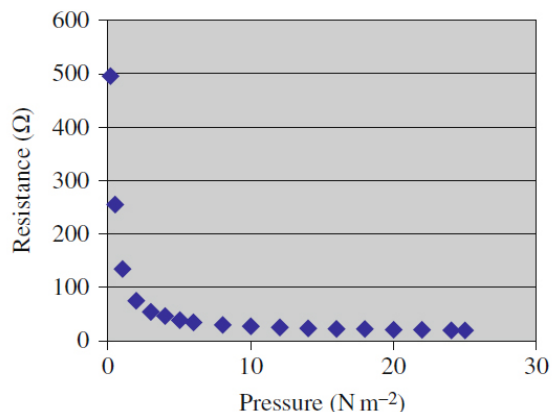


Abb. 24: Nicht linear abnehmender Widerstand bei linear ansteigendem Druck auf einen FSR-Sensor

3.4.2 Ein erster Ansatz - Die FSR-Matrix

Anhand der Auswertung der Umsetzungsmöglichkeiten bestand ein erster Versuch der Realisierung des Eingabegeräts aus der Herstellung von zwei Rastermatten aus FSR-Sensoren. Die beiden Matten sollten sowohl auf der Sitzfläche als auch an der Rückenlehne eines Stuhls befestigt werden und mittels der Drucksensoren die Position bzw. Haltung des Anwenders ermitteln. Zur Veranschaulichung des Herstellungsprozesses kann die Bauweise einer LED-Matrix verwendet werden (Abb. 25).

Wie in dem Schaltplan der Abbildung zu sehen ist, werden hierfür alle Anoden der LEDs einer Zeile mit einander verbunden. Gleiches gilt für alle die Kathoden einer Spalte. Wird wie in Abbildung 25 gezeigt im Programmablauf des Arduinos Pin 7 auf HIGH gesetzt und Analog Pin 3 als LOW angegeben, kann der Strom zwischen dieser Verbindung fließen, wodurch die entsprechende LED im Raster (blau) leuchtet. Werden alle Zeilen-Pins auf LOW gesetzt, würden bei diesem Aufbau alle LEDs der Spalte an Pin 7 leuchten. Durch diesen Raster-Aufbau, ist es möglich über eine zeilenweise Adressie-

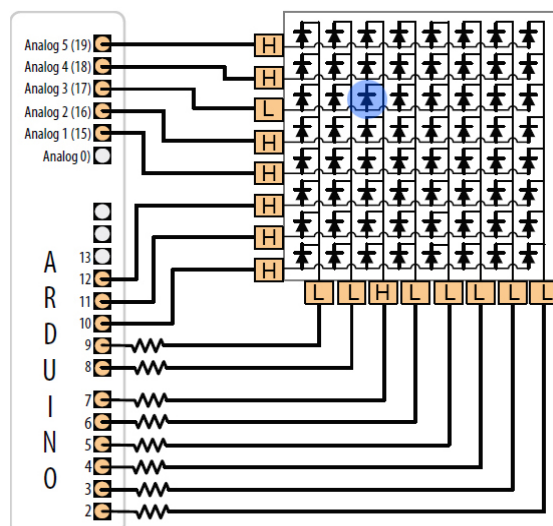


Abb. 25: Schaltplan einer LED Matrix bestehend aus 8 x 8 LEDs mit direkter Steuerung am Arduino ohne Multiplexing

rung der Pins wesentlich mehr LEDs am Arduino anzuschließen als Pins auf dem Microcontroller zur Verfügung stehen.

Das soeben in Kürze beschriebene System lässt sich ebenfalls auf eine Matrix aus FSR-Sensoren anwenden. Hierzu wurde zunächst ein Zeilen- und Spaltenraster aus Kupferfolie auf ein Trägermaterial aufgetragen. Zwischen den einzelnen Verbindungspunkten des Rasters wurden anschließend Abschnitte aus Velsotat befestigt, um die Zeilen von den Spalten an ihren Kreuzpunkten zu isolieren. Um etwaige Kurzschlüsse zu verhindern, wurden an den Zeilen Widerstände von 220 Ohm auf einem Breadboard (Steckbrett) zwischengesteckt (Abb. 26). Da der Arduino nur über sechs analoge Pins zum Lesen der FSR-Daten verfügt, kann auf diese Weise lediglich eine 6 x 6 Matrix aufgebaut werden.

Die Auflösung des Rasters zur Positionsermittlung schien hierbei zu gering. Aus diesem Grund wurden weitere Versuche mit Hilfe von Multiplexing umgesetzt. Dementsprechend erfolgte zunächst eine testweise Realisierung einer 6 x 6 Matrix mit Hilfe von zwei Multiplexern (Abb. 27). Die Adressierung erfolgt dabei über eine geschachtelte For-Schleife. In dieser wird zuerst ein Pin des ersten MUX (eine Spalte) auf HIGH gesetzt. Anschließend werden in einer inneren For-Schleife alle Pins des zweiten MUX nacheinander von HIGH auf LOW geschaltet, anschließend gelesen und wieder auf HIGH zurück gesetzt. Die beiden geschachtelten For-Schleifen werden so schnell nacheinander ausgeführt, dass beim Auslesen der analogen Daten keine Zeitverzögerungen festgestellt werden können.

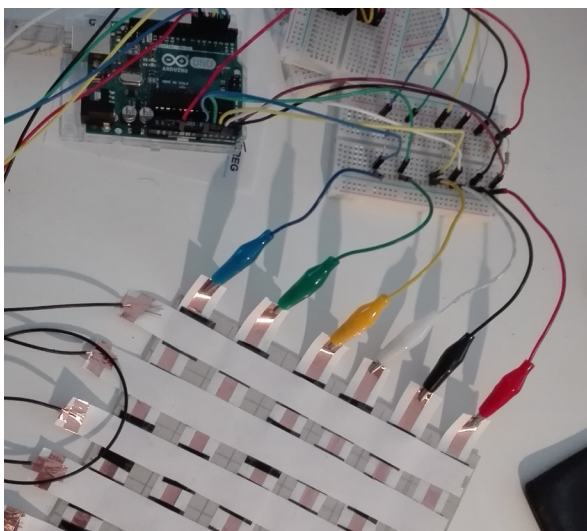


Abb. 26: Test einer 6 x 6 Matrix aus FSR Sensoren, welche über mehrere Widerstände am Arduino angeschlossen sind

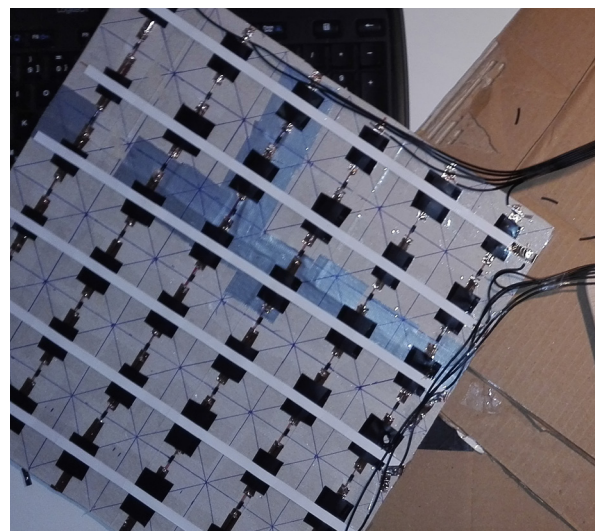


Abb. 27: Größerer Aufbau eines FSR-Rasters mit zwei Multiplexern und Widerständen zwischen den einzelnen Sensoren, um Ghosting-Effekte zu vermeiden

Die Idee hinter der FSR-Matrix bestand darin, eine Art Bibliothek zu erstellen, welche diverse FSR-Matrizen-Konfigurationen basierend auf unterschiedlichen Haltungen einer sitzenden Person beinhaltet. Ein Programm sollte anschließend den aktuellen Stand der Matrix (einzelne Werte der Sensoren) auslesen und mit vorgegebenen Konfigurationen aus der Bibliothek vergleichen, um die Haltung zu bestimmen.

Da die Überprüfung dieses Ansatzes sehr zeitaufwändig gewesen wäre, wurde zunächst versucht den Schwerpunkt eines Objekts auf dem Raster zu ermitteln. Dies war mathematisch zwar möglich, allerdings kam es bei der Verwendung von mehreren Gegenständen auf der Matrix zu sogenannten „Ghosting-Effekten“. Dabei werden erhöhte Spannungen an Sensoren gemessen, auf welchen kein Gewicht aufliegt. Dem konnte durch die Verwendung von Zwischenwiderständen an jedem Sensor teilweise entgegen gewirkt werden. Allerdings hatte die relativ große Fläche der Matrix einen Spannungsabfall zur Folge, weshalb die ausgelesenen Werte mit zunehmender Belastung mehrerer Sensoren kleiner wurden. Auf diese Weise war es zwar möglich den Schwerpunkt eines Gewichtes zu ermitteln, allerdings war diese Berechnung auf Grund der genannten Schwierigkeiten zu ungenau, um eine Aussage über die Position einer sitzenden Person auf der Matrix zu treffen. Des Weiteren kann durch die FSR-Sensoren kein Gewicht ermittelt werden. Dementsprechend liefert ein nur gering belasteter Sensor die gleichen Werte wie ein stark komprimierter Sensor, wodurch es nicht möglich ist, über das verteilte Gewicht exakt auf den Schwerpunkt einer Person zu schließen. Darüber hinaus werden für eine größere Matrix sehr viele Kabel benötigt, um die einzelnen Zeilen und Spalten anzusteuern. Dadurch wird der Aufbau zunehmend unhandlicher und komplexer. Sobald nur eine Verbindungsstelle fehlerhaft ist, kann dies dazu führen, dass eine ganze Zeile entfällt. Dadurch ist es nicht weiter möglich, den Schwerpunkt der sitzenden Person zu ermitteln.

3.4.3 Finale Umsetzung des Eingabegeräts

Nachdem der erste Versuch die Haltung mittels einer FSR-Matrix zu analysieren nicht zu dem gewünschten Ergebnis geführt hat, musste ein System entwickelt werden, mit welchem sich der Schwerpunkt des Anwenders eindeutiger und zuverlässiger ermitteln lässt. Anhand des Schwerpunkts kann zwar keine genaue Aussage darüber getroffen werden, in welcher Körperhaltung sich die Person befindet. Dennoch ist es über den Massenmittelpunkt möglich, die Richtung zu bestimmen, in welche eine Person gelehnt ist. Folglich stellt die Schwerpunktermittlung einen guten Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen und technischen Umsetzungen dar.

Für die Ermittlung des Schwerpunkts einer sitzenden Person diente bei der finalen Realisierung die Funktionsweise des Nintendo Wii Balance Boards (i.F. auch Balance Board) als Vorlage. Das Balance Board ist eine Art Game Controller, welcher für verschiedene Arten von Spielen an der Wii-Konsole verwendet werden kann. Es besteht aus einer rechteckigen Plastikhülle, an deren Standfüßen im inneren jeweils eine Wägezelle angebracht ist (Abb. 28). Durch das Aufbringen von Kräften auf die vier Load Cells, ist es möglich den Schwerpunkt eines Spielers zu ermitteln, welcher auf dem Balance Board steht (Jones / Thiruvathukal 2012, S. 82). Lehnt sich die Person in Richtung einer Ecke bzw. Wägezelle, steigt der Druck auf den entsprechenden Sensor wohingegen die Belastung auf die übrigen drei Wägezellen reduziert wird. Werden alle vier Sensoren ausgelesen, kann über die Gewichtsverteilung festgestellt werden, wo der Massepunkt des Spielers auf dem Balance Board liegt. Mittels der Veränderung des Schwerpunkts lassen sich diverse Arten von Spielen realisieren, welche den gesamten Körper zur Steuerung verwenden. Neben den von Nintendo entwickelten Spielen im Bereich Gesundheit und Fitness wird das Balance Board ebenfalls für die Durchführung von Übungen zur Rehabilitation verwendet. Ein Beispiel für den Einsatz in der Rehabilitation ist das eBaViR-System (Easy Balance Virtual Rehabilitation System). Hierfür wurde eine spezielle Software entwickelt, welche in Kombination mit dem Balance Board für die Behandlung von Gleichgewichtsstörungen verwendet wird. Ein großer Vorteil des Systems ist die Aufzeichnung der Trainingsdaten, mit welchen es möglich ist das Training gezielt auf den Patienten anzupassen (Kamal 2011, S. 426).

Auf dieser Grundlage entstand die Annahme, dass sich ein solches System ebenfalls für die Haltungskontrolle mittels eines Bürostuhls verwenden lässt. Ein erster Schritt bestand zunächst darin, zu ermitteln, ob es möglich ist, vier Wägezellen unter der



Abb. 28: Nintendo Wii Balance Board: Unterseite mit vier Standfüßen, an welchen jeweils eine Wägezelle montiert ist

Sitzfläche eines Bürostuhls anzubringen, ohne dass das Sitzverhalten dadurch beeinträchtigt wird. Für den Prototypen stand für die Montage der Wägezellen eine Fläche von 25 x 25 cm zur Verfügung. Wie in Abbildung 29 zu sehen ist, sind bei dem verwendeten Bürostuhl die Sitzfläche und Stuhlbeine mittels vier Schrauben mit einander verbunden. Dieser Zwischenraum lässt sich für das Anbringen der Sensoren nutzen, da sich das Gewicht des Anwenders über die Sitzfläche auf diese Befesti-

gung konzentriert. Um vier Wägezellen in die Aufhängung zu integrieren, wurden zwei Holzplatten angefertigt. Zwischen diesen mussten sowohl die Load Cells als auch die gesamte Elektronik Platz finden, um das System möglichst mobil zu gestalten. Da eine Konstruktion aus Stahl laut Anfrage bei verschiedenen Fachhändlern relativ teuer gewesen wäre, stellte Holz trotz einer höheren Tiefe gegenüber einer Stahlplatte die beste Wahl für die Konstruktion dar. Darüber hinaus konnte durch die Verwendung von Holz Gewicht gespart werden, was bei der relativ geringen Traglast der Zellen von Vorteil ist.

Der nächste Schritt bestand darin, die richtigen Wägezellen für die Konstruktion auszusuchen. Je größer die Wägezelle ist, desto mehr Last kann in der Regel auf sie aufgebracht werden. Allerdings wird mit zunehmender Tragkraft mehr Spannung benötigt, um die Load Cell zu betreiben. Letztendlich wurden für den Versuchsaufbau Wägezellen ausgesucht, welche bis zu 50 kg messen können und eine Tragkraft von bis zu 75 kg besitzen. Sie können dabei im Gegensatz zu größeren Modellen noch mit der 5 V Ausgangsspannung vom Arduino betrieben werden. Für weitere Versuche wäre es notwendig, Wägezellen mit einer höheren Tragkraft zu verwenden, da es bei der Beanspruchung durch das Lehnen zur Seite das volle Oberkörpergewicht auf einer Wägezelle lasten kann.

Zur Veranschaulichung der Grundkonstruktion mit den vier Wägezellen dient Abbildung 30. Die Montage am Stuhl wird durch vier grüne Stifte in der Abbildung verdeutlicht. Um den Druck auf die Zellen gering zu halten, wurden sie möglichst nah am Rand der Holzflächen angebracht. Da die Datenmessung über die Verbiegung des Metallkörpers der Wägezelle erfolgt, müssen diese in einer Art Schwebelage angebracht werden. Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, wird jeweils eine Seite der Zelle mittels

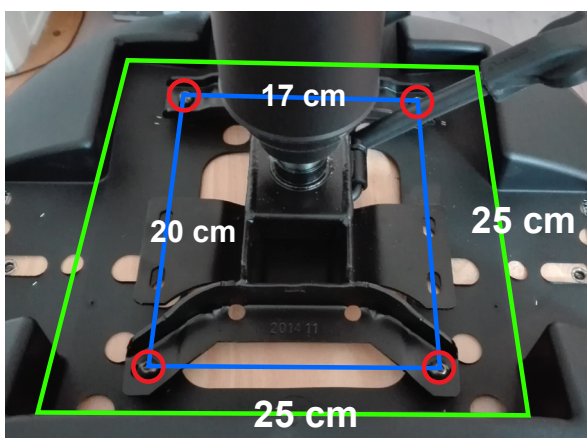


Abb. 29: Maße der Aufhängung zwischen der Sitzfläche und den Füßen des verwendeten Bürostuhls

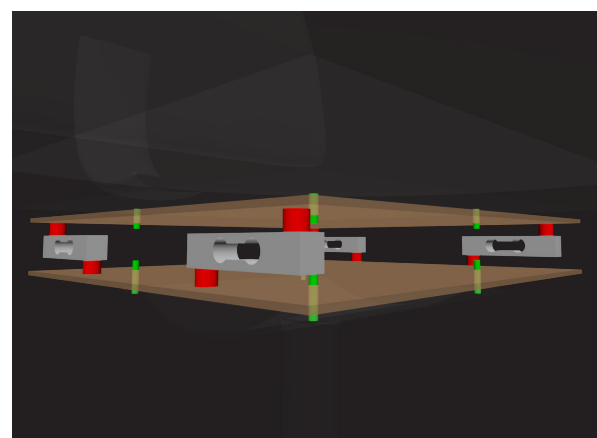


Abb. 30: 3D-Abbildung der Montage von vier Wägezellen zwischen Sitzfläche und Unterkonstruktion des Bürostuhls

Abstandsringen an der Holzfläche befestigt, wohingegen die gegenüberliegende Seite frei schwebt. Dadurch wird die Load Cell bei Auflage von Gewicht leicht gebogen, wodurch eine entsprechende Widerstandsveränderung entsteht. Um die Load Cells vor einer Überbelastung zu schützen, sind sie mittels eines Gummiringes abgefedert. Dieser verhindert, dass eine zu große Last auf die Wägezelle aufgetragen wird, wodurch die Apparatur beschädigt werden könnte.

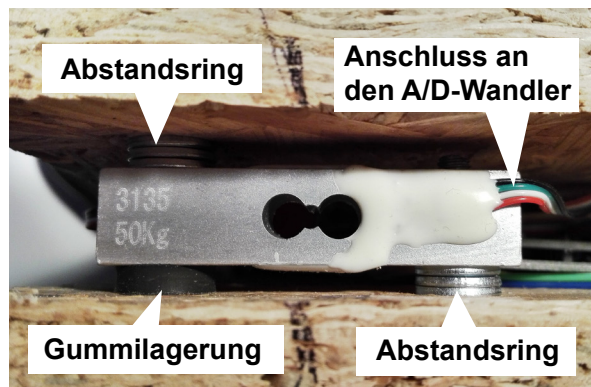


Abb. 31: Nahaufnahme einer Load Cell im Inneren des Eingabegeräts

Da die Elektronik zwischen den beiden Auflageflächen montiert ist, könnte das Brechen einer der Zellen dazu führen, dass weitere Hardware im Inneren des Eingabegeräts beschädigt würde.

Abbildung 32 zeigt den gesamten Innenaufbau des finalen Eingabegeräts und dient in den weiteren Ausführungen als eine Übersicht über die Montage und den Aufbau der verwendeten Sensorki.

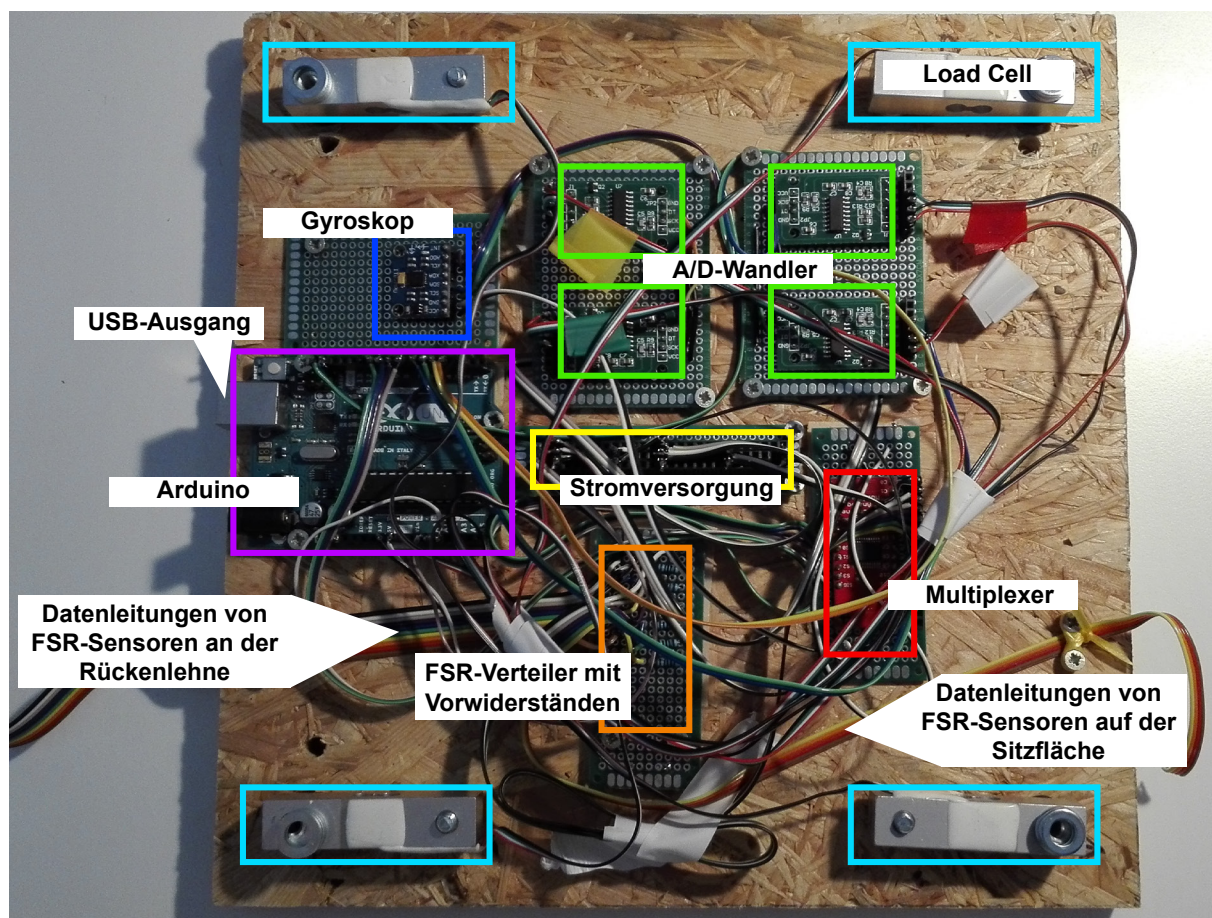


Abb. 32: Elektronischer Aufbau des finalen Eingabegeräts

Nachdem die Überlegungen bezüglich des Grundaufbaus abgeschlossen waren, wurden alle Load Cells jeweils mit einem A/D-Wandler verlötet und einzeln auf ihre Funktionalität überprüft (Abb. 32 grün). Anhand der zwischen den Wägezellen zur Verfügung stehenden Fläche, konnte anschließend die Montage von zusätzlichen Sensoren eingeplant werden. Als Erstes erfolgte dabei die Installation des Arduino am äußeren Rand der unteren Holzfläche, um einen Anschluss an einem Computer über USB zu ermöglichen (Abb. 32 lila). Es wäre ebenso denkbar gewesen, den elektronischen Aufbau mittels kabelloser Datenübertragung zu realisieren. Allerdings wurde auf Grund eines größeren Aufwands bei der Verkabelung und Programmierung auf eine drahtlose Verbindung verzichtet.

Da die Rotatores der Rückenmuskulatur eine große Rolle bei der Stabilisierung der Haltung spielen, entstand die Idee, die Drehung des Stuhls für das Entwickeln von Haltungsübungen mit einzubeziehen. Demzufolge wurde in einem nächsten Schritt ein Gyroskop innerhalb des Aufbaus montiert und an den Arduino angeschlossen (Abb. 32 blau). Der Lagesensor trägt zwar nicht zur Haltungsermittlung bzw. zur Überwachung der Haltung bei, allerdings lassen sich hiermit Übungen und Spiele entwickeln, welche gezielt die Rotatores ansprechen können, indem die Drehung der Hüfte zur Steuerung eingesetzt wird. Die Kommunikation zwischen dem Gyroskop und dem Arduino herzustellen ist im Vergleich zu den anderen Sensoren relativ leicht zu realisieren, da keine zusätzlichen Komponenten benötigt werden.

In einem letzten Schritt erfolgte die Integration von verschiedenen Drucksensoren. Hierfür wurden eigene FSR-Sensoren hergestellt, welche sowohl an der Rückenlehne als auch auf der Sitzfläche des Bürostuhls befestigt werden sollten. Die Sensoren bestehen aus jeweils zwei Rastern aus Kupferfolie, welche durch eine Schicht aus Velo-

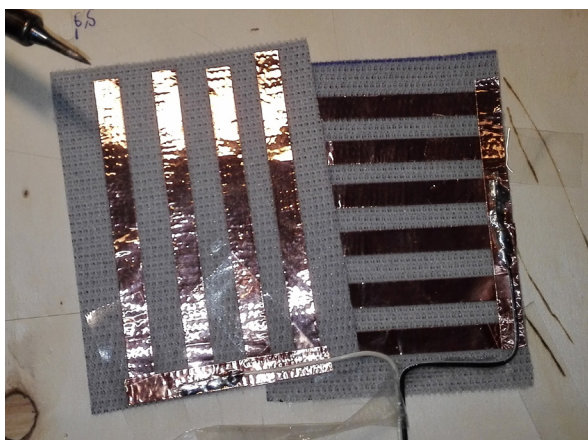


Abb. 33: Innenansicht eines verwendeten Drucksensors ohne Velostatschicht zwischen den Kupferbändern

stat voneinander getrennt sind (Abb. 33). Da sich die Sensoren dem Stuhl anpassen müssen, wurde für deren Hülle ein flexibles Kunstleder gewählt. Für die Befestigung kommen dabei Klettverschlüsse zum Einsatz, welche auch ohne Klebevorrichtung an dem verwendeten Bürostuhl befestigt werden können. Da die Rückenlehne anhand der Ausführungen bezüglich der richtigen Haltung im Sitzen dazu beitragen soll, eine physiologische Sitzhaltung aufrechtzuerhalten, bestand die Überlegung, diese ebenfalls für das Er-

kennen einer richtigen Haltung zu verwenden. Dafür ist es notwendig zu ermitteln, ob und an welchen Punkten eine sitzende Person die Rückenlehne berührt. Dementsprechend wurden zunächst fünf FSR-Sensoren an der Rückenlehne angebracht (Abb. 34). Mittels des linken und rechten Sensors sollte eine Verdrehung des Oberkörpers an der Lehne festzustellen sein. Darüber hinaus wurden zwei FSR-Sensoren auf der Sitzfläche angebracht, um zu erkennen, ob die Person ihre Beine überschlägt. Da die zusätzlichen Daten allerdings einen zu großen Aufwand bei der Analyse der Messwerte sowie der Programmierung dargestellt hätten, wurde die Verwendung der Drucksensoren auf drei FSR-Module in der Mitte der Rückenlehne reduziert (Abb. 34 grün). Mit diesen lässt sich bspw. feststellen, ob eine Wirbelsäulenkrümmung nach vorn besteht, wenn nur noch der untere der drei Sensoren berührt wird und der Schwerpunkt der Wägezellen im vorderen Bereich liegt.

Da für das Empfangen der FSR-Daten auf Grund des Anschlusses der vier A/D-Wandler und des Gyroskops nicht genügend Pins am Arduino zur Verfügung standen, wurde ein Multiplexer verwendet. Hiermit war es möglich die Pins des Arduinos zu erweitern und die benötigten Datenleitungen herzustellen (Abb. 32 rot). Vom Multiplexer ausgehend sind die Leitungen der FSR-Sensoren auf einer Verteilerplatine (Abb. 32

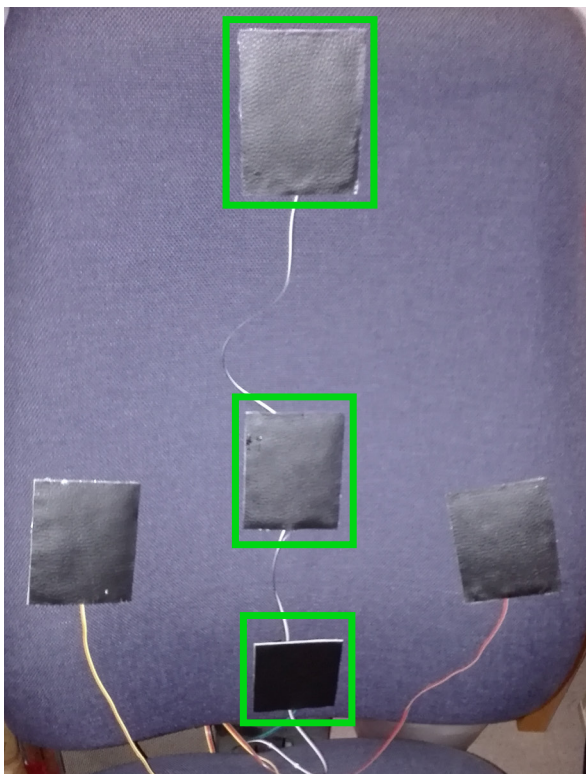


Abb. 34: Fünf FSR-Sensoren an der Rückenlehne zur Ermittlung der Körperstellung in einer angelehnten Haltung

orange) mit jeweils einem Vorwiderstand und der Erdung des Arduinos verbunden. Die Aufteilung über eine zusätzliche Lochplatine hat den Vorteil, dass einzelne Widerstände leicht zu ersetzen sind, ohne dass dafür die kompliziertere Multiplexerschaltung demontiert werden muss.

Auf Grund der zunehmenden Komplexität des Aufbaus und der Verwendung verschiedener Sensoren mit unterschiedlichen Eigenschaften, ist es notwendig, die einzelnen Elemente der Technik fortlaufend auf ihre Funktionalität zu testen. Allein durch die Wägezellen müssen 16 unterschiedliche Kabel zum Teil miteinander kombiniert aber auch getrennt voneinander behandelt werden. Da die verwendeten Sensoren meist mit verschiedenen Leitungen wie bspw. Strom, Erdung oder Datenleitungen verbunden sind, wird der

Aufbau mit der Integration mehrerer Sensoren zunehmend fehleranfälliger. Um die Elektronik möglichst übersichtlich zu halten, wurden in den meisten Fällen Flachbandkabel in verschiedenen Farben verwendet. Da bei diesen mehrere Leitungen direkt nebeneinander liegen, lassen sich die einzelnen Sensoren und Anschlüsse leichter zuordnen und platzsparend mit einander verbinden. Darüber hinaus wurde ein Verteiler für Spannung, Erdung und die Clock-Leitung der Wägezellen integriert (Abb. 32 gelb). Dadurch können die Sensoren separat mit Spannung versorgt werden, wodurch ein Austausch der einzelnen Elemente erleichtert wird. Zusätzlich wurden zusammengehörige Teile auf Lochplatinen kombiniert, um gesamte Bereiche des Aufbaus abkoppeln und überprüfen zu können. Zusammengenommen kommt der Prototyp mit Tragflächen und verbauter Elektronik auf eine Höhe von 5 cm. Da die Rückenlehne des Teststuhls höhenverstellbar ist, kann die erhöhte Sitzfläche ausgeglichen werden. Bei der Umsetzung der Elektronik kam es immer wieder zu Schwierigkeiten bezüglich des Datentransfers. Da sich die Verbindungsstellen einzelner Pins und Kontakte nicht berühren dürfen und die einzelnen Platinen sehr klein sind, war es notwendig sehr gewissenhaft zu arbeiten, damit die Daten vom Arduino gelesen werden können. Dementsprechend musste sehr kleinteilig vorgegangen und alle Verbindungen stetig auf ihre Funktionalität überprüft werden.

3.5 Realisierung der Software

Die Realisierung der Software setzt sich aus drei Abschnitten zusammen. Der erste Teil der weiteren Ausführungen behandelt zunächst die Programmierung des Arduino UNO mittels der Arduino Entwicklungsumgebung (Arduino-IDE). Hierin enthalten sind Ausführungen bezüglich der Vorgehensweise bei der Programmierung sowie verschiedener Schwierigkeiten, welche sich bei der Datenerfassung ergeben haben.

Der zweite Teil des Abschnitts befasst sich mit der Übertragung von Daten der Sensoren an die Unreal Engine 4 (i.F. UE4). Da die Übertragung eine besondere Hürde dargestellt hat, wird dieser Themenbereich gesondert behandelt.

Der letzte Teil beinhaltet die Programmierung der Anwendung für das Eingabegerät. Hierin enthalten sind Ausführungen bezüglich der Haltungsüberwachung, der Darstellung von Statistiken und der Kalibrierung der Hardware. Da der Zusammenhang aus Arduino Programmierung und Anwendungserstellung teilweise recht komplex ist, werden die weiterführenden Beschreibungen komprimiert dargestellt. Sie sollen lediglich den groben Ablauf der Herstellung darlegen und aufzeigen, welche Schwierigkeiten bei einem derartigen Projekt auftauchen können.

3.5.1 Programmierung des Arduino UNO

Die Datenerfassung der Sensoren mittels der Arduino-IDE stellte eine der größten Herausforderung bei der Umsetzung des Systems dar. Da die einzelnen Sensoren hintereinander implementiert wurden, entstand das Programm für den Arduino zeitgleich zur Entstehung der technischen Umsetzung. Um den Microcontroller auf Grund von fehlerhaften Programmanweisungen nicht zu beschädigen, wurden verschiedene Codeabschnitte zunächst in rein digitaler Form getestet. Zu diesem Zweck stellt Autodesk eine Plattform mit dem Namen „Tinkercad“ zur Verfügung (Autodesk 2019). Hierbei können Schaltkreise zunächst online an einem fiktiven Arduino-Controller getestet und auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Auf diese Weise konnten sowohl Fehler vermieden als auch bestimmte Abläufe bei der Ansteuerung der Sensoren besser nachvollzogen werden.

In einem ersten Schritt wurde zunächst versucht die Daten bzw. die Spannungswerte der vier Wägezellen zu erfassen. Eine Hürde hierbei war, dass jeder A/D-Wandler (HX711) eine eigene Anbindung zum Serial-Clock-Pin (SCK) des Arduinos benötigt, um die Daten der Load Cell übertragen zu können. Um dies zu umgehen, konnte eine spezielle Bibliothek (HX711-Multi) verwendet werden, mit welcher es möglich ist, vier A/D-Wandler an einem SCK-Pin zu betreiben (compugician 2016).

Der HX711 arbeitet in seiner Grundform mit lediglich 10 Hz. Das bedeutet, dass die Daten einer Wägezelle pro Sekunde nur zehn mal abgefragt werden können. Da allerdings auf Grund der gemeinsamen Serial-Clock-Anbindung gewartet werden muss, bis alle Sensoren zum Datentransfer bereit stehen, kann es vorkommen, dass die Datenermittlung deutlich reduziert wird. Dadurch war es letztendlich schwierig, die Daten der Wägesensoren für Spiele zu verwenden. Für die Überprüfung der Realisierbarkeit und Wirkungsweise des Eingabegeräts, liegen die Übertragungsraten der Load Cells allerdings noch in einem akzeptablen Bereich. Es ist darüber hinaus möglich, den HX711 auf 80 Hz umzustellen (Avia 2012, S. 1 - 4). Um dies zu realisieren hätten verschiedene Änderungen an der Verkabelung des Chips sowie Anpassungen am Pogrammcode durchgeführt werden müssen. Da der Aufbau der Sensoren bereits abgeschlossen war, wurden die langsameren Übertragungsraten in Kauf genommen.

Eine Schwierigkeit bei der Verwendung der Bibliothek stellten die Wartezeiten (Timeouts) bezüglich der HX711-Module dar. Das Framework ist so angelegt, dass der Arduino-Code erst weiter ausgeführt wird, sobald die Messwerte aller Wägezellen vorliegen. Dadurch wurde ebenfalls die Übertragung anderer Sensoren verzögert, auch wenn diese eine wesentlich höhere Abtastrate besitzen. Aus diesem Grund musste ein

entsprechender Codeblock innerhalb der Bibliothek umgeschrieben werden, sodass der Timeout umgangen wird. Im Prinzip wurde die Leseanweisung der Module dabei umgedreht, was die Loop des Arduinos dazu befähigt weiter ausgeführt zu werden, auch wenn nicht alle HX711-Module zur Datenübertragung bereit sind.

Ein Vorteil der Bibliothek ist, dass sie neben dem Auslesen der Daten der Load Cells ebenfalls eine Funktion zur Kalibrierung der Wägezellen bereit stellt, welche für die Haltungserkennung erforderlich ist. Hierbei wird der aktuelle Stand der Sensoren mehrfach hintereinander ausgelesen und im Anschluss durch die Anzahl der Lesevorgänge geteilt. Dieser Wert wird anschließend von den fortlaufenden Messungen abgezogen, um die Werte der Sensoren auf Null zu stellen.

Ein wichtiger Schritt bei der Datenerhebung der Wägezellen, stellt die Umrechnung der vier Gewichtsdaten in ein Koordinatensystem zur Schwerpunktermittlung dar (Abb. 35). Da jede Wägezelle je nach Position einen unterschiedlichen Einfluss auf die X- und Y-Koordinate des Schwerpunkts besitzt, muss zunächst abgefragt werden, welche Zelle gerade ausgelesen wird, um die Daten anschließend auf den X- und Y-Wert des Schwerpunkts umzurechnen. Somit beeinflussen die Daten der Load Cell in der vorderen linken Ecke (Load Cell VL) den X-Wert negativ und den Y-Wert positiv. Im Gegensatz dazu wirken sich die Messwerte der Load Cell hinten rechts (Load Cell HR) positiv auf die X-Koordinate und negativ auf die Y-Koordinate aus.

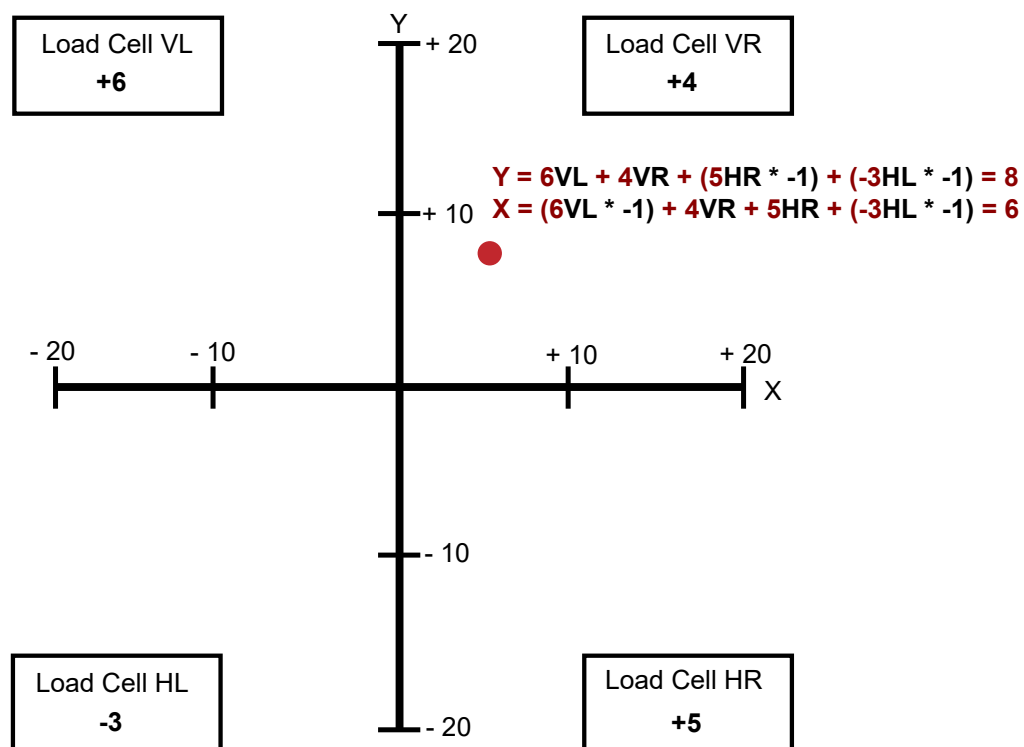


Abb. 35: Beispiel für die Berechnung des Schwerpunkts anhand der Daten der vier Wägezellen

Außerdem ist es entscheidend, ob ein ermittelter Widerstandswert positiv oder negativ ist, um zu vermeiden, dass der Schwerpunkt falsch beeinflusst wird. So muss bspw. ein negativer Widerstandswert hinten links (Load Cell HL) mit -1 multipliziert werden, da die X-Koordinate von ihm positiv beeinflusst werden muss. Da die Daten aus der Bibliothek als Array (*results[]*) bezogen werden, konnte hierfür eine Switch-Case-Funktion verwendet werden. Die in Abbildung 35 durchgeführte Beispielrechnung verdeutlicht die Zuordnung der Daten der Wägezellen innerhalb eines Koordinatensystems zur Berechnung des Schwerpunkts.

Neben dem Schwerpunkt musste ebenfalls der gesamte Druck aller Zellen an die Unreal Engine übertragen werden. Dies geschieht über die Addition der Zellen-Werte und ist notwendig, um das Oberkörpergewicht der sitzenden Person berechnen zu können. Das gesamte aufgebrachte Gewicht wird innerhalb der Anwendung für verschiedene Berechnungen bezüglich der Haltung und der Spiele benötigt.

Um die Daten des Gyroskops auslesen zu können, wurde ebenfalls eine externe Bibliothek verwendet. Das MPU6050-Framework enthält bspw. eine Funktion, um den Sensor zu kalibrieren und auf Null zu stellen. Des Weiteren ist das Framework dazu in der Lage, die erhaltenen Werte in Winkelangaben bezüglich der X-, Y- und Z-Rotation umzurechnen (tockn 2019). Zu beachten ist dabei die Lesegeschwindigkeit des Arduinos. Da wie bereits beschrieben der Programmablauf durch die HX711-Bibliothek verzögert wurde, war es nicht möglich die Winkelangaben korrekt auszulesen. Erst nachdem der Timeout innerhalb der Bibliothek umgangen wurde, war es möglich exakte Winkelangaben zu übertragen. Eine Schwierigkeit beim Auslesen der Rotationsdaten ist ein Abdriften der ausgelesenen Werte, bedingt durch Ungenauigkeiten des Sensors oder einer Erwärmung der Platine (Garcia-Saura 2015, S. 10). Folglich rotiert der Sensor scheinbar um wenige Grad pro Stunde, obwohl das Modul nicht bewegt wird. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Bibliotheken getestet, welche den Drift teilweise kompensieren konnten. Letztendlich wird bei der Kompensation ein Schwellenwert für die Rotation festgelegt. Ist die Rotation so gering, dass der Wert nicht überschritten wird, werden die minimalen Abweichungen nicht in die Ausgabe der Rotation mit einbezogen.

Ein Problem bei der Kompensation ist allerdings, dass kleinere Bewegungen des Gyroskops nicht mehr als solche registriert werden. Dadurch kann es bei Spielen, welche die Rotation des Stuhls für die Steuerung verwenden, dazu kommen, dass geringe Bewegungen des Spielers nicht registriert werden und über die Zeit zu einer Abweichung der Winkelangaben führen. Die relativ geringen Drifts sind bei Spielzeiten von zwei bis drei Minuten für die Analyse der Nutzbarkeit allerdings zu vernachlässigen. Dennoch wurde eine Möglichkeit implementiert, mit welcher sich das

Gyroskop auch während des Spielens neu einstellen lässt, um bei einer zu starken Abweichung nicht die gesamte Sensorik neu kalibrieren zu müssen.

Das Auslesen der FSR-Sensoren erfolgt wie bereits beschrieben mittels eines Multiplexers. Deshalb werden die Daten der einzelnen Sensoren anhand einer Zählschleife der Reihe nach ausgelesen und entsprechenden Variablen zugeordnet. Da für die Anwendung lediglich entscheidend ist, ob die Sensoren vom Anwender berührt werden, können die eingehenden Spannungsveränderungen anhand eines Schwellenwerts (Threshold) bewertet werden. Dieser wurde für die FSR-Sensoren auf 350 digitale Einheiten ($5\text{ V} = 1023\text{ Einheiten}$) festgelegt. Leitet ein Sensor eine höhere Spannung an den Arduino weiter, wird dieser als berührt gezählt und die entsprechende Variable des Sensors mit einer Eins überschrieben. Liegt die übertragene Restspannung unter dem Threshold, wird die Variable mit einer Null gefüllt. Da es dazu kommen kann, dass ein Sensor bspw. auf Grund einer Wölbung in der Rückenlehne bereits eine Restspannung oberhalb des Thresholds weiterleitet, muss es möglich sein, den Schwellenwert jederzeit anzupassen. Aus diesem Grund wurde dem Programmablauf eine Funktion hinzugefügt, mit welcher sich der Threshold durch Nutzereingaben verändern lässt.

Da die Kalibrierung der Sensoren vom Anwender ausführbar sein muss, wurden separate Kalibrierungs-Funktionen in das Arduino-Programm implementiert. Das Anlegen dieser Funktionen erfolgt anhand einer speziellen Syntax. Diese wird von einem UE4-Plugin vorgegeben, welches zur Datenübertragung an die Unreal Engine benötigt wird.

3.5.2 Datenübertragung

Um Daten vom Arduino an einen Computer zu übermitteln, wird der Microcontroller über einen entsprechenden USB-Port mit dem angeschlossenen PC verbunden. Die ein-

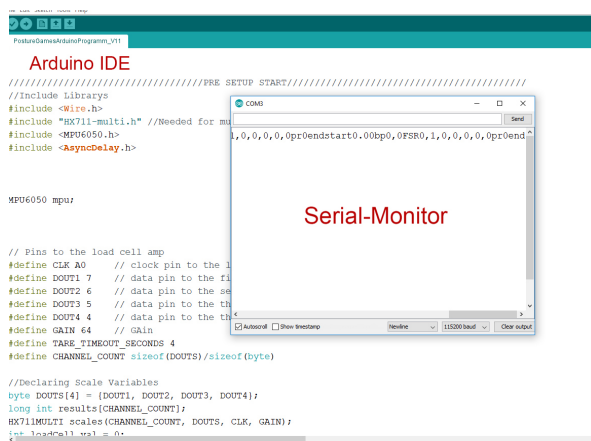


Abb. 36: Der Serial-Monitor der Arduino-IDE

gehenden Sensordaten können anschließend mit Hilfe des Serial-Monitors der Arduino-IDE visualisiert und ausgegeben werden (Abb. 36). Die Darstellung kann hierbei mit dem Befehl *Serial.println()*; (Serial-Print-Line) erfolgen, welcher im Verlauf des Arduino-Programms aufgerufen wird. Innerhalb der runden Klammern lassen sich mittels des Print-Line-Befehls Variablen wie Floats, Integer oder Strings zur Überprüfung anzeigen.

Damit der Arduino UNO mit der Unreal Engine 4 kommunizieren kann, wird das Plugin UE4Duino benötigt (RVillani 2014). Mit dessen Hilfe ist es möglich, die vom Arduino übertragenen Daten in der Engine zu empfangen. Der Datentransfer geschieht im Fall des Plugins über den Serial-Monitor der Arduino-IDE. Dementsprechend müssen alle zu übermittelnden Daten mit einem Befehl zur optischen Visualisierung (z. B. *Serial.println();*) ausgegeben werden.

Ein großes Problem der Datenübertragung zwischen den zwei unterschiedlichen Systemen ist, dass diese jeweils mit verschiedenen Taktungen arbeiten. Daher ist es nicht möglich, Daten vom Arduino zum Zeitpunkt der Bereitstellung direkt an die Engine zu Senden. Sie können lediglich in der Taktung der Engine ausgelesen werden. Des Weiteren kann nicht vorhergesehen werden, zu welchem Zeitpunkt die Sensordaten zur Verfügung stehen, da die Lesegeschwindigkeiten der verschiedenen Module des Eingabegeräts voneinander abweichen.

Zur Übermittlung der Daten können zwei verschiedene Varianten unterschieden werden. Die erste Variante besteht darin, eine Anfrage nach Sensordaten aus der Engine an den Arduino zu senden. Die Frage danach, ob Daten an den Arduino übermittelt wurden bzw. eine Anfrage gestellt wurde, erfolgt dabei in jedem Durchgang der Arduino-Loop mit dem Befehl: *Serial.readString();*. Verdeutlicht wird dieser Prozess in Abbildung 37. Wird die F-Taste der Tastatur gedrückt, wird von der Engine der String „Übertrage_Daten“ an den Arduino gesendet. Da die Variable „str“ im Arduino-Code nun den String „Übertrage_Daten“ enthält, wird die folgende If-Abfrage wahr, wodurch der Befehl *Serial.println(X-Wert);* vom Arduino ausgeführt wird. Nach einer kurzen

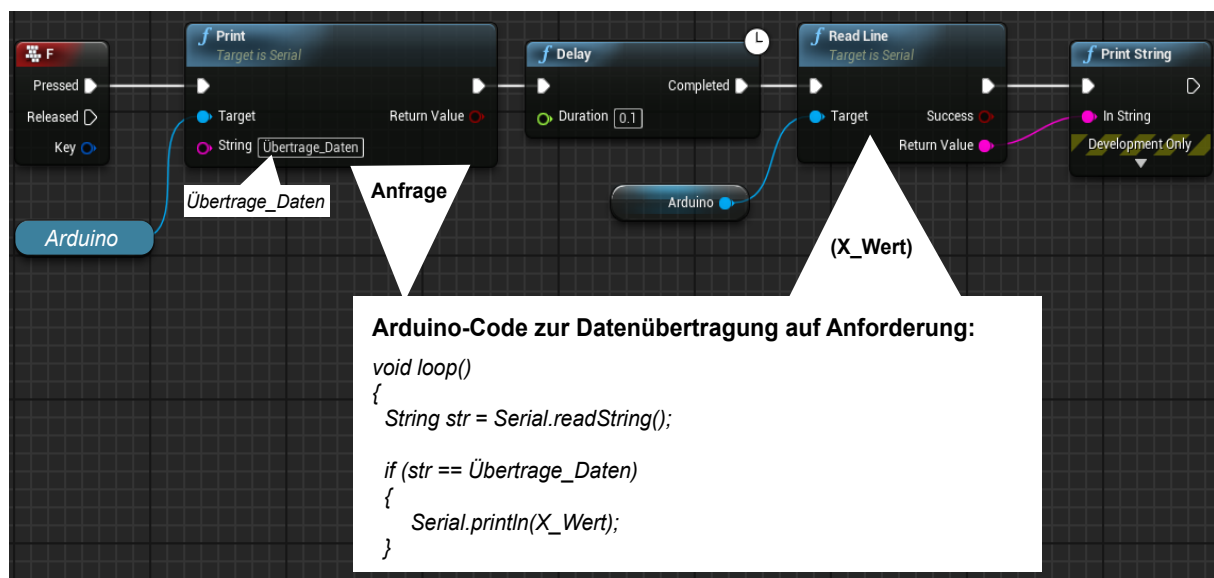


Abb. 37: Senden einer Datenanfrage an den Arduino innerhalb der Unreal Engine mittels des Blueprint-Systems zur visuellen Programmierung

Pause (Delay 0.1s) wird der Serial-Monitor von der Engine ausgelesen wodurch der X-Wert anschließend in Unreal zur Verfügung steht. Diese Art der Übertragung hat jedoch im Falle der zu erstellenden Anwendung den Nachteil, dass die notwendige Auszeit zum Lesen der Daten eine Verzögerung bei der Steuerung von Spielen nach sich zieht. Darüber hinaus kann nicht sicher gestellt werden, dass zum Zeitpunkt der Anfrage Sensordaten vorliegen. Dadurch kann es passieren, dass eine leere Variable übermittelt wird, wodurch die empfangenen Daten unleserlich werden bzw. ins Schwanken geraten.

Die zweite, für die Anwendung bessere Alternative, gibt die Daten zum Zeitpunkt der Bereitstellung direkt auf dem Serial-Monitor aus und wartet nicht erst auf die Anfrage der Engine. Unreal kann, auf Grund der langsameren Sensoren, Daten wesentlich schneller abrufen als sie vom Arduino ausgesendet werden. Daher ist es einfacher die Messwerte mit jedem Tick (mit jedem Frame) der Engine abzurufen und diese, falls sie leer sein sollten, auszusortieren. Um diese Art des Transfers zu ermöglichen, wurden alle Sensordaten in dem Arduino-Code zu einer Stringausgabe zusammengefasst (Abb. 38). Hierbei markieren die Schlüsselwörter „start“ und „end“ den Anfang und das Ende jeder

```
AllModules = "start" + angle_Val + "bp" + X_Val + "," + Y_Val +
"FSR" + FSR_Top + "," + FSR_Center + "," + FSR_Bottom + "pr" + pressure + "end";

Serial.print (AllModules);
```

Abb.38: Der String „AllModules“ beinhaltet alle Messwerte der Sensoren. Er wird mit jedem Durchgang der Loop neu gefüllt und auf dem Serial-Monitor ausgegeben

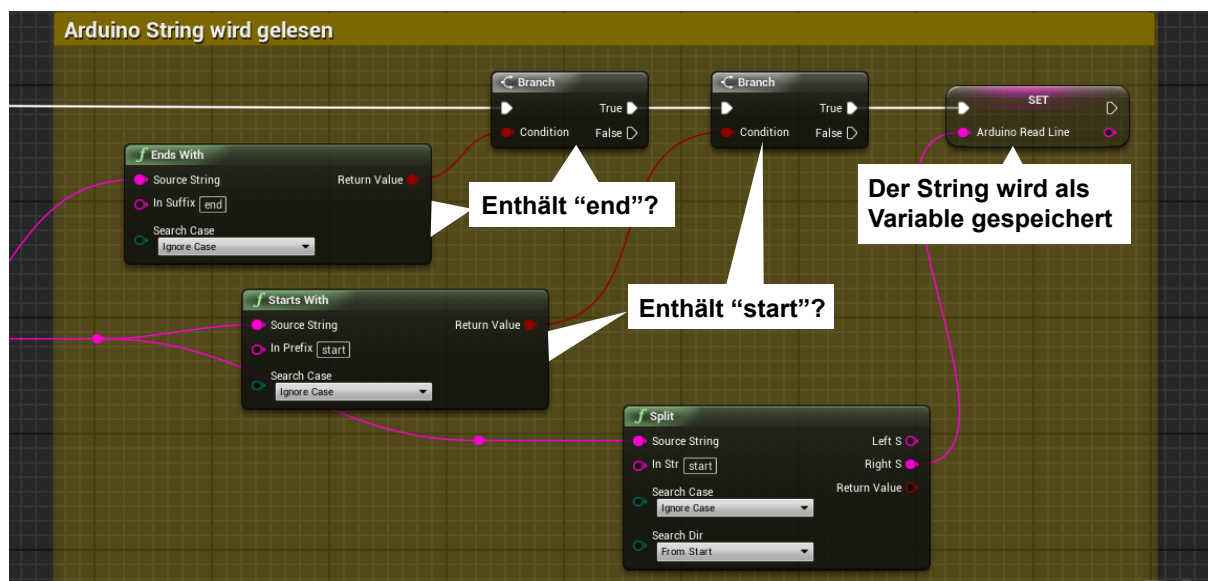


Abb. 39: Der übermittelte String „AllModules“ wird nur gespeichert, wenn die Schlüsselwörter „end“ und „start“ im String enthalten sind

Ausgabe. Beim Lesen der Daten in der Engine wird der eingehende String auf diese Schlüsselwörter untersucht (Abb. 39). Beginnt der empfangene String mit „*start*“ und endet mit „*end*“ wird er in eine Variable überführt und anhand der übergebenen Daten aufgeschlüsselt. Dadurch kann vermieden werden, dass unvollständige Daten an die Engine transferiert werden. Nicht komplette Datensätze können bspw. entstehen, wenn die Engine bereits versucht die Daten des Arduinos zu lesen, während dieser noch dabei ist, die Daten auf dem Serial-Monitor auszugeben. Da die Variable nach der Aufschlüsselung nur vollständige Datensätze enthält, können diese mittels der im String festgelegten Schlüsselwörter „*bp*“ (Balance Point), „*FSR*“ oder „*pr*“ (Pressure) entsprechenden Sensordaten zugeordnet und extrahiert werden.

3.5.3 Programmierung der Anwendung

Wie bereits erwähnt, fand die Umsetzung der Software mittels der Unreal Engine 4 statt. Da die Engine ein System zur visuellen Programmierung (Blueprints) beinhaltet, mit welchem auch ohne tiefere Programmierkenntnisse Spiele entwickelt werden können, stellt die Engine eine gute Grundlage für die prototypische Umsetzung der Software dar. Des Weiteren findet man bezüglich der Programmierung diverse Hilfestellungen in verschiedenen Foren sowie Templates, welche als Basis für verschiedene Aufgaben eingesetzt werden können. Anhand der gestellten Anforderungen an die Software, besteht die Anwendung aus mehreren Einzelteilen. Deren Umsetzung wird im Folgenden näher erläutert, wobei nicht nur für den Nutzer ersichtliche Bestandteile, sondern auch Kernfunktionen der Software beschrieben werden.

3.5.3.1 Core

Die Daten des Eingabegeräts werden auf diversen Ebenen der Software benötigt. Aus diesem Grund wurden Funktionen, welche in den unterschiedlichen Teilbereichen Verwendung finden, innerhalb eines Basisscripts (Core) zusammengefasst. Um die übergeordneten Funktionen auf einfachem Wege für die verschiedenen Programmteile wie bspw. die Haltungsüberwachung oder die Spiele zugänglich zu machen, wurde das GameState-Script der Engine als Core verwendet. Der GameState wird bei jedem Start der Anwendung und beim Öffnen eines neuen Levels ausgeführt. Deshalb können hierin Funktionen integriert werden, welche wiederholt benötigt werden. Das hat den Vorteil, dass der Code für übergreifende Anweisungen nicht in

jedem Level implementiert werden muss und Änderungen an den Basisfunktionen leichter durchzuführen sind. Level steht hierbei nicht zwangsläufig in einem für Spiele üblichen Kontext. So ist das Hauptmenü bspw. in einem eigenen Level, worin sowohl die Kalibrierung des Eingabegeräts statt findet als auch die Überwachung der Haltung implementiert ist. Ein Level kann in diesem Zusammenhang als eine Art Container für verschiedene 3D-Objekte, Figuren und Codeanweisungen verstanden werden. Um die Programmierung möglichst übersichtlich zu halten, wurden die beiden Haltungsspiele in jeweils eigenen Leveln ausgelagert. Ursprünglich wurde für jeden Teilbereich, wie bspw. die Kalibrierung oder die Statistik, ein eigenes Level angelegt. Um häufiges Laden der Inhalte zu vermeiden und schneller auf die einzelnen Bestandteile zugreifen zu können, wurden diese in einem späteren Schritt in einem gemeinsamen Level zusammengeführt.

Eine der ersten Anweisungen, welche bei jedem Levelstart im Core ausgeführt werden muss, ist das Aufnehmen der Verbindung zum Arduino. Da nicht sicher gestellt werden kann, an welchen USB-Port der Arduino angeschlossen wurde, werden bis zu 50 Portnummern mittels einer Schleife abgefragt, um die Verbindung zur Hardware aufzubauen. Des Weiteren kann es jeder Zeit dazu kommen, dass der Arduino eine Fehlfunktion aufweist oder die Übertragung zum Computer abbricht. Deshalb wurde eine Verbindungsüberprüfung im Core implementiert, welche jede Sekunde aufgerufen wird. Diese fragt ab, ob das Eingabegerät noch angeschlossen ist und ob dessen Daten gelesen werden können. Sollte ein Problem mit der Hardware vorliegen, wird dem Nutzer eine Fehlermeldung angezeigt, welche ihn zur Überprüfung der Verbindung auffordert.

Neben dem Verbindungsaufbau ist der Core für das Auslesen der vom Arduino empfangenen Daten zuständig. Zu diesem Zweck wurden diverse Funktionen angelegt, welche auch von anderen Skripten ausgeführt werden können, wenn bestimmte Sensordaten benötigt werden. Wird bspw. die Rotation des Stuhls benötigt, wird von einem externen Script die Funktion „*GetUserRotation*“ innerhalb des Cores aufgerufen. Diese untersucht den Arduino-String nach dem Schlüsselwort „*bp*“ und extrahiert alle Daten, welche links des Schlüsselwortes stehen. An dieser Stelle ist der Rotationswinkel des Gyroskops hinterlegt, welcher anschließend an eine Float-Variable übergeben wird. Diese kann wiederum von dem Script ausgelesen werden, welches die Datenanfrage gesendet hat. Dadurch steht die Rotation des Nutzers in dem entsprechenden Programmteil zur Verfügung und kann weiter verwendet werden.

Die Aufteilung in verschiedene Funktionen hat den Vorteil, dass Rechenleistung eingespart werden kann. Es ist nicht erforderlich alle Berechnungen in jedem Frame auszuführen, sondern nur wenn diese auch gebraucht werden. Auf diese Weise wurden

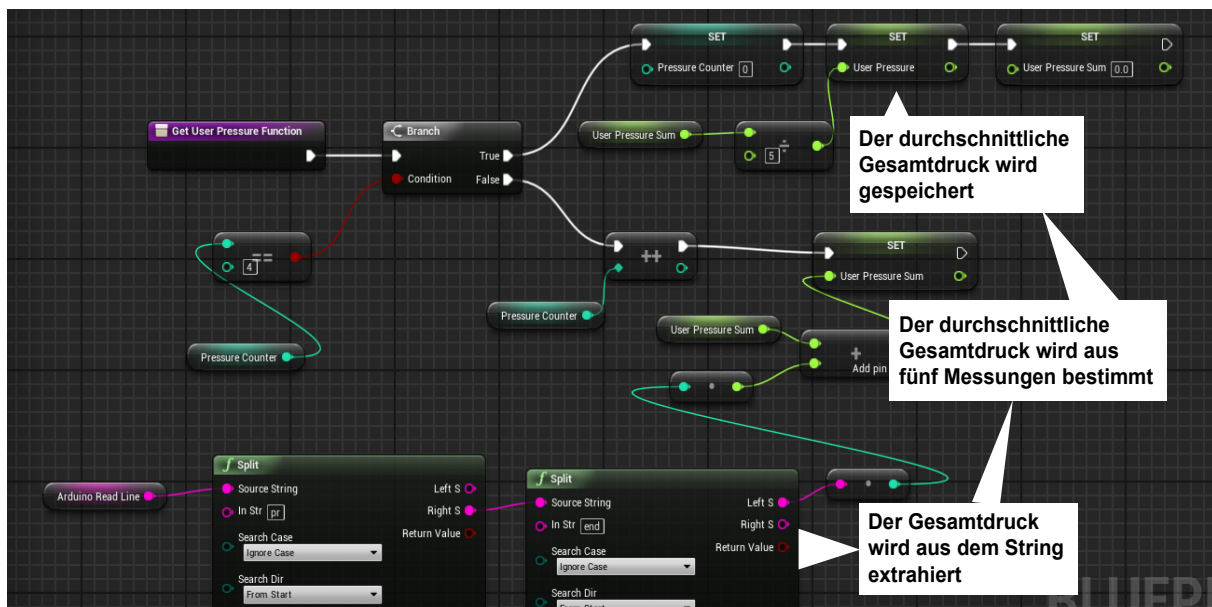


Abb. 40: Einzelne Funktion zur Ermittlung des Gesamtdrucks auf die Wägezellen

weitere Funktionen angelegt, welche teilweise komplexere Berechnungen ausführen, wie bspw. die Überprüfung, ob der Nutzer sitzt, die Berechnung des Gesamtdrucks der Load Cells (Abb. 40) oder Funktionen bezüglich der Kalibrierung des Eingabegeräts.

3.5.3.2 Calibration

Die Kalibrierung des Eingabegeräts ist ein wichtiger Bestandteil der Anwendung und für eine korrekte Funktionsweise der Spiele sowie der Überwachung der Sitzhaltung notwendig. Sie selbst wird von diversen Faktoren beeinflusst, wobei ihre erfolgreiche oder fehlerhafte Durchführung einen großen Einfluss auf die Funktionsweise der Anwendung besitzt.



Abb. 41: Userinterface zur Durchführung der ersten Kalibrierung

Wurde bspw. das Nutzergewicht bei der Kalibrierung nicht richtig berechnet, ist es nicht mehr möglich zu erkennen, ob eine Person sitzt, was wiederum Fehler bei den Spielen innerhalb der Software verursacht.

Grundlegend besteht der Kalibrierungsprozess aus der Ausführung von Funktionen auf dem Arduino und der Speicherung von Sensordaten innerhalb der Engine. Um das Gewicht des Nutzers,

von welchem diverse Berechnungen abhängig sind, feststellen zu können, muss das Eingabegerät zunächst ohne Gewicht bzw. ohne den Anwender in eine Art Nullstellung versetzt werden. Im ersten Schritt der Kalibrierung (Abb. 41) sendet der Nutzer über das Userinterface der Unreal-Anwendung den String „calibrate“ an den Arduino (Abb. 42). Wurde der String erfolgreich übertragen, werden vom Arduino entsprechende Funktionen zur Kalibrierung der Sensoren (Wägezellen und Gyroskop) ausgeführt (Abb. 43). Gleichzeitig wird der Status der Kalibrierung (*Serial.println(„calibrate“)*) an den Serial-Monitor ausgegeben. Die Ausgabe ist notwendig, um nachvollziehen zu können, welcher Schritt der Kalibrierung auf dem Arduino aktuell durchlaufen wird. Darüber hinaus ist es so möglich zu erkennen, ob die Kalibrierung erfolgreich abgeschlossen wurde. Zu diesem Zweck wird nach der Kalibrierung der String „done“ auf dem Serial-Monitor ausgegeben.

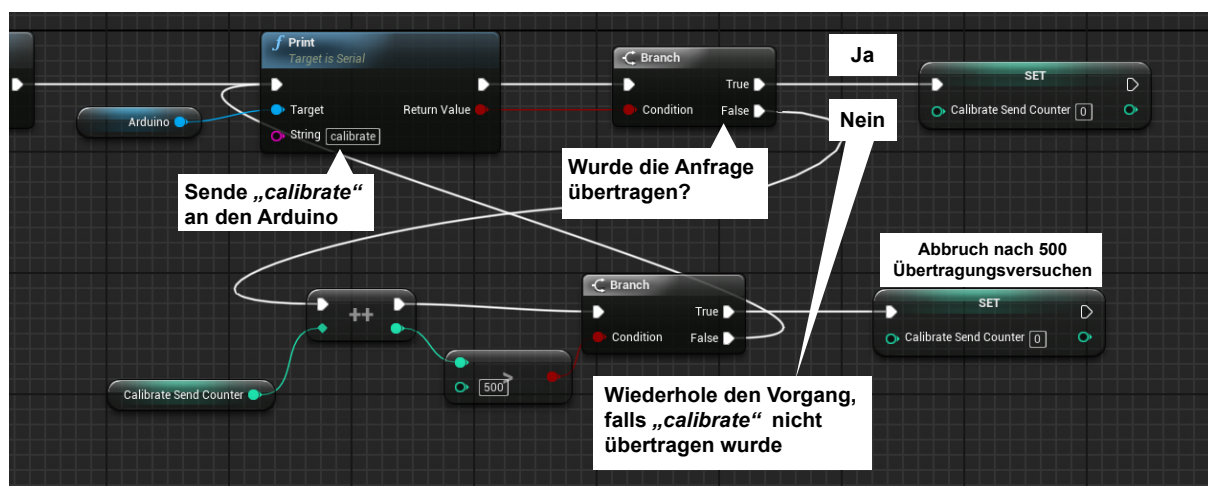


Abb. 42: Wiederholtes Senden des Strings „calibrate“ an den Arduino, bis die Kalibrierungsanfrage erfolgreich übertragen wurde

```
String str = Serial.readString();
if (str == "calibrate")
{
    Serial.println("calibrate");
    delay(1000);
    Serial.println("calibrate scale");
    calibrate_scales();
    delay(1000);
    Serial.println("calibrate gyroscope");
    calibrate_gyroscope();
    delay(1000);
    Serial.println("done");
    delay(1000);
}
```

Abb. 43: Durchführung von Kalibrierungsfunktionen der Sensoren. Der Statusbericht an die Engine erfolgt über die Ausgabe von Strings (*Serial.println(„calibrate“)*) auf dem Serial-Monitor

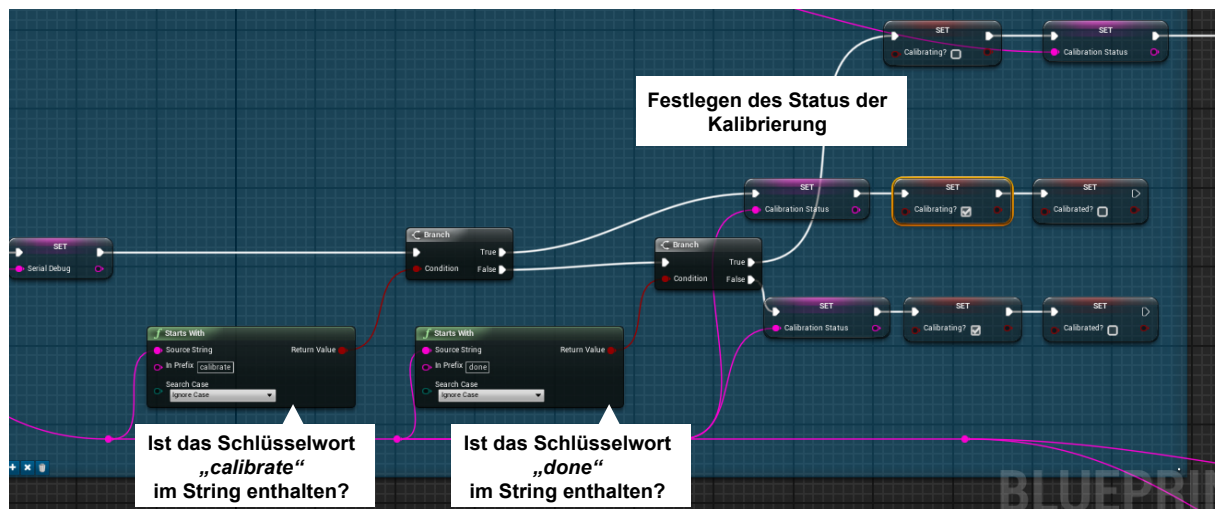


Abb. 44: Auslesen des Status der Kalibrierung in der Engine in jedem Frame

Die übermittelten Daten werden während des Vorgangs fortlaufend von der Engine auf ihren Status überprüft (Abb. 44). Sollte die Anfrage zur Kalibrierung nicht korrekt übertragen werden oder die Kalibrierung der Sensoren in einem der Zwischenschritte stehen bleiben, muss eine Fehlermeldung ausgegeben werden. Dies geschieht, wenn der String „done“ nach 10 Sekunden nicht an die Engine übertragen wurde.

Ist der erste Schritt bzw. die leere Kalibrierung ohne den sitzenden Anwender abgeschlossen, wird eine Aufforderung zum zweiten Schritt der Kalibrierung angezeigt (Abb. 45). Zu diesem Zeitpunkt sollte sich die Rotation des Gyroskops sowie der Gesamtdruck der Wägezellen und die X- und Y-Koordinate des Schwerpunkts auf Null befinden. Im zweiten Kalibrierungsschritt, muss zunächst darauf geachtet werden, dass alle FSR-Sensoren der Rückenlehne rot angezeigt werden bzw. den Status *NULL* besitzen. Sollte einer der Sensoren in der Anzeige bereits grün leuchten, kann der FSR-Threshold erhöht werden. Dabei wird wie bei der Kalibrierung eine Funktion im Arduino-Code aufgerufen, welche den Threshold mit jedem Aufruf entweder um 10 erhöht oder verringert. Sind alle Drucksensoren auf rot geschaltet, kann sich der Anwender auf den Stuhl setzen. Dabei sollen alle FSR-Sensoren der Rückenlehne berührt werden, um sicherzustellen, dass sich der Anwender in einer aufrechten Haltung befindet. Wird auf jeden Sensor Druck ausgeübt, kann der zweite Schritt der Kalibrierung mit sitzendem Anwender gestartet werden. Dabei wird der

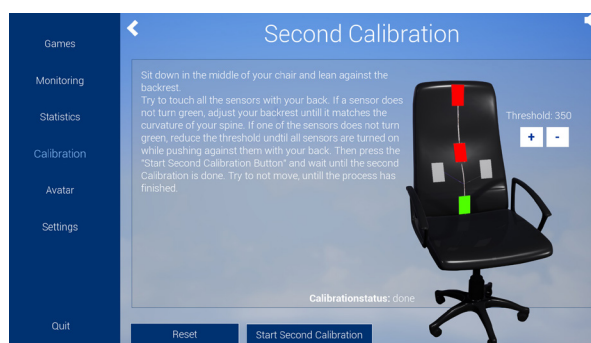


Abb. 45: Aufforderung zur zweiten Kalibrierung mit sitzendem Anwender

Wird auf jeden Sensor Druck ausgeübt, kann der zweite Schritt der Kalibrierung mit sitzendem Anwender gestartet werden. Dabei wird der

Programmablauf der ersten Kalibrierung wiederholt durchlaufen. Bevor der Aufruf zur zweiten Kalibrierung an den Arduino gesendet werden kann, muss allerdings der aktuelle Gesamtdruck auf die Wägesensoren ermittelt werden. Anhand des Drucks kann nun das Gewicht des Nutzers bestimmt werden, indem der Gesamtdruck der Wägezellen mit einem Gewichtungsfaktor (wurde manuell bestimmt) multipliziert wird. Nachdem das Nutzergewicht in einer Speicherdatei abgelegt wurde, wird die Anfrage zur Kalibrierung erneut an den Arduino gesendet und die Wägezellen sowie das Gyroskop nochmals genullt. Nach der Ausgabe einer erfolgreichen Kalibrierung ist das Eingabegerät dazu bereit für Spiele verwendet zu werden oder die Haltung zu überwachen.

3.5.3.3 Monitoring

Der Monitoring-Bereich der Anwendung dient der Überwachung der Sitzhaltung des Anwenders (Abb. 46). Nach der erfolgreichen Kalibrierung kann der Nutzer an dieser Stelle einsehen, wie lange die Überwachung bereits läuft, wie lange er sitzt oder wie lange er sich nicht signifikant bewegt hat. Darüber hinaus erhält er eine Haltungseinschätzung anhand der gemessenen Daten der Sensoren. Hierbei hat der Nutzer jederzeit die Möglichkeit, die Überwachung für Pausen zu unterbrechen.

Wird das Monitoring vom Nutzer gestartet, werden innerhalb des Cores verschiedene

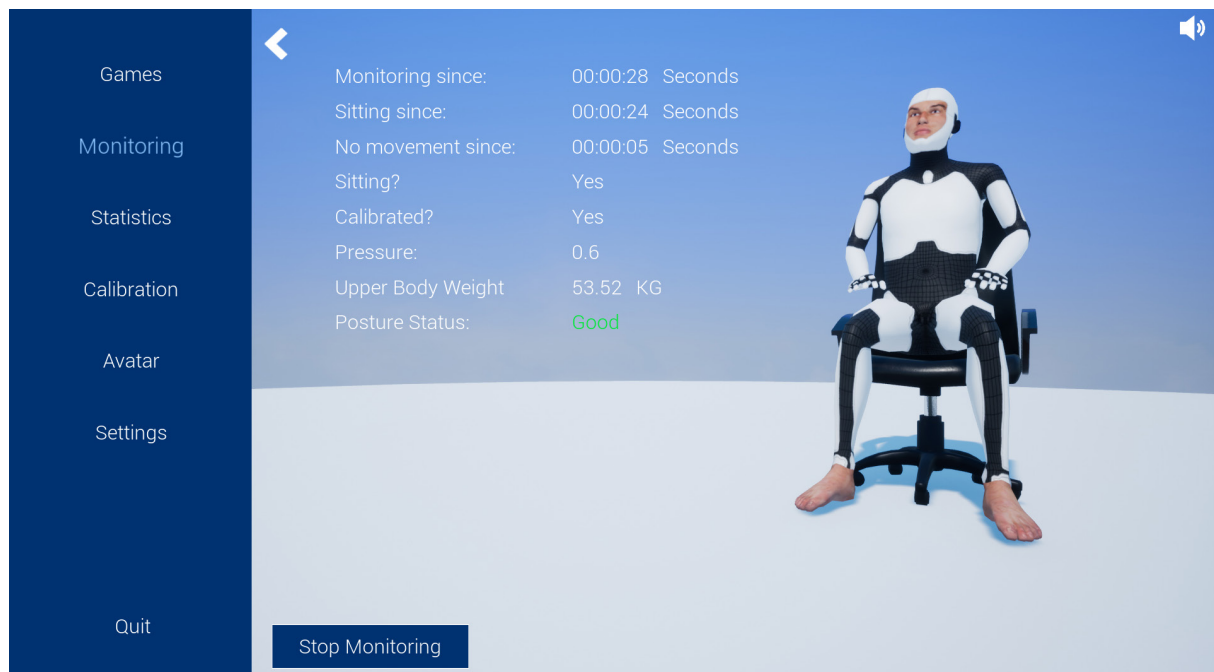


Abb. 46: Ansicht für die Haltungsüberwachung in Echtzeit mit Ausgabe der erforderlichen Überwachungsangaben bezüglich der Haltung des Nutzers

Funktionen zur Überprüfung der Haltung wie bspw. die Ermittlung des Schwerpunkts oder des aufgebracht Gewichts ausgeführt. Eine erste wichtige Überprüfung ist, ob der Nutzer sitzt oder steht. Dazu wird der aktuell gemessene Gesamtdruck auf den Wägezellen mit dem gespeicherten Gewicht des Nutzers verglichen. Sollte dieser unter die Hälfte des Nutzergewichts fallen, befindet sich deutlich weniger Druck auf den Wägezellen, was darauf schließen lässt, dass die Person aufgestanden ist. Zu wissen, ob der Anwender sitzt oder nicht, ist von großer Bedeutung, da dieser im Falle einer zu langen Sitzzeit dazu aufgefordert werden kann eine Bewegungs- oder Spielpause einzulegen. Da die Haltungsüberwachung im Stehen irrelevant ist, wird die Sitzzeit angehalten, sobald der Nutzer aufgestanden ist.

Ob und wie stark sich der Nutzer auf dem Bürostuhl bewegt, kann durch seinen Schwerpunkt auf dem Eingabegerät ermittelt werden. Dies geschieht, indem der aktuelle Stand des Schwerpunkts mit dessen Status vor einer Sekunde verglichen wird. Sollten die Werte nicht merklich von einander abweichen, ist anzunehmen, dass sich der Nutzer nicht aus seiner Haltung bewegt hat. Ist das der Fall, wird die Zeit gezählt, in welcher keine Bewegung statt findet (Abb. 46, No movement since). Die Kenntnis über das Bewegungsverhalten ist für die Verbesserung der Haltung entscheidend, da hierüber eine Haltungskonstanz erkannt und der Anwender vor dieser gewarnt werden kann.

Eine Bewertung der aktuellen Haltung des Nutzers geschieht mittels seines Schwerpunkts sowie der erhaltenen Daten der FSR-Sensoren. Hierfür wird die Haltung zunächst in drei Bereiche unterteilt. Der Zustand „Good“ bedeutet, dass der Nutzer die Rückenlehne vollständig berührt und sich sein Schwerpunkt auf der Y-Achse annähernd auf Null befindet. Beugt sich der Anwender vorn über, wobei sich sein Schwerpunkt auf der Y-Achse über einen vordefinierten Wert erhöht, auch wenn noch alle Sensoren berührt werden, wird die Haltung als „Medium“ bewertet. Dies geschieht ebenfalls, wenn der oberste FSR-Sensor nicht mehr berührt wird. Als schlecht (Bad) eingestuft wird die Haltung des Nutzers, wenn sich sein Schwerpunkt weit nach vorn verlagert hat ($Y > 50$). Ob die Rückensensoren dabei weiterhin berührt werden, wird in diesem Fall nicht weiter überprüft, da davon ausgegangen werden kann, dass sich der Nutzer sehr weit vornüberbeugt hat.

Zur Überprüfung der Daten und deren Korrektheit sieht der Nutzer im Monitoring-Bereich einen Avatar vor sich, welcher die Bewegungen des Anwenders spiegelt. Hierfür wurde ein für Spiele typischer Character programmiert, welcher verschiedene Positionen einnehmen kann. Um die Haltung des Spielers auf den Avatar zu übertragen, werden sogenannte „Blendspaces“ verwendet. Ein Blendspace kann diverse Posen des Characters enthalten, zwischen welchen überblendet wird. Im vorliegenden Beispiel verfügt der Avatar über sieben verschiedene Haltungen. Das in Abbildung 47 gezeigte

Koordinatensystem wird über die Schwerpunktberechnung des Eingabegeräts angesteuert und visualisiert die Haltung des Nutzers. Darüber hinaus beinhaltet der Character weitere Animationen für das Aufstehen oder Umherlaufen, wenn sich der Benutzer vom Stuhl entfernt. Die Animation des Characters erfolgt innerhalb eines speziellen Scriptes (Animationblueprint). Dazu werden alle notwendigen Haltungsdaten vom GameState (Core) an das Animationblueprint übertragen und hierin je nach Status des Eingabegeräts verschiedene Animationen ausgeführt.

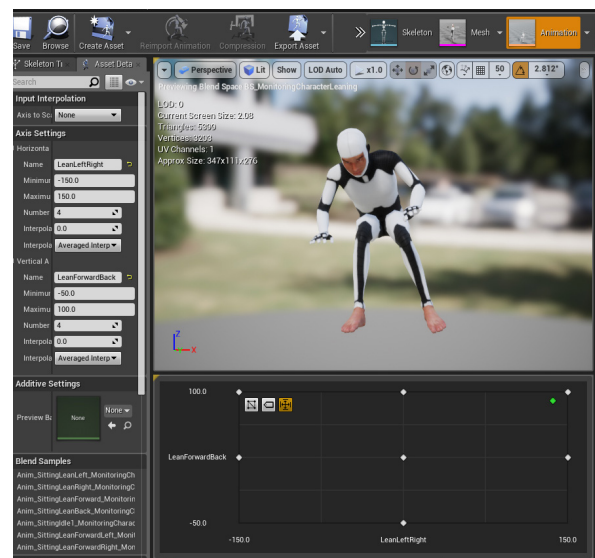


Abb. 47: Blendspace zur Anzeige der aktuellen Haltung mittels des Avatars

3.5.3.4 Settings

In den Einstellungen werden dem Anwender verschiedene Möglichkeiten zur Anpassung der Software zur Verfügung gestellt (Abb. 48). Auf Grund der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Anforderungen an die Software wurde eine Funktion integriert, mit welcher der Nutzer die Anwendung zwischen Vollbild und Fenstermodus umschalten kann. Wurde die Überwachung gestartet und die Anwendung daraufhin minimiert, ertönt eine Warnmeldung, wenn der Nutzer zu lange in einer Haltung verharrt oder zu lange gesessen hat. Ist das Fenster verkleinert, pulsiert im Fall einer Warnung das Symbol auf der Taskleiste. Dadurch kann der Anwender über eine Haltungskonstanz informiert werden, obwohl das Programm nicht aktiv genutzt wird oder der Ton abgeschaltet wurde.

Da es notwendig ist, die Geräusche der Software bei der Arbeit unterdrücken zu können, wurden verschiedene Einstellungsmöglichkeiten bezüglich der Lautstärke von Spielmusik, Geräuschen oder Warntönen in den Settings untergebracht. Dadurch kann der Nutzer die Geräuschkulisse des Systems nach seinen Wünschen anpassen und bei der Arbeit störende Meldungen vermeiden.

Die Nutzung der Software ist von den Tätigkeiten der sitzenden Person abhängig. Deshalb muss es möglich sein, die Warnungen bezüglich der Haltung auszusetzen und auf die Arbeit anzupassen. Aus diesem Grund hat der Anwender in den Settings die Möglichkeit, Warnungen abzuschalten und die Zeiten einzustellen, nach welchen



Abb. 48: *Verschiedene Einstellungsmöglichkeiten bezüglich der Warnung vor Haltungskonstanz, Bildschirmdarstellung und Lautstärke der Anwendung*

eine Warnung ausgegeben werden sollen. Ist bspw. von vornherein klar, dass eine Durchführung von Haltungsspielen in der nächsten Zeit nicht möglich ist, können die Warnungsintervalle entsprechend eingestellt werden. Da die Anwendung zum jetzigen Zeitpunkt für das Testen des Systems und zur Überprüfung der Thesis verwendet wird, wurden in den Settings ebenfalls verschiedene Anweisungen implementiert, mit welchen der Nutzer bspw. eine erfolgreiche Kalibrierung erzwingen kann. Darüber hinaus ist es möglich, sich den gesamten vom Arduino übertragenen String anzeigen zu lassen, um festzustellen, ob das System noch ordnungsgemäß arbeitet.

3.5.3.5 Statistics

In dem Menüpunkt „Statistics“ erhält der Anwender eine grafische Übersicht, über die erhobenen Daten der Software. Um eine mögliche Verbesserung der Haltung auf Grund der Vermeidung von Haltungskonstanz durch das Warnsystem oder anhand der Spielzeit zu erkennen, werden die in Abbildung 49 gezeigten Daten an jedem Tag der Softwarenutzung als Balkendiagramm ausgegeben. Abzulesen ist hierin die Gesamtzeit der Überwachung (dunkel blau), die gesessene Zeit (mittel blau) sowie die Zeit, in welcher sich der Anwender nur sehr wenig bewegt hat (hell blau). Darüber hinaus ist

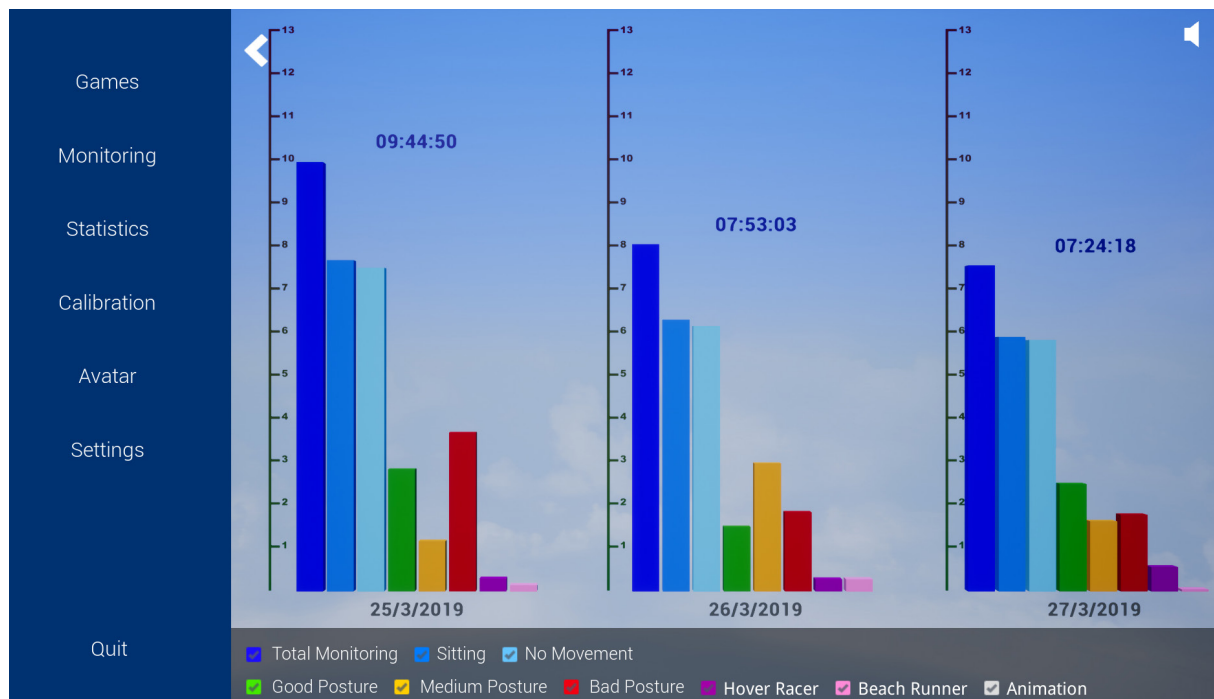


Abb. 49: Darstellung der Statistik als Balkendiagramm. Die erhobenen Daten werden Tageweise angezeigt und lassen sich einzeln ein- und ausblenden

zu erkennen, wie viel Zeit in welchem Haltungszustand (Good = grün, Medium = gelb, Bad = rot) an einem bestimmten Datum verbracht wurde.

Um die gespeicherten Daten genauer zuzuordnen und miteinander vergleichen zu können, befindet sich links von jedem Datenblock ein Zeitstrahl, welcher die Stunden von Null bis 13 anzeigt. Damit der Nutzer Rückschlüsse auf die Wirkung der Posture Games auf das Sitzverhalten ziehen kann, wird die gespielte Zeit der beiden Haltungsspiele ebenfalls separat in der Statistik aufgeführt. Um die einzelnen Daten besser miteinander vergleichen zu können, hat der Anwender die Möglichkeit, einzelne Balken zu deaktivieren. Somit lassen sich die Zeitblöcke wesentlich leichter miteinander vergleichen, da unwichtige Bestandteile ausgeblendet werden und die abzulesenden Daten näher zusammenrücken. Die Statistik wird bei jedem Aufruf des Menüpunktes aktualisiert. Daher ist bereits während der Softwarenutzung erkennbar, wie sich der Anwender in den letzten Stunden verhalten hat.

3.6 Posture Games

Die Realisierung der Spiele zur Entlastung des passiven Bewegungsapparats und zur Stärkung der Rückenmuskulatur stellt einen wichtigen Bestandteil der Abhandlung dar. Deshalb wird an dieser Stelle gesondert auf deren Erstellung eingegangen. Ziel der Umsetzung war es, die Bewegungen von verschiedenen Trainingseinheiten mittels der Spielsteuerung nachzuahmen. Die spielerische Gestaltung der Übungen mit zusätzlichen Belohnungssystemen sollen die Motivation des Anwenders zur wiederholten Durchführung der Trainingseinheiten aufrecht halten.

Der vorliegende Abschnitt beginnt zunächst mit einem groben Überblick darüber, welche Übungen zur Haltungsverbesserung bzw. Mobilisierung und Stärkung des Oberkörpers auf einem Bürostuhl möglich sind. Anschließend wird der Herstellungsprozess der beiden Posture Games beschrieben. Hierbei wird ebenfalls auf die Übertragung der Haltungsübungen auf die Steuerung der Spiele eingegangen.

3.6.1 Übungen zur dynamischen Sitzhaltung

In der Literatur lassen sich diverse Arten von Übungen zur Prävention von Verspannungen oder der muskulären Absicherung von Gelenken und der Wirbelsäule finden. Deren Durchführung ist zu einem Großteil auch im Sitzen auf einem Bürostuhl möglich. Darüber hinaus können sich kleinere Trainingseinheiten im Sitzen positiv auf die Leistungsfähigkeit auswirken und setzen neue Energie für die nächsten Aufgaben frei. Da die Übungen auf die Mobilisation, Kräftigung und Dehnung des aktiven sowie passiven Bewegungsapparats abzielen, tragen sie ebenso dazu bei, einer fehlerhaften Haltung vorzubeugen (Rühl 1993, S. 2 - 6). Neben relativ einfach gehaltenen Anweisungen wie „Lassen Sie das Becken vor- und zurückwippen!“ oder „Verlagern Sie Ihr Gewicht mal mehr auf die rechte und mal mehr auf die linke Gesäßhälfte!“ (BAuA 2011, S. 22 f.), lassen sich auch spezifischere Trainingseinheiten finden, welche sich gezielt auf bestimmte Körperregionen richten, um den Oberkörper zu stabilisieren und bei länger andauerndem Sitzen zu entlasten.

Im Folgenden werden verschiedene Übungen vorgestellt, welche sich zur Steuerung der Spiele verwenden lassen. Auf Grund von Beschränkungen der Hardware, können die Übungen nicht zu 100 % mittels der Technik abgebildet werden. Es ist allerdings möglich die Haltung bzw. Bewegung des Anwenders auf Grundlage der Sensordaten abzuschätzen und bestimmten Übungen zuzuordnen.

Übung 1: Anziehen der Knie (Abb. 50)

Die Knie werden im Sitzen an den Körper herangezogen, sodass diese den Boden nicht mehr berühren, wobei der Oberkörper Halt an der Rückenlehne findet. Diese Haltung sollte für 10 bis 15 Sekunden gehalten werden, bis die Körperspannung nachlässt und eine Dehnung der Muskulatur spürbar wird. Das Anziehen der Knie dient der Stärkung von Gesäß- und Rückenmuskulatur (Rühl 1993, o. S., Übung 6.2). Da bei der Kalibrierung des Eingabegeräts das Oberkörpergewicht mit den Beinen auf dem Boden gemessen wird, führt das Anziehen der Knie zu einem Anstieg des aktuell gemessenen Drucks auf die Wägezellen, welcher ein Indiz dafür ist, dass der Spieler den Boden nicht mehr berührt. Befindet sich der Schwerpunkt dabei weiterhin in der Mitte des Sensors kann davon ausgegangen werden, dass der Spieler die Knie angezogen hat.



Abb. 50: Übung 1: Anziehen der Knie

Übung 2: Verschiebung der Schultern (Abb. 51)

Die Person sitzt zunächst aufrecht in mittlerer Körperhaltung, wobei die Hände auf den Oberschenkeln ruhen. Anschließend wird der Schultergürtel bei gerade gehaltenem Kopf und Becken von links nach rechts geschoben. Mit dieser Übung wird die Brustwirbelsäule trainiert, wobei die Bandscheiben durchgewalkt werden, was wiederum deren Nährstoffaufnahme ankurbelt (Dustmann et al. 2002, S. 64 f.). Diese Übung kann theoretisch mittels der Schwerpunktverlagerung auf der X-Achse des Controllers abgebildet werden. Allerdings ist nicht ersichtlich, ob der Anwender seinen Kopf sowie das Becken gerade hält. Generell trägt eine Links-



Abb. 51: Übung 2: Training der Brustwirbelsäule

Rechts-Bewegung des Oberkörpers zur Ernährung der Bandscheiben bei, weshalb sie sich auch ohne Fixierung der vorgegebenen Körperteile als Haltungsübung eignet.

Übung 3: Verdrehen des Oberkörpers (Abb. 52)

Die sitzende Person befindet sich in der mittleren aufrechten Sitzhaltung. Die Hände werden im Nacken verschränkt während der Oberkörper abwechselnd nach beiden Seiten verdreht wird. Die Übung dient der Mobilisierung der Schulter-Brust- und Armmuskulatur und sollte möglichst ohne ein Nachfedern des Körpers durchgeführt werden (Rühl 1993, o. S., Übung 9.1). Da die Rotation des Stuhls mittels des eingebauten Gyroskops gemessen werden kann, ist es möglich diese Bewegung weitestgehend abzubilden, wenn die Übung umgedreht wird. Demzufolge bleibt der Oberkörper stehen, wohingegen die Hüfte gedreht wird. Es kann angenommen werden, dass der mobilisierende Effekt der Übung auch auf diese Art der Anwendung eintritt. Da die Haltung der Arme des Nutzers nicht überprüft werden kann, entfällt möglicherweise eine positive Wirkung auf die Armmuskulatur.



Abb. 52: Übung 3: Mobilisierung von Schulter- Brust- und Armmuskulatur

Übung 4: Hände hinter den Rücken (Abb. 53)

Der Anwender sitzt in gerader Haltung und verschränkt seine Hände hinter dem Rücken. Die Hände werden durch Anspannung der Bauch- und Gesäßmuskeln mit dem Rücken gegen die Rückenlehne gedrückt. Anschließend wird die Muskulatur wieder entspannt, wodurch der Druck auf die Lehne gelöst wird und sich die Person wieder in der Ausgangshaltung



Abb. 53: Übung 4: Die Hände befinden sich auf dem Rücken, wobei Druck auf die Rückenlehne ausgeübt wird

befindet. Die Übung dient der Entlastung des Schultergürtels sowie der Brustwirbelsäule (VBG 2010) und lässt sich mit dem Eingabegerät verhältnismäßig präzise abbilden. So könnte bspw. die Vorgabe bestehen ausschließlich den mittleren FSR-Sensor an der Rückenlehne zu berühren. Da dies nur sehr schwer ohne die Hilfe der Hände zu erreichen ist, kann mittels des FSR-Sensors und eines nach hinten verlagerten Schwerpunkts relativ gut eingeschätzt werden, ob die Bewegung ausgeführt wurde.

Übung 5: Rumpfneigungen des Oberkörpers (Abb. 54)

Der Oberkörper wird langsam nach vorn geneigt, bis die Oberschenkel berührt werden. Dabei hängen die Arme locker herunter. Beim Zurückkehren in die Ausgangslage wird zuerst der Lendenbereich aufgerichtet und danach die Brustwirbel, bis sich der Körper wieder in der Normalhaltung befindet. Dabei dient die Übung zur Mobilisation der Schulter- und Rückenmuskulatur (Rühl 1993, o. S., Übung 6.1). Ein nach vorn Beugen lässt sich mittels des Schwerpunkts des Spielers gut abbilden. Welche Form die Wirbelsäule dabei einnimmt ist mit dem vorgestellten System allerdings nur schwer nachzuvollziehen. Dennoch kann die Bewegung nach vorn zur Ernährung der Bandscheiben beitragen und die Rückenmuskulatur stärken.



Abb. 54: Übung 5: Der Anwender lehnt sich vor und zurück, um die Rückenmuskulatur zu stärken

Übung 6: Fahrradfahren (Abb. 55)

Der Anwender sitzt im vorderen Bereich des Stuhls, während er sich mit den Händen seitlich abstützt. Die Beine werden angehoben und im Wechsel angezogen und ausgestreckt. Dies geschieht in einer kreisenden Bewegung ähnlich der Beinbewegung beim Fahrradfahren. Diese Übung dient der Mobilisation der Bein-



Abb. 55: Übung 6: Fahrradfahren

und Hüftmuskulatur (Rühl 1993, o. S., Übung 12.1). Wie bereits beschrieben lässt sich das Anheben der Beine relativ gut registrieren. Zwar ist es nicht möglich die Beinbewegung exakt abzubilden, allerdings entsteht durch die Kreiselbewegung der Beine ein stetig wechselnder Anstieg und Abfall des Drucks auf das Eingabegerät, welcher für eine spielerische Umsetzung denkbar wäre.

3.6.2 Umsetzung der Spiele

Im Folgenden Abschnitt wird die Umsetzung der beiden Posture Games auf Basis der zuvor beschriebenen Haltungsübungen behandelt. Hierin enthalten ist zunächst eine grobe Beschreibung des jeweiligen Spielablaufs, gefolgt von der Entwicklung der einzelnen Posture Games mittels der Unreal Engine 4.

Die Spiele können unter der Rubrik „Games“ im Hauptmenü der Anwendung ausgewählt werden (Abb. 56). In der Auswahlansicht erhält der Spieler Informationen darüber, worum es sich bei dem jeweiligen Posture Game handelt und mit welchen Körperbewegungen das Spiel gesteuert wird. Bei der Auswahl des Settings für die beiden Spiele stand im Vordergrund, dass sich der Spieler in der Umgebung wohl fühlt und für eine gewisse Zeit von dem Büroalltag abgelenkt wird. Dementsprechend wurden Umgebungselemente verwendet, welche die Natur widerspiegeln und eine positive Stimmung vermitteln sollen.

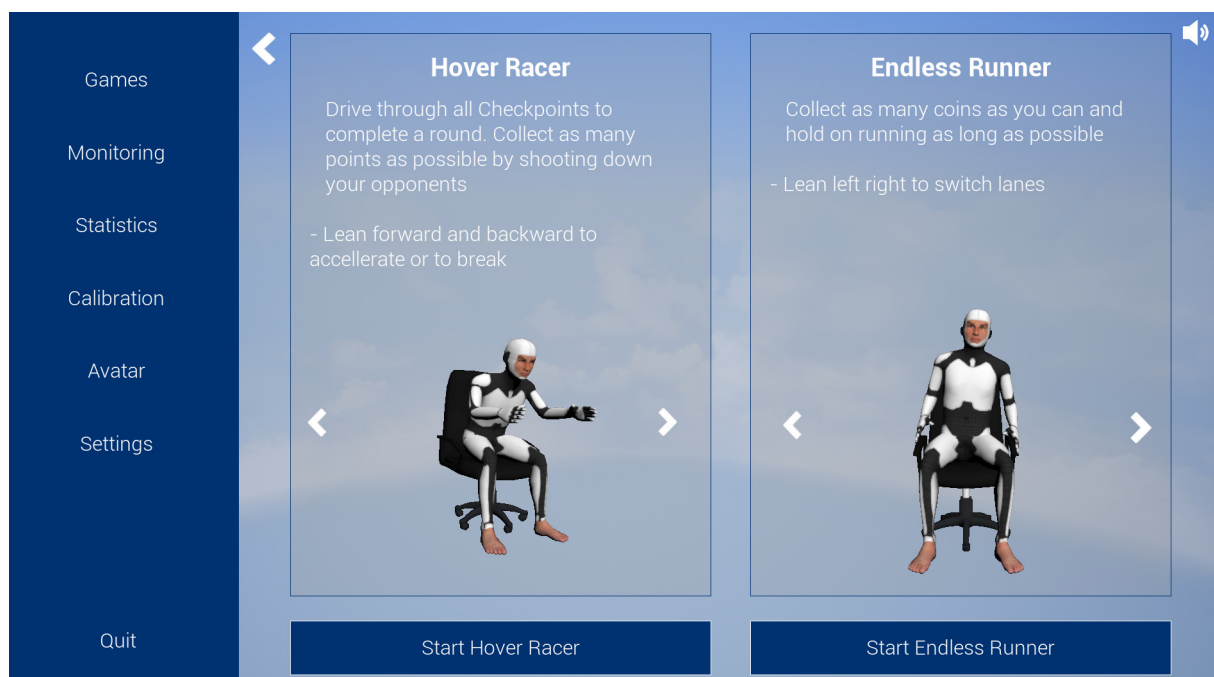


Abb. 56: Auswahl der beiden Posture Games im Hauptmenü der Anwendung

3.6.2.1 Hover Racer



Abb. 57: *Hover Racer: Ein Rennspiel mit Steuerung durch Bewegungen des Oberkörpers*

Bei dem Spiel Hover Racer (Abb. 57), steuert der Spieler ein fliegendes Auto (Hovercar) über eine kurvenreiche Rennstrecke. Das Setting besteht dabei aus Wüstenelementen sowie Felsen und Wasserabschnitten. Die verwendeten Assets des Rennspiels konnten zu einem großen Teil kostenlos aus dem Unreal Marketplace heruntergeladen werden (Epic Games 2019).

Ziel des Spiel ist es durch Tore (Checkpoints) entlang der Rennstrecke zu fahren und andere Fahrer auf der Bahn abzuschießen. Um eine Runde zu beenden, müssen alle auf der Strecke verteilten Checkpoints eingesammelt werden. Des Weiteren erhält der Spieler für jeden abgeschossenen Gegner einen Punkt. Wurde der Kurs drei mal abgefahren, ist das Rennen vorbei. Nach dem Rennen werden die schnellste Rundenzeit sowie die gesamt benötigte Zeit gespeichert, wenn der Spieler seine persönliche Bestzeit überbieten konnte (Abb. 58). Für die Steuerung des Spiels bzw. des Autos wurden Übung 3, 4 und 5 aus dem Kapitel „Übungen zur dynamischen Sitzhal-



Abb. 58: *Das Startmenü des Hover Racers mit Einblendung des Streckennamens, der Bestzeiten und des Highscores*

tung“ als Vorlage genommen. Um das Hovercar zu beschleunigen oder abzubremesen, muss sich der Spieler ähnlich wie in Übung 5 nach vorn und hinten lehnen. Die Stärke der Beschleunigung ist dabei vom Schwerpunkt des Spielers auf dem Eingabegerät abhängig. Liegt dieser über einem bestimmten Wert auf der Y-Achse, fährt das Hovercar entsprechend schneller. Die Lenkung des Rennwagens geschieht mittels der Rotation des Bürostuhls bzw. durch eine Drehung der Hüfte (Abb. 59). Diese wird über das eingebaute Gyroskop gemessen und deren Winkel auf das Hovercar übertragen.

Da das Auto auch während des Lenkens beschleunigt und auf den Bildschirm geachtet werden muss, ist der Spieler dazu angehalten, den Oberkörper gerade zu lassen während die Beckendrehung zur Steuerung genutzt wird.

Um Gegner abzuschießen werden die FSR-Sensoren an der Rückenlehne verwendet. Bei dem Druck auf den mittleren Sensor wird ein Schuss abgefeuert, mit welchem die Gegner von der Rennstrecke befördert werden können (Abb. 60). Damit möglichst viele Punkte gesammelt werden, ist es sinnvoll die Hände durchgehend auf dem Rücken zu lassen. Die Bewegung ähnelt an dieser Stelle Übung 4 für das Training der Bauchmuskulatur.

Grundlage der Programmierung des Spiels war ein Online-Tutorial, in welchem das Prinzip der Rundenzählung mittels Checkpoints erklärt wird (Unreal Engine 2015). Hierin enthalten ist ebenfalls der Aufbau eines Systems zur Speicherung der Rundenzeiten sowie der Zuordnung zu einem Gold-, Silber- und Bronze-Status.

Um die Schwebephysik des Autos und dessen Steuerung sowie die Gegner zu im-

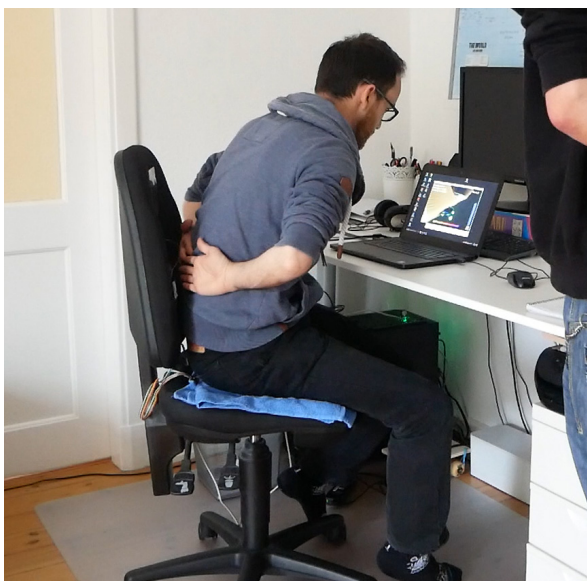


Abb. 59: Steuerung des Hover Racers mittels Drehung der Hüfte sowie einer Vor- und Zurück-Bewegung des Rumpfs



Abb. 60: Gegner werden durch Druck auf die FSR-Sensoren an der Rückenlehne ausgeschaltet

plementieren wurde eine Projektvorlage (Template) von Elhoussine Mehnik verwendet und angepasst (Mehnik 2018). Die Rennstrecke des Spiels konnte mit einem eigens programmierten Spline-Tool kreiert werden. Mit diesem ist es möglich, die gesamte Strecke an einem Pfad zu generieren und einzelne Streckenabschnitte auszutauschen. Dadurch kann die Bahn sehr flexibel mit Steigungen und Kurven aufgebaut und jeder Zeit angepasst werden (Abb. 61).

Der Spline wird ebenfalls von den Gegnern zur automatischen Steuerung verwendet. Sollte ein Kontrahent zu weit von dem Pfad abkommen wird dieser wieder in Richtung des Spline-Mittelpunkts gelenkt.

Nach verschiedenen Tests konnte festgestellt werden, dass die Lenkung anhand einer Stuhldrehung relativ schwierig ist und das Auto gelegentlich von der Bahn abkommt. Deshalb wurde eine ähnliche Streckenführung wie bei den Gegnern ebenfalls für den Spieler implementiert. Da es sich bei dem Spiel um eine Art Anti-Schwerkraft-Racer handelt, muss die Gravitation je nach Streckenführung anders gehandhabt werden. Damit der Spieler die Bahn nicht zu schnell verlässt, wurde ein eigenes System entworfen, mit welchem die Schwerkraft auf unterschiedliche Situationen in Echtzeit angepasst werden kann.

Auf Grund der Bewegungssteuerung mussten verschiedene Änderungen und Ergänzungen an dem Basis-Template vorgenommen werden. Die größte Herausforderung bei der Umsetzung des Spiels lag dabei in der Übertragung von Spielerbewegungen auf die Steuerung des Hovercars. Hierbei mussten diverse Variablen, wie bspw. Beschleunigung, Reibung, Schwerkraft oder auch das Gewicht des Nutzers, miteinander ausbalanciert werden, um das Spiel steuerbar zu machen. Darüber hinaus war es notwendig, die Steuerung ebenfalls mit einem Gamepad umzusetzen, da das Testen mit dem entwickelten Eingabegerät allein, sehr lange gedauert hätte. Generell besteht das Spiel aus sehr vielen verschiedenen Einzelscripten für bspw. die Gegner, Checkpoints, Powerups oder das Userinterface, wodurch die Umsetzung des Spiels sehr zeitaufwändig wurde.



Abb. 61: Aufbau der Rennstrecke mittels eines eigenen Spline-Tools

3.6.2.2 Endless Runner

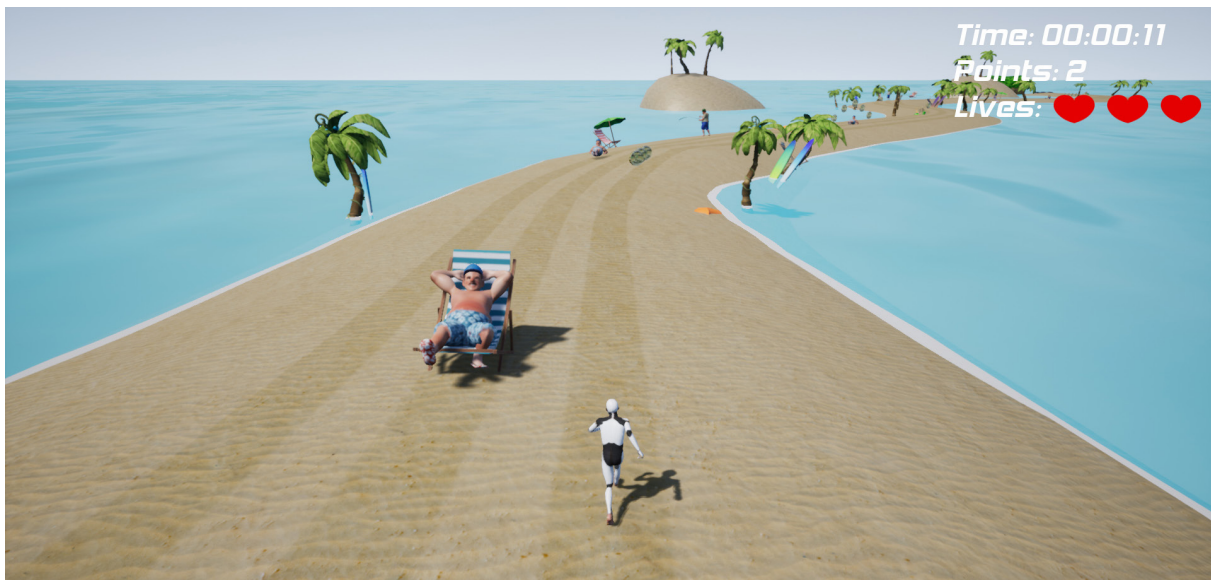


Abb. 62: Bei dem Spiel *Endless Runner* weicht der Spieler verschiedenen Hindernissen über drei Lanes auf der Strecke aus

Bei dem Spiel *Endless Runner* steuert der Spieler seinen Avatar entlang einer Strandkulisse, wobei ihm verschiedene Hindernisse den Weg versperren (Abb. 62). Diesen weicht der Spieler über drei Spuren (Lanes) aus, zwischen welchen gewechselt werden kann. Darüber hinaus können manche Hindernisse nur umgangen werden, wenn sich der Spieler duckt (Abb. 63) oder über das Objekt springt. Dabei läuft die Spielfigur selbstständig gerade aus und folgt stets der kurvigen Rennstrecke.

Entlang der drei Bahnen sind Münzen verteilt, welche der Spieler durch geschickte Manöver einsammeln kann, um Punkte zu erhalten. Berührt die Figur eines der Hindernisse, wird dem Spieler eins von drei Leben abgezogen. Anschließend wird das



Abb. 63: Der Avatar rutscht unter einem Hindernis hindurch

Spiel angehalten und die Figur an derselben Stelle neu gestartet, wobei das Hindernis automatisch aus dem Weg geräumt wird. Hat der Spieler alle Leben verloren, werden seine gesammelten Punkte gespeichert, wenn die bisherige Highscore überboten wurde. Darüber hinaus wird ebenfalls die Spieldauer gespeichert, wenn der Spieler länger durchgehalten hat als zuvor. Die Spielstrecke setzt sich fortlaufend zufällig aus

verschiedenen Teilabschnitten neu zusammen. Darüber hinaus ist die Anordnung der Hindernisse teilweise zufällig, weshalb jeder Durchlauf etwas anders abläuft.

Für die Bewegungssteuerung der Spielfigur dienen Übung 1 und 2 aus Abschnitt 3.6.1 als Grundlage. Der Wechsel des Avatars zwischen den drei Lanes ist durch die Schwerpunktverlagerung auf der X-Achse des Eingabegeräts möglich. Lehnt sich der Spieler bspw. nach links, läuft der Avatar auf der linken Spur. Sitzt der Spieler mittig auf dem Bürostuhl wird entsprechend die mittlere Spur vom Avatar verwendet (Abb. 64). Um unter Hindernissen hindurch zu rutschen, muss mehr Gewicht auf den Stuhl aufgebracht werden. Dies geschieht, indem der Spieler die Beine hebt und wie in Übung 1 gezeigt an den Körper heranzieht (Abb. 65).

Das Aufstehen vom Bürostuhl wird in der Literatur nicht explizit als Haltungsübung erwähnt, kann jedoch zur dynamischen Sitzhaltung gezählt werden und trägt zur Mobilisierung der Muskulatur bei. Verringert der Spieler sein Gewicht auf dem Eingabegerät, indem er den Oberkörper von der Sitzfläche löst, wird die Figur nach oben befördert, wodurch sich Hindernisse überspringen lassen (Abb. 66).

Die größte Herausforderung stellte bei diesem Spiel ähnlich zum Hover Racer die Übertragung der Bewegungen des Anwenders auf die Steuerung des Avatars dar. Besonders das Aufstehen und das Anziehen der Beine korrekt zu erkennen war deutlich schwieriger als erwartet. Dies liegt unter anderem daran, dass beim schnellen Aufstehen für einen kurzen Moment mehr Druck auf den Sensoren lastet, wenn



Abb. 64: Steuerung des Endless Runners mittels einer Links-Rechts-Bewegung des Oberkörpers für den Wechsel der Lanes



Abb. 65: Zieht der Spieler die Beine an, rutscht der Avatar unter einem Hindernis hindurch

sich der Spieler ruckartig nach vorn bewegt. Dadurch ist es schwierig zu ermitteln, ob der Spieler mit dem Avatar rutschen oder springen will. Mittels einer Zeitverzögerung ließe sich dieses Problem zwar beheben, allerdings entsteht hierdurch eine Verzögerung bei der Steuerung, wodurch das Manövrieren entlang der Strecke zusätzlich erschwert wird.

Das Spiel wird durch diverse Schwellenwerte bestimmt, wodurch die Implementierung der Steuerung erschwert wurde. So sollten die Wechsel der Lanes erst erfolgen, wenn sich der Spieler weit genug in eine Richtung gelehnt hat, um eine möglichst hohe Mobilisation des Bewegungsapparats zu erreichen. Da jeder Anwender beim Spielen eine unterschiedliche Sitzposition einnimmt und ein anderes Gewicht auf den Stuhl aufbringt, ist es schwer die Schwellenwerte für verschiedene Spieler korrekt zu berechnen, wodurch sich die Steuerung nicht immer gleich verhält.

Auf die Programmierung bezogen war die Realisierung der zufälligen Streckenabschnitte am aufwändigsten (Abb. 67). Hierbei musste ein System entworfen werden, bei dem jedes Ende eines Abschnitts zu dem Anfang des Folgeabschnitts passt. Da es zwei verschiedene spielbare Bereiche gibt (Gras und Sand) mussten ebenso Zwischenübergänge erstellt werden, welche die zufälligen Abschnitte miteinander verbinden. Die verwendeten 3D-Assets für das Spiel entstammen zum Teil aus vorangegangenen Projekten oder wurden speziell für das Strandsetting angefertigt.



Abb. 66: Steht der Spieler auf, überspringt der Avatar ein Hindernis

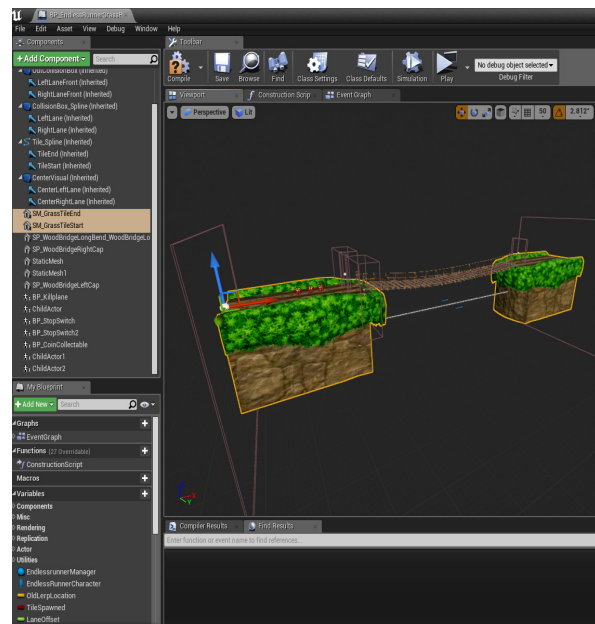


Abb. 67: Ein Teilabschnitt der Rennstrecke des Endless Runners

4 Analyse des Systems

In diesem Kapitel erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit dem vorgestellten System und dessen Wirkungsweise. Zu diesem Zweck wurden mehrere Interviews und Tests mit einer potenziellen Zielgruppe und Experten auf dem Gebiet der Orthopädie sowie Physiotherapie durchgeführt. Die Auswertung der Untersuchung erfolgt im ersten Teil dieses Abschnitts. Wie aus der Einleitung deutlich wurde, kann ein zu langes Sitzen und eine einseitige Beanspruchung der Wirbelsäule, besonders im Büroalltag, zu einer Schwächung der Muskulatur und somit zu einer Fehlhaltung führen. Aus diesem Grund umfasst die potenzielle Zielgruppe zunächst Personen, welche im Büro tätig sind und überwiegend im Sitzen arbeiten. In diesem Zusammenhang wurde keine genauere Zielgruppenanalyse durchgeführt, da sich der vorgestellte Versuchsaufbau noch in einem sehr frühen Stadium befindet und in weiteren Untersuchungen geklärt werden muss, für welche Zielgruppe oder auch Gruppen das System am geeignetsten ist. Nach der Interviewauswertung erfolgt die Darstellung der Grenzen sowie Möglichkeiten des Systems. Diese werden jeweils einzeln bezüglich des technischen Versuchsaufbaus als auch der Software präsentiert und beziehen sowohl eigene Erkenntnisse als auch durchgeführte Anwendertests mit ein.

4.1 Interviews

In dem vorliegenden Abschnitt erfolgt die Zusammenfassung der Ergebnisse aus verschiedenen Interviews sowohl mit potenziellen Endanwendern als auch mit Experten, welche den Versuchsaufbau aus ihrer Sicht bewerten haben.

In diesem sehr frühen Entwicklungsstadium des Forschungsprojektes sprechen verschiedenen Gründen gegen die Verwendung einer quantitativen Untersuchungsmethode zur Informationserhebung. Zum einen existiert nur ein einzelner Prototyp des Eingabegeräts, wodurch Testdurchläufe mit einer größeren Versuchsgruppe nur schwer zu realisieren sind. Darüber hinaus ist die Technik relativ empfindlich, weshalb eine massive Beanspruchung zu Fehlern der ausgelesenen Daten führen kann. Des Weiteren müsste das System über einen längeren Zeitraum getestet werden, um fundierte Aussagen über eine Haltungsverbesserung auf Grund des Systems treffen zu können. Da dies im Rahmen dieser Thesis aus zeitlichen Gründen und dem aktuellen Entwicklungsstand des Prototypen nicht möglich ist, wurden lediglich qualitative Methoden zur Untersuchung verwendet.

Die Befragung der potenziellen Zielgruppe fand auf Basis der qualitativ-offenen Be-

fragungsform des Leitfadeninterviews statt. Das Leitfadeninterview dient der Informationserhebung über das Forschungsprojekt und orientiert sich bei der Durchführung an vordefinierten Themen und Fragen. Dabei soll der befragten Person ein möglichst großer Freiraum zur Diskussion und die Möglichkeit gegeben werden, eigene Gedanken zu dem Thema beizutragen (Loosen 2016, S. 139 - 142).

Das Ziel der Anwendertests war es, einen ersten Eindruck davon zu bekommen, welche Einstellung die potenzielle Zielgruppe gegenüber dem vorgestellten System hat. Des Weiteren ist es für zukünftige Entwicklungen und weiterführende Forschungen auf dem Gebiet von Bedeutung, ob die Bewegungsspiele Anklang bei den Testern finden und ob sich die Endanwender einen Mehrwert von dem System versprechen. Darüber hinaus kann mittels des Leitfadeninterviews ein Eindruck darüber gewonnen werden, ob die als Zielgruppe definierte Personengruppe auch als Endanwender für das System in Frage kommt. Um fachkundige Informationen bezüglich des Versuchsaufbaus zu erhalten, wurden zwei Experteninterviews durchgeführt. Das Experteninterview gilt als ein leitfadengestütztes Gespräch mit einem Spezialisten, welcher auf Grund seines Fachwissens bezüglich des Themas zur Generierung neuer Erkenntnisse beiträgt (Blöbaum et al. 2016, S. 175 f.). Im Gegensatz zu der Zielgruppen orientierten Befragung dienen die Interviews mit den Experten im Zusammenhang dieser Abhandlung in erster Linie dazu herauszufinden, ob das System zur Verbesserung der Haltung beitragen kann und ob die Posture Games ein haltungsförderndes Potential besitzen. Darüber hinaus ist es notwendig, mittels fachkundiger Bewertungen sicherzustellen, dass die von den Anwendern durchgeführten Bewegungen beim Spielen keinerlei negative Auswirkungen auf den Bewegungsapparat des Nutzers ausüben.

Bei der Durchführung der Interviews wurde den Testern zunächst die entwickelte Hardware demonstriert und sowohl die Bedienung der Software als auch der Zweck des Systems erläutert. Anschließend erfolgte eine kurze Vorführung der Haltungsspiele mittels des Eingabegeräts. Nach der Einführung in die Funktionsweise des Versuchsaufbaus, wurde die Hardware eigenständig kalibriert. Nachdem diese erfolgreich war, fand zunächst eine Untersuchung des Überwachungsprogramms statt. Hierbei haben die Tester das System sowohl auf die Spiegelung der Bewegungen durch den Avatar ausprobiert als auch die Haltungsbewertung auf die eigene Haltung und Sichtweise überprüft.

Im Anschluss daran konnten die beiden Posture Games von den Testpersonen ausprobiert werden. Die im Spiel verbrachte Zeit richtete sich dabei nach dem persönlichen Interesse des Spielers, wobei die durchschnittlichen Spielzeiten ca. zwei bis vier Minuten pro Spiel betragen haben. Für die beiden Interviewarten wurde jeweils ein eigener Leitfaden erstellt, welcher bestimmte Themen und Fragestellungen be-

züglich der befragten Personengruppe enthält. Die Vorführung des Versuchsaufbaus sowie die durchgeführten Interviews wurden mit einer Kamera aufgezeichnet und anschließend stichwortartig transkribiert, um im Folgenden zusammenfassend wiedergegeben zu werden.

Die Tests wurden zum Teil bei den befragten Personen privat durchgeführt. Auf Grund der besseren Mobilität, wurde das Eingabegerät mit den vor Ort zur Verfügung stehenden Bürostühlen getestet. Dabei war es aus Zeitgründen und wegen unterschiedlichen Aufhängungen nicht möglich, die Hardware unter der Sitzfläche zu montieren. Vorangegangene Tests haben gezeigt, dass das Eingabegerät auch lose auf der Sitzfläche die entsprechenden Messwerte liefern kann. Dementsprechend war es möglich, die Anwender- und Expertentests auch ohne eine Montage des Eingabegeräts durchzuführen.

4.1.1 Leitfadeninterviews mit einer potenziellen Zielgruppe

Die Testgruppe für die Interviews des vorliegenden Abschnitts bestand aus vier männlichen und einer weiblichen Personen im Alter von 31 bis 65 Jahren. Da der Fokus des Versuchsaufbaus in erster Linie auf der täglichen Anwendung im Büro liegt, wurde die Versuchsgruppe auf Grundlage einer überwiegend im Sitzen ausgeführten Tätigkeit am Bildschirm ausgesucht. Die Inhalte der einzelnen Interviews wurden im Folgenden anhand der getroffenen Aussagen verschiedenen Themenbereichen zugeordnet.

1. Haltung am Arbeitsplatz:

Im Durchschnitt verbringen die befragten Personen zwischen 5 bis 6 Stunden täglich an einem Bildschirmarbeitsplatz. Die im Sitzen verbrachte Arbeitszeit ist dabei abhängig von den jeweilig auszuführenden Tätigkeiten und kann von Tag zu Tag variieren. Des Weiteren sitzen die Befragten meist nicht über mehrere Stunden hintereinander. Bezüglich der Sitzhaltung am Arbeitsplatz ordneten sich die Interviewten selbst überwiegend der vorderen Sitzhaltung zu, wobei diese zeitweise durch die mittlere und hintere Haltung abgelöst wird. Darüber hinaus leiden nur zwei der Probanden an gelegentlich auftretenden Schmerzen im Brustwirbelbereich bei einer längeren Tätigkeit im Sitzen.

2. Haltungsspiele:

Generell wurde die Steuerung der Posture Games durch Handlungsveränderungen auf dem Bürostuhl als unterhaltsam und ausgefallen bewertet. Darüber hinaus versprechen sich die Versuchspersonen eine Verbesserung der Haltung auf Grund von kur-

zen Pausen, in welchen die Spiele gespielt werden können. Hierbei wurde allerdings auch erwähnt, dass eine stehende Bewegungspause vermutlich eher zur Entlastung des Bewegungsapparats beitragen würde. Bezüglich der Verwendung von Bestzeiten und Punkteständen, sind die Befragten der Meinung, dass diese durchaus dazu beitragen können, die Haltungsübungen öfter durchzuführen. Hierbei wurde vermehrt geäußert, dass sich die motivierende Wirkung steigern ließe, wenn ein wettkampfbezogenes Spielen unter den Arbeitnehmern möglich wäre.

Die Steuerung des Rennspiels wurde von den Probanden gegenüber dem Endless Runner als ausgereifter befunden. Auf Grund der genaueren Steuerung betrachteten mehrere Tester dieses Posture Game bzw. dessen Spielweise als angenehmer.

Bezüglich des Spassfaktors gehen die Meinungen der Tester auseinander. Hierbei empfand ein Teil der Gruppe den Endless Runner als unterhaltsamer, da die Bewegungsabläufe vielseitiger sind und das Spiel einen höheren Einsatz an Bewegung erforderlich macht. In diesem Zusammenhang kam allerdings auch eine unzureichende Präzision bei der Übertragung von Körperbewegungen auf den Avatar zur Sprache.

3. Haltungsüberwachung:

Die korrekte Einschätzung der Haltung ist wie bereits beschrieben mittels der verbauten Sensoren nicht direkt möglich. Dies wurde auch durch die Probanden mehrfach hervorgehoben und kritisiert. Dennoch wurde die Haltungsbewertung trotz ihrer Schwächen als eine gute Möglichkeit angesehen, einen generellen Eindruck über das persönliche Sitzverhalten zu erlangen und wird von den Testpersonen als sinnvoll erachtet. In diesem Zusammenhang wurde ebenfalls die Kontrolle über die gesessene Zeit positiv hervorgehoben. Bedenken wurden allerdings gegenüber der Aufdringlichkeit von Warnungen geäußert. Hierbei scheint es besonders wichtig zu sein, dass die Möglichkeit besteht diese manuell abzuschalten.

4. Einsatzmöglichkeiten aus Anwendersicht:

Generell kommt der Einsatz des Systems für die Befragten im Büro in Frage. Allerdings ist dessen Nutzung nicht grundsätzlich für alle Probanden bei der Arbeit praktikabel. Hierbei wurde bspw. ein häufiges Aufstehen während verschiedener Tätigkeiten oder eine flexible Arbeitsplatzgestaltung mittels höhenverstellbarer Schreibtische genannt. Auch wenn es nicht immer möglich ist, die Hard- und Software zu verwenden, könnten sich die Personen vorstellen, zwischendurch Haltungsspiele zu spielen, wenn der Arbeitgeber die notwendige Technik zur Verfügung stellt. Für die private Nutzung kam der Versuchsaufbau für die Tester hingegen nicht in Frage, da die verbrachte Zeit am privaten Computer zu gering sei. Des Weiteren wurde von den Testanwendern ange-

bracht, dass für einen Einsatz des Systems die Zustimmung der Führungsperson bzw. dem Entscheidungsgremium des Unternehmens erforderlich wäre.

5. Einsatzmöglichkeiten aus Sicht einer Führungsperson:

Generell wäre es möglich, ein solches System bei der Arbeit einzuführen, allerdings dürfen die Spielintervalle einen vertretbaren prozentualen Anteil auf die Arbeitszeit nicht überschreiten. Als Beispiel wurde hierbei eine Spielzeit von zwei Minuten jede halbe Stunde als ein zu hoher Ausfall an Arbeitszeit angesehen. Im Gegensatz dazu könnten die Haltungsspiele allerdings bei einer nachgewiesenen Wirkung dazu beitragen, Ausfallzeiten durch Krankheit zu minimieren, was für den Einsatz des Systems sprechen würde. Es müsste die Möglichkeit bestehen, die Software von Seiten des Unternehmens in der Art einzuschränken, dass bspw. nur jede Stunde für eine begrenzte Zeit gespielt werden kann. Je nachdem über welche Zugriffsrechte der Arbeitgeber verfügt, muss darüber hinaus geklärt werden, in wieweit eine Kontrolle des Systems vom Unternehmen zulässig ist. Generell müsste zunächst eine Rücksprache mit dem Betriebsrat gehalten werden, um den Einsatz der Hard- und Software zu diskutieren.

6. Anregungen und Verbesserungen:

Bezüglich der freien Einstellung von Zeitintervallen sowohl für Warnungen als auch für Spiele, wurde vermehrt der Wunsch nach einem Hinweis für die optimale Zeiteinstellung geäußert. Ein weiterer Vorschlag bestand darin, die Überwachung auf ein kleines Ampelsystem zu minimieren, bei welchem der Anwender sein Sitzverhalten jeder Zeit verfolgen kann und sich das komplette Programm über die kleinere Schaltfläche ausklappen lässt. Des Weiteren wurde vorgeschlagen, einen Vibrationsimpuls über den Stuhl zu übermitteln, sobald eine fehlerhafte Haltung eingenommen wurde, um störende Bildschirmwarnungen zu umgehen. Es wurde ebenfalls erwähnt, dass sich ein Einsammeln von Münzen bei dem Hover Racer positiv auf die Motivation ausüben könnte. Ein zusätzlicher Vorschlag bestand darin, ein System zu implementieren, welches dem Anwender die Spielsteuerung erklärt, sobald dieser mit den erforderlichen Bewegungen nicht zurecht kommt.

4.1.2 Experteninterviews

Um fachkundige Informationen zu erhalten, wurde eine Physiotherapeutin/Manualtherapeutin (i.F. Physiotherapeutin) sowie ein Orthopäde/Rheumatologe (i.F. Orthopäde) bezüglich der Haltungsverbesserung im Zusammenhang mit dem vorgestellten Sys-

tem interviewt. Die Aussagen der Befragung wurden an dieser Stelle zusammengefasst und verschiedenen Themenbereichen zugeordnet.

1. Haltungsbeschwerden als Krankheitsbild:

Annähernd 40 % der Patienten kommen auf Grund von Schulterproblemen oder Rückenschmerzen zwecks einer Behandlung zu den befragten Experten. Laut des Orthopäden lässt sich dabei nicht genau einordnen wie viel Prozent der Patienten auf Grund einer sitzenden Bürotätigkeit einen Arzt aufsuchen. Die Ursache der Schmerzen ist dabei sehr vielfältig, wobei Probleme häufig durch eine zu schlecht ausgeprägte Muskulatur entstehen. Diese führt wiederum dazu, dass sich die Haltung verschlechtert. Dies gilt sowohl für die Arbeit im Sitzen als auch im Stehen, dementsprechend ist es schwierig, eine falsche Sitzhaltung für Rückenprobleme verantwortlich zu machen. Allerdings kann gesagt werden, dass ein vermehrtes Sitzen dazu führen kann, dass sich die Haltemuskulatur verschlechtert, wodurch Haltungsprobleme auftreten.

2. Haltungsspiele:

Die allgemeine Einstellung der Experten bezüglich der Haltungsspiele ist, dass sie sich dazu eignen den Oberkörper zu mobilisieren und dem Abbau von Haltemuskeln entgegenwirken können. Dabei sind beide Bewegungsspiele für unterschiedliche Bereiche des Bewegungsapparats zuträglich. Mit dem Rennspiel werden eher die Rotatores angesprochen, welche maßgeblich an der Haltung beteiligt sind. Der Endless Runner sorgt dem gegenüber für eine größere Beanspruchung der Muskulatur auf Grund des Aufstehens und dem Anziehen der Beine. Durch das Anbieten der beiden unterschiedlichen Steuerungsvarianten lassen sich verschiedene Muskelgruppen ansprechen, wobei die Bewegungen zur Ernährung der Wirbelsäule beitragen.

Bei der Frage, welche Übung für die Haltungsverbesserung besser geeignet ist, gehen die Meinungen der Experten auseinander. Prinzipiell ist jede Bewegung, egal in welcher Art und Weise besser als keine Bewegung. Die Belastungen sind bei den Bewegungsspielen derart gering, dass die Frage nach einer Schädigung des Bewegungsapparats auf Grund von falschen Bewegungen in diesem Zusammenhang zu vernachlässigen ist.

Aus Sicht der Experten muss der Mensch letztendlich selbst die Motivation aufbringen, sich bezüglich seiner Haltung verbessern zu wollen. Die spielerische Umsetzung der Haltungsübungen mit Punkteständen und Bestzeiten kann dabei helfen, diese zu bewahren. Laut des Orthopäden könnte das System als solches als eine Art Hilfsmittel zur Aufrechterhaltung der Motivation bezüglich der Haltungsverbesserung verstanden werden.

3. Haltungsüberwachung und Technik:

Auch hier wurde die unpräzise Einstufung der Haltung bemängelt. So wurde kritisiert, dass eine gerade Haltung eingenommen werden kann, ohne die Rückenlehne zu berühren, wobei die Haltung von der Software als schlecht eingestuft wird. Dennoch ist die Bewertung mittels der Rückenlehne ein guter Ansatz, da diese ein Zusammensacken des Oberkörpers verhindert und die physiologische Wirbelsäulenkrümmung aufrechterhält.

Prinzipiell liegt das eigentliche Problem bei der Haltung im Beckenbereich und nicht wie viele denken an den Brustwirbeln. Dementsprechend spielt die Sitzfläche eine wichtige Rolle dabei, ob eine gute Haltung eingenommen werden kann. Es ist stark vom Stuhl abhängig, ob dieser eine ausreichende Stützfunktion bietet und die physiologische Haltung unterstützt. Generell kann das Berühren der drei Kontakte an der Rückenlehne und eine dazugehöriger Hinweis helfen, die Rückenlehne zur Stützung des Oberkörpers zu nutzen. Das Warnsystem ist in der derzeitigen Form eher weniger dazu geeignet vor einer fehlerhaften Haltung zu schützen. Allerdings spielt gerade die Haltungskonstanz eine entscheidende Rolle bei der Ursache von Rückenproblemen, welche mittels der Software erkannt und somit vermieden werden kann.

Bezüglich der zeitlichen Abstände, wann eine Warnung ausgegeben werden soll, gehen die Meinungen der Experten etwas auseinander. Während von dem Orthopäden einen Abstand von 20 bis 30 Minuten bezüglich der Warnung vor einer Haltungskonstanz vorgeschlagen wurde, ist die Physiotherapeutin der Meinung das diese bereits nach wenigen Minuten ausgegeben werden sollten. Darüber hinaus ist nicht klar ersichtlich in welchen Abständen spielerische Haltungsübungen durchgeführt werden sollten. Hier erstreckt sich die Zeitspanne zwischen 15 und 30 Minuten. In der Literatur lassen sich diesbezüglich ähnliche Richtwerte von 10 bis 20 Minuten finden (Glöckl / Breithecker 2014, S. 48). Da jede Person unterschiedlich ist und einer anderen Arbeit nachgeht ist es dementsprechend schwer zu sagen, wann solche Übungen eingelegt werden sollten. Generell gilt es Haltungskonstanz weitestgehend zu vermeiden und die Muskulatur so oft es geht zu entlasten.

4. Vorschläge zur Verbesserung:

Da die Körperhaltung mittels des Systems nicht genau abgebildet werden kann, kam von der Physiotherapeutin der Vorschlag, eine Art Spiel zu entwickeln, bei welchem der Spieler vorgegebene Haltungsübungen nachmacht. Laut ihrer Aussage ist es ein großes Problem, dass die Übungen von den Patienten nicht von allein durchgeführt werden. Oftmals liegt es daran, dass sich die Patienten die Bewegungsabläufe des

Trainings nicht merken und ein Nachschlagen aus Zeitgründen vermieden wird. Wenn die Übungen am Bildschirm angezeigt und die Haltung mittels des Systems abgeglichen wird, würde ein zusätzlicher Aufwand für den Patienten entfallen. Das könnte dazu führen, dass die Übungen eher durchgeführt werden. Diese annähernde Kontrolle ließe sich zu Motivationszwecken spielerisch umsetzen, indem der Spieler bspw. Punkte für die durchgehaltene Zeit einer Übung bezüglich der Körperstreckung erhält. Darüber hinaus wurde zu der Implementierung einer Anpassungsmöglichkeit des Farbschemas zur individuellen Gestaltung angeregt und die Empfehlung unterbreitet, eine persönliche Auswahl der Hintergrundmusik zu integrieren. Ein weiterer Vorschlag bestand darin, den Avatar spiegelverkehrt bei der Überwachung anzuzeigen, da die scheinbar gegensätzlichen Bewegungen der Figur irritierend wirken können.

4.1.3 Zusammenfassung der Interviews

Die Interviews liefern einen guten ersten Eindruck darüber, wie das System von einer potenziellen Zielgruppe aufgenommen werden kann. Das eigentliche Fazit aus den Anwenderinterviews ist, dass die Bewegungssteuerung zur Haltungsverbesserung durchaus Anklang findet. Allerdings wird es vermutlich schwierig sein, das Spielen auf Grund verschiedener Hürden in den Arbeitsalltag zu integrieren.

Des Weiteren wurde von den Experten bestätigt, dass die Haltungsspiele einen Beitrag zur Haltungsverbesserung leisten können und eine dynamische Sitzhaltung fördern. Da die Wirkung allerdings stark abhängig ist, wie oft und wie lange die Spiele gespielt werden ist es fraglich, ob sie auch im Büroalltag eine Auswirkung auf die Haltung besitzen. Die Haltungsüberwachung wurde von den Probanden als sinnvoll angesehen. Dabei werden Schwächen der Hardware in Kauf genommen, da das System generell dazu beiträgt Haltungskonstanz zu vermeiden. Aus medizinischer Sicht ist eine genaue Bewertung der Haltung für die Verbesserung der Haltung nicht zwingend erforderlich. Alles was dazu beiträgt, dass eine feste Haltung nicht über eine längere Zeit eingenommen wird, kann als Beitrag zur Haltungsverbesserung gewertet werden.

Für weitere Untersuchungen muss die Zielgruppe weiter präzisiert und Tests mit einem breiter gefächerten Adressatenkreis durchgeführt werden. Die in den Interviews befragte Personengruppe bezog sich lediglich auf Büromitarbeiter, wodurch sich nur sehr oberflächliche Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit des Systems schließen lassen. Dennoch konnten wichtige Informationen bezüglich der Einstellung gegenüber dem System gesammelt werden, welche die Basis für weitere Befragungen und Zielgruppendefinitionen liefern können.

4.2 Möglichkeiten und Grenzen des Systems

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Technologie und der realisierten Anwendung dargestellt. Hierbei werden sowohl verschiedene Hürden bei der Umsetzung des Eingabegeräts verdeutlicht als auch Schwierigkeiten bei der Programmierung der Software aufgezeigt. Darüber hinaus werden gesammelte Erkenntnisse bezüglich des Themenbereichs dargelegt und verschiedene Vorteile der verwendeten Bestandteile des Systems diskutiert.

4.2.1 Analyse der Technik

Ein großes Problem sowohl bei der Umsetzung von Spielen als auch der Haltungsüberwachung stellt die Ungenauigkeit der Sensoren dar. Die von dem verwendeten Gyroskop gelieferten Daten sind zwar relativ genau, allerdings nur wenn ein bestimmter Schwellenwert in die Datenerhebung eingerechnet wird, um einen Winkeldrift zu vermeiden. Das hat zur Folge, dass kleinere Drehungen nicht mehr erkannt bzw. weggerechnet werden. Dadurch kam es bei diversen Tests dazu, dass die Lenkung des Rennspiels beeinflusst wurde. Wenn der Spieler mehrfach kleinere Drehungen vollzieht kann es passieren, dass der Bürostuhl leicht gedreht werden muss, um weiter geradeaus zu fahren. Bei einer geringeren Spielzeit von wenigen Minuten wäre dies noch zu vernachlässigen, bei einem wiederholten Spielen ist es allerdings notwendig das Gyroskop erneut zu kalibrieren.

Bei den Load Cells kam es oftmals zu größeren Schwankungen bezüglich des gemessenen Drucks. Es kann passieren, dass sich das Gewicht für einen geringen Zeitraum drastisch erhöht oder senkt und anschließend wieder einpendelt. Zu sehen sind diese willkürlichen Schwankungen innerhalb des Monitorings. Hierbei kommt es gelegentlich dazu, dass sich der Avatar setzt oder aufsteht, obwohl sich der Anwender nicht bewegt hat. Diese Schwankungen können sowohl an den Sensoren selbst als auch an der Verkabelung des Eingabegeräts liegen. Theoretisch ließen sich die Messspitzen filtern, indem zunächst mehrere Daten hintereinander ausgelesen und anschließend ein Durchschnitt berechnet wird. Darüber hinaus wäre es möglich mittels des Gewichts einen Schwellenwert bei der Datenmessung festzulegen. Da die verwendeten A/D-Wandler in ihrer Grundeinstellung eine nur geringe Lesegeschwindigkeit besitzen, wurde auf das Filtern der Daten verzichtet.

Bei der Steuerung des Endless Runners stellen diese Schwankungen ein großes Problem dar. Somit kann es dazu kommen, dass der Avatar springt oder die Bahn wech-

selt, obwohl sich der Spieler nicht bewegt hat. Darüber hinaus führen die langsamen Lesegeschwindigkeiten zu einer Verzögerung im Spielablauf, wodurch sich der Spieler benachteiligt fühlen kann.

Die FSR-Sensoren liefern zunächst relativ stabile Daten. Das ist auch darauf zurück zu führen, dass deren Empfindlichkeit manuell auf den Spieler eingestellt werden kann. Bei längerem Spielen kann es allerdings dazu kommen, dass der Sensor über einen gewissen Zeitraum eingedrückt wird und nicht wieder in seine Ausgangsstellung zurück fällt. Dies führte bei dem Rennspiel gelegentlich dazu, dass das Auto permanent neu gestartet wurde oder ein manuelles Schießen nicht mehr möglich war.

Ein Vorteil der verwendeten Technik sind die relativ geringen Anschaffungskosten und die leicht zugängliche Programmierung des Microcontrollers. Da es sich bei der Umsetzung lediglich um eine prototypische Überprüfung der Realisierbarkeit eines Systems zur spielerischen Haltungsverbesserung handelt, können die genannten Schwächen für den Versuchsaufbau vernachlässigt werden. Die Verwendung von einzelnen Sensoren, welche modifiziert oder teils selbst entwickelt wurden, hat den Vorteil, dass sich die Zusammenstellung der Sensoren sehr flexibel gestaltet. So konnte die Größe der FSR-Sensoren bspw. selbst bestimmt und ihrem Zweck entsprechend angefertigt werden. Auf diese Weise war es möglich ein System zu erstellen, welches in einen Bürostuhl eingebaut werden kann, ohne dass das Sitzverhalten dabei beeinträchtigt wird. Dies wäre mit vorgefertigten Bauteilen wie bspw. der Verwendung eines Wii Balance Boards und einem externen Gyroskop vermutlich nicht ohne weiteres realisierbar gewesen. Somit war es trotz der beschriebenen Fehler bei der Datenerfassung möglich, funktionsfähige Haltungsspiele zu entwickeln, welche laut der Experten eine Wirkung auf die Haltung des Anwenders aufweisen können.

4.2.2 Analyse der Software

Die Erstellung des Arduino-Programms zog sich über die gesamte Dauer des Projekts. Hierbei wurden verschiedene Programmierfehler erst deutlich, nachdem die Daten in der Unreal-Engine verwendet wurden. Dementsprechend fand eine stetige Überarbeitung sowohl auf seiten der Engine als auch der Arduino-Software statt.

Grundsätzlich war die Verwendung der Unreal Engine ideal, um sowohl die Spiele, als auch die Software-Anwendung miteinander zu vereinbaren. Auf Grund der auf Blueprints basierenden Programmierung, war es gut möglich verschiedene Funktionen bezüglich der Datenerfassung relativ schnell zu implementieren und zu überarbeiten. Darüber hinaus lassen sich für die Anbindung des Arduinos, aber auch bezogen auf

die Programmierung von Spielen, viele Tipps in diversen Foren finden, welche die Arbeit an dem Projekt erheblich erleichtert haben.

Für eine fortgeschrittenere Anwendung müssten allerdings Untersuchungen bezüglich der erforderlichen Rechenleistung für die Software durchgeführt werden. Es war zwar möglich die Bildrate bei den Spielen konstant zu halten, allerdings ist nicht zu erwarten, dass in jedem Büro die erforderliche Leistung zur Berechnung der Spiele zur Verfügung steht. Somit muss für weitere Entwicklungen darüber nachgedacht werden, ob möglicherweise bessere Alternativen für eine Entwicklung der Software bestehen. Die Implementierung des Monitorings stellte den ersten Schritt der Anwendungsrealisierung dar und beinhaltete zunächst die Entwicklung eines Transfersystems bezüglich der zu übermittelnden Daten an die Engine. Hierbei wurden bspw. Funktionen implementiert, welche kontrollieren, ob der Anwender sitzt oder welche sein Gewicht berechnen. Die Umsetzung des Kalibrierungs-Systems war an dieser Stelle von besonderer Bedeutung, da eine Datenerhebung nur möglich ist, wenn das Eingabegerät richtig eingestellt ist. Hierbei wurde wesentlich mehr Zeit für die Realisierung benötigt als zunächst angedacht war.

Es ist bspw. notwendig, dass die Kalibrierung fehlschlägt, sobald auch nur kleinere Fehler bezüglich der Messwerte auftauchen. Ungenaue Daten wie bspw. ein falscher Ausgangswinkel des Gyroskops oder ein falsches Gewicht des Anwenders haben zur Folge, dass die Spielsteuerung nicht mehr korrekt funktioniert oder eine Haltungsüberwachung nicht mehr möglich ist. Folglich wurden alle Eventualitäten durchexerziert, damit das System auch bei den vielseitigeren Anwendertests zuverlässig funktioniert und sich eine falsche Kalibrierung nicht negativ auf die Anwendung auswirkt.

Das Anlegen des Monitorings zu Beginn der Programmierung hatte den Vorteil, dass hier bereits auf die korrekte Datenübermittlung geachtet werden musste, wodurch die weitere Verwendung der Sensordaten bezüglich der Haltungsspiele erleichtert wurde. Hierbei hat das Übertragen der Messdaten auf den Avatar des Nutzers geholfen, die von der Hardware übermittelten Informationen zu überprüfen.

Bei der Produktion der Spiele wurde zunächst nach Übungen gesucht, welche sich mittels der Hardware spielerisch umsetzen lassen. Da Rennspiele und Endless Runner weit verbreitete Spielekategorien sind, war es zu Beginn der Umsetzung wahrscheinlich, dass sich hierzu die nötige Hilfestellung bei der Programmierung im Internet finden lässt. Da einige der recherchierten Haltungsübungen zu den Bewegungsabläufen der Steuerung passte, wurde sich für eine Umsetzung der beiden Kategorien entschieden. Nach verschiedenen Selbsttests und Analyse der Probanden wurde deutlich, dass sich die beiden Konzepte zwar für eine Umsetzung eignen, es aber vermutlich bessere Spielkonzepte für die Bewegungssteuerung mittels der Sensoren gibt.

Die Bewegungsabläufe des Endless Runners hätten sich bspw. mit einem Fußballspiel, bei dem der Spieler Bälle vor einem Tor fangen muss, besser umsetzen lassen. Hierbei wäre es möglich gewesen, den Fokus eher auf die Präzision des Spielers und nicht auf dessen Reaktionsgeschwindigkeit zu legen. Damit hätten sich die teils langsamen und ungenaueren Messwerte der Wägesensoren vermutlich ausgleichen lassen, was zu einer besseren Spielerfahrung geführt hätte.

Wie von den Experten vorgeschlagen, wäre darüber hinaus ein eher medizinischer Ansatz vorstellbar, welcher sich auf die Nachahmung von konkreten Haltungsübungen mittels eines digitalen Trainers stützt. Hierbei wäre es denkbar, dass diese Art der Umsetzung für eine größere Zielgruppe geeignet ist, da der medizinische Charakter eine gewisse Seriösität impliziert.

Bei weiteren Entwicklungen ist es notwendig, verschiedene Konzepte zunächst grob anzulegen und auf ihre Spielbarkeit zu überprüfen. Allein von der Überlegung zur Steuerung ist es sehr schwer abzuschätzen, ob eine Spielmechanik im Zusammenhang mit dem Eingabegerät funktioniert. Im Fall der Posture Games mussten sehr viele Kompromisse eingegangen werden, um die Bewegungssteuerung auf die Spiele anzupassen. Demnach ist es ratsam zuerst die Mechanik in kleinerem Maßstab auszuprobieren und ggf. zu verwerfen. Dies war im Rahmen der Thesis nicht möglich, da gerade bei dem Ausprobieren verschiedener Mechaniken sehr viel Zeit benötigt wird. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Mechaniken und Ideen direkt zu Beginn mit der Zielgruppe und Experten zu testen, um herauszufinden, ob das Spiel zum einen von der Zielgruppe angenommen wird und zum anderen ob es einen medizinischen Mehrwert besitzt.

5 Fazit

Das Fazit der Thesis setzt sich zunächst kritisch mit den im Laufe der Ausarbeitung gesammelten Erkenntnissen auseinander und fasst diese abschließend zusammen. Die sich dabei ergebenden, offenen Fragen werden daraufhin in einem Ausblick auf weiterführende Forschungen und Untersuchungen genauer behandelt.

5.1 Erkenntnisse

Die Realisierung des Eingabegeräts und der Software haben verdeutlicht, dass es möglich ist, ein System zur spielerischen Verbesserung der Haltung im Sitzen mit relativ einfachen Mitteln zu entwerfen. Darüber hinaus konnten erste Informationen bezüglich der Nutzung und Wirkung des vorgestellten Systems gesammelt werden. Dabei wurde deutlich, dass das behandelte Thema sehr komplex ist und diversen Einflüssen unterliegt.

Bei der Realisierung war es notwendig, sowohl technische als auch medizinische und spielerische Faktoren unter der Berücksichtigung einer potenziellen Zielgruppe zu vereinen. Demzufolge ist es nur schwer möglich, das Gebiet umfassend zu bearbeiten, weshalb die vorgelegte Abhandlung lediglich einen ersten Überblick über das Thema und eine Möglichkeit zur technischen Umsetzung liefern konnte. Es müssen weitere Untersuchungen bezüglich der Wirkungsweise und Einsatzbereichen des Systems unternommen werden, um ein umfassenderes Bild über die Haltungsverbesserung mittels des Versuchsaufbaus zu erhalten.

Im Verlauf der Bearbeitung wurde immer deutlicher, dass es sehr schwer ist, die Körperhaltung einer Person mit technischen Hilfsmitteln eindeutig zu bestimmen. Besonders kompliziert ist die Ermittlung der Haltung allein durch Sensoren, welche nicht am Körper getragen, sondern in den Stuhl integriert sind. Darüber hinaus ist das Thema Haltung nur sehr schwer greifbar zu machen, da jeder Körper unterschiedlich ist und keine klaren Definitionen von guter oder schlechter Haltung existieren.

In Gesprächen mit den Experten und auf Grund der Literatur wurde deutlich, dass die Haltungskonstanz eine entscheidende Rolle bei der Haltungsverbesserung spielt und die Überwachung der Haltung am Arbeitsplatz in jedem Fall sinnvoll ist. Es bietet sich an, bei einem System, welches auf die spielerische Umsetzung von Haltungsübungen abzielt, die vorhandene Sensorik ebenfalls zur Haltungsüberwachung zu nutzen. Im Vergleich zu tragbaren Sensoren, welche kommerziell erhältlich sind, hat das System den Vorteil, dass für die Überwachung keine Sensoren am Körper befestigt wer-

den müssen. Da auch diese eine Wirbelsäulenkrümmung in der Regeln nicht exakt ermitteln können und ähnliche Schwierigkeiten bei der genauen Haltungserkennung aufweisen, stellt der mit Sensoren präparierte Bürostuhl eine gute Alternative zur Haltungsüberwachung dar. Darüber hinaus hebt sich der vorgestellte Versuchsaufbau anhand seiner spielerischen Elemente deutlich von vergleichbaren Anwendungen ab, was für eine weitere Untersuchung des Themenfeldes spricht.

5.2 Ausblick

Die vorliegende Abhandlung konnte einen ersten Überblick darüber liefern, mit welchen Mitteln sich die Sitzhaltung spielerisch verbessern lässt und wie ein solches System konkret aussehen kann. Bei der Umsetzung und Analyse des Versuchsaufbaus haben sich zahlreiche offene Fragen ergeben, welche in weiteren Maßnahmen zu klären sind.

Ein erster Schritt der weiterführenden Forschung könnte aus einer detaillierteren Zielgruppenanalyse bestehen. Innerhalb der Abhandlung wurde davon ausgegangen, dass die Hauptzielgruppe für das vorgestellte System aus Personen besteht, welche überwiegend im Sitzen an einem Bildschirmarbeitsplatz arbeiten. Grund für diese Annahme sind die hohen krankheitsbedingten Arbeitsausfälle durch Rückenleiden. In den Interviews konnte allerdings festgestellt werden, dass es nicht eindeutig ist, ob sich die Technik auch im Büro anwenden lässt und dort eine Auswirkung auf die Haltung hat. Demzufolge müssen weitere Untersuchungen angestellt werden, um zu klären, ob die definierte Zielgruppe auch dem System entspricht. In Gesprächen mit den Experten wurde deutlich, dass sich die Technik auch in anderen Bereichen einsetzen ließe. Denkbar wäre bspw. eine Verwendung bei der Rehabilitation oder in Altersheimen. Anhand einer neuen Zielgruppenanalyse muss die Software weiter überarbeitet und angepasst werden.

Darüber hinaus ist es notwendig, über Spiele nachzudenken, welche bezüglich der Steuerung besser für das System geeignet wären. Hierbei ist es wichtig, bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung eng mit Experten aus medizinischen Bereichen wie z. B. der Orthopädie zusammenzuarbeiten, um die Wirkung der Haltungsspiele zu überprüfen.

Ein weiterer Schritt stellt die Verbesserung der Hardware dar. Da der Prototyp noch einige Schwächen bezüglich der Messdaten beinhaltet, müssten bessere Sensoren gefunden werden, welche über eine schnellere Abtastrate verfügen. Darüber hinaus ist es notwendig, Wege zu finden, mit welchen der Prototyp stabiler gestaltet werden

kann, um auch bei längeren Tests den Einflüssen von Körperbewegungen Stand zu halten. Zudem müsste die Technik mit einem drahtlosen Zugang zum Computer erweitert werden, um das teils störende Verbindungskabel zu eliminieren. Eine weitere Verbesserung der Technik könnte aus einer Art Schienensystem bestehen, mit welchem sich das Eingabegerät auf unterschiedliche Stuhltypen einstellen lässt. Da die Verschraubung unter den Bürostühlen variieren kann, hätte ein System zur manuellen Anpassung den Vorteil, dass Tests mit verschiedenen Aufhängungen der Sitzfläche leichter zu realisieren sind.

Im derzeitigen Zustand wurden bei der Herstellung des Systems Materialkosten in Höhe von ca. 80 Euro verursacht. Für zukünftige Untersuchungen müsste überprüft werden, welche Kosten bei einer professionelleren Umsetzung entstehen würden. Diesbezüglich könnte ein weiterer Schritt aus der Kontaktaufnahme zu verschiedenen Stuhlherstellern bestehen. Hierbei müsste zunächst geklärt werden, ob es möglich ist, das System in einen Bürostuhl zu integrieren. Diesbezüglich wäre eine Analyse der Wirtschaftlichkeit der vorgestellten Technik erforderlich.

Während der Interviews wurden zudem verschiedene Verbesserungsvorschläge sowohl bezüglich der Technik als auch der Software genannt. Diese müssen bei weiterführenden Entwicklungen berücksichtigt und deren Umsetzbarkeit sowie Wirkungsweise genauer untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- Appell, Hans-Joachim / Stang-Voss, Christiane (1996): Funktionelle Anatomie: Grundlagen sportlicher Leistung und Bewegung (3., überarb. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bartrow, Kay (2012): Untersuchen und Befunden in der Physiotherapie: Untersuchungstechniken und Diagnoseinstrumente [eBook]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Medizin Verlag.
- Blöbaum, Bernd / Nölleke, Daniel / Scheu, Andreas M. (2016): Das Experteninterview in der Kommunikationswissenschaft. in: Averbeck-Lietz, Stefanie / Meyen, Michael (Hrsg.): Handbuch nicht standardisierte Methoden in der Kommunikationswissenschaft. Wiesbaden: Springer VS, S. 175 - 190.
- Bullinger, Hans-Jörg (1994): Ergonomie: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Unter Mitarbeit von Rolf Ilg und Martin Schmauder. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Cook, Mike (2015): Arduino Music and Audio Projects [eBook]. New York: Apress.
- Dustmann, Hans Otto / Mackensen, Iris / Kunz, Michael (2002): Aktiv gegen den Rückenschmerz: Informationen und Ratschläge - Mit praktischen Übungen [eBook]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Faller, Adolf / Schünke, Michael / Schünke, Gabriele (2004): Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion (14., aktual. und erw. Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Farooq, M. / Sazonov, E. (2015): Strain Sensors in Wearable Devices. in: Mukhopadhyay, Subhas Chandra (Hrsg.): Wearable Electronics Sensors: For Safe and Healthy Living [eBook]. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer International Publishing, S. 221 - 239.
- Geraedts, Paul (2018): Physiotherapeutisches Training bei Rückenschmerzen: Motorische Befunderhebung und Behandlung (1. Aufl.) [eBook]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

-
- Glöckl, Josef / Breithecker, Dieter (2014): Active Office: Warum Büros uns krank machen und was dagegen zu tun ist [eBook]. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Gouwanda, D. / Senanayake, S.M.N.A. (2008): Emerging Trends of Body-Mounted Sensors in Sports and Human Gait Analysis. in: Osman, N.A. Abu / Ibrahim, F. / Abas, W.A.B. Wan / Rahman, H.S. Abdul / Ting, H.N. (Hrsg.): 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2008: BIOMED 2008, 25 - 28 June 2008, Kuala Lumpur, Malaysia [eBook]. Berlin, Heidelberg: Springer Science & Business Media, S. 715 - 718.
- Guler, Sibel Deren / Gannon, Madeline / Sicchio, Kate (2016): Crafting Wearables: Blending Technology with Fashion. New York: Apress.
- Heinecke, Andreas M. (2012): Mensch-Computer-Interaktion: Basiswissen für Entwickler und Gestalter (2. überarb. u. erw. Aufl., aus der Reihe: X.media.press). Berlin u. a.: Springer-Verlag.
- Heipertz, Wolfgang / Schmitt, Erich (1978): Wirbelsaulenerkrankungen: Diagnostik und Therapie. Unter Mitarbeit von Dagmar Ruckelshausen [eBook]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Jones, Steven E. / Thiruvathukal, George K. (2012): Codename Revolution: The Nintendo Wii Platform [eBook]. Cambridge, London: MIT Press.
- Kamal, Ankit (2011): Exergaming: New Age Gaming for Health, Rehabilitation and Education. in: Meghanathan, Natarajan / Kaushik, Brajesh Kumar / Nagamalai, Dhinarahan (Hrsg.): Advanced Computing: First International Conference on Computer Science and Information Technology, CCSIT 2011, Bangalore, India, January 2011, Proceedings, Part III [eBook]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, S. 421 - 430.
- Loosen, Wiebke (2016): Das Leitfadeninterview: eine unterschätzte Methode. in: Averbek-Lietz, Stefanie / Meyen, Michael (Hrsg.): Handbuch nicht standardisierte Methoden in der Kommunikationswissenschaft. Wiesbaden: Springer VS, S. 139 - 155.
- Margolis, Michael (2012): Arduino Kochbuch: Arduino für Fortgeschrittene (1. Aufl.). Beijing, Cambridge, Farnham, Köln, Sebastopol, Tokyo: O'Reilly Verlag.

-
- Miles, Rob (2012): Start Here!: Learn the Kinect API [eBook]. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Owczarek, V. / Krämer, J. (1998): Rückenschule. in: Sektion 03, Spezielle Erkrankungen mit präventivem Potential (1. Ordner). in: Allhoff, Peter / Leidel, Jan / Ollenschläger, Günter / Voigt, Hans-Peter (Hrsg.): Präventivmedizin: Praxis - Methoden - Arbeitshilfen (9. Aufl.) [eBook]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Richard, Hans Albert / Kullmer, Gunter (2013): Biomechanik - Grundlagen und Anwendungen auf den menschlichen Bewegungsapparat [eBook]. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Riener, Andreas / Ferscha, Alois / Matscheko, Michael (2008): Intelligent Vehicle Handling: Steering and Body Postures While Cornering. in: Brinkschulte, Uwe / Ungerer, Theo / Hochberger, Christian / Spallek, Rainer G. (Hrsg.): Architecture of Computing Systems - ARCS 2008: 21st International Conference, Dresden, Germany, February 25-28, 2008, Proceedings. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 68 - 81.
- Regtien, Paul P. L. (2012): Sensors for Mechatronics [eBook]. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier.
- Rühl, Norbert (1993): Fit im Büro durch Muskeltraining [eBook]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Schoberth, Hannes (1989): Orthopädie des Sitzens. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo: Springer-Verlag.
- Strahinger, Susanne / Leyh, Christian (2017): Gamification und Serious Games: Grundlagen, Vorgehen und Anwendungen. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Trebsdorf, Martin (2000): Biologie, Anatomie, Physiologie: Lehrbuch und Atlas (5., überarb. Aufl.) [eBook]. Reinbek: Lau-Verlag GmbH.

Wiedemann, Lukas G. / Planinc, Rainer / Kappel, Martin (2014): Ergonomic-Monitoring of Office Workplaces Using Kinect. in: Pecchia, Leandro / Chen, Liming Luke /Nugent, Chris / Bravo, José (Hrsg.): Ambient Assisted Living and Daily Activities: 6th International Work-Conference, IWAAL 2014 Belfast, UK, December 2 - 5, 2014 Proceedings [eBook]. Cham, Heidelberg, NewYork, Dordrecht, London: Springer, S. 275 - 278.

Wiemeyer, Josef (2016): Serious Games für die Gesundheit: Anwendung in der Prävention und Rehabilitation im Überblick [eBook]. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Wottke, Dietmar (2013): Rückengerechtes Verhalten. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

Yao, Leiyue / Min, Weidong / Cui, Hao (2017): A New Kinect Approach to Judge Unhealthy Sitting Posture Based on Neck Angle and Torso Angle. in: Zhao, Yao / Kong, Xiangwei / Taubman, David (Hrsg.): Image and Graphics: 9th International Conference, ICIG 2017, Shanghai, China, September 13 - 15, 2017, Revised Selected Papers, Part I [eBook]. Cham: Springer International Publishing, S. 340 - 350.

Ziemann, Volker (2018): A Hands-On Course in Sensors: Using the Arduino and Raspberry Pi. Boca Raton: CRC Press.

Online Quellen

Arduino (2019): ARDUINO UNO REV3 [online]. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> [12.03.2019].

Autodesk (2019): Von der Idee zum Entwurf innerhalb von Minuten [online]. <https://www.tinkercad.com/> [06.04.2019].

Avia (2012): Avia Semiconductor HX711 [online]. http://www.aviaic.com/Download/hx711F_EN.pdf [13.03.2019].

BAuA: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2011): Sitzlust statt Sitzfrust: Sitzen bei der Arbeit und anderswo (4., Aufl.) [online]. https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A31.pdf?__blob=publicationFile [09.04.2019].

-
- BAuA: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2013): Auf und nieder - immer wieder!: Mehr Gesundheit im Büro durch Sitz-Steh-Dynamik (5. Aufl.) [online]. https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A52.pdf?__blob=publicationFile [09.04.2019].
- compugician (2016): An Arduino library to interface multiple HX711 units simultaneously [online]. <https://github.com/compugician/HX711-multi> [06.04.2019].
- DAK-Gesundheit (2018): DAK-Gesundheitsreport 2018 [online]. <https://www.dak.de/dak/download/gesundheitsreport-2018-1970840.pdf> [09.04.2019].
- DGUV: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2018): DGUV Regel 115-401 - Branche Bürobetriebe [online]. <https://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/115-401.pdf> [09.04.2019].
- Darma (2016): Darma: Sit smart for a healthy body and mind [online]. <https://www.kickstarter.com/projects/junhao/darma-sit-smart-for-a-healthy-body-and-mind> [20.03.2019].
- Epic Games (2019): Unreal Engine Marketplace: Epic Games Content [online]. <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/profile/Epic+Games> [08.04.2019].
- Garcia-Saura, Carlos (2015): Self-calibration of a differential wheeled robot using only a gyroscope and a distance sensor [online]. <https://arxiv.org/pdf/1509.02154.pdf> [06.04.2019].
- Mehnik, Elhoussine (2018): Kart Physics [online]. <https://ue4resources.com/3d-projects> [25.03.2019].
- RVillani (2014): Unreal Engine 4 plugin for COM communication on Windows [online]. <https://github.com/RVillani/UE4Duino> [06.04.2019].
- tockn (2019): Arduino library for easy communicating with the MPU6050 [online]. https://github.com/tockn/MPU6050_tockn [06.04.2019].
- Unreal Engine (2015): BP Time Attack Racer [online]. <https://www.youtube.com/watch?v=xYCCjotsrMg> [25.03.2019].

VBG: Ihre Gesetzliche Unfallversicherung (2010): Gymnastik im Büro Fit durch den Tag [online]. http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Themen/Bildschirm_und_Bueroarbeit/Gymnastik_im_Buero_VBG-Info.pdf?__blob=publicationFile&v=14 [11.03.2019].

Sonstige Quellen

Ben from Upright (2019): Is there a kind of gyroscope installed in the sensor? [Facebook]. Seevetal [20.03.2019].

Anlage - DVD

Die beigefügte DVD enthält sowohl die finale Posture Games-Software als auch eine offene Unreal-Editor-Datei. Des Weiteren ist die schriftliche Ausarbeitung der Thesis sowie die erforderlichen Nachweise, bezüglich der verwendeten Onlinequellen und sonstigen Quellen, auf dem Datenträger enthalten. Darüber hinaus befinden sich stichwortartige Transkripte aller geführten Interviews auf der DVD.

Selbstständigkeitserklärung

Name, Vorname: Gudat, Nils

Matrikel-Nr.: 2333455

Thema der Thesis: Posture Games: Realisierung eines Eingabegeräts mit entsprechender Softwarelösung zur spielerischen Verbesserung der Körperhaltung im Sitzen

Hiermit erkläre ich, dass ich die o. g. Thesis selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als angegeben verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift