Entwicklung und Evaluierung eines softwaregestützten Experimentalsystems

Einfluss des Darbietungszeitpunktes des HRV-Signales auf die Effizienz eines Biofeedbacktrainings

Bachelor-Thesis im Studiengang BSc INF 2011

von

Andreas Rieder

Eingereicht bei: Referent:

Sandra Schlick Heinrich Zimmermann

Cand PhD Prof. Dr.

Dozentin, Lektorin Dozent im Fach Informatik

Bern, 3.06.2016

Zusammenfassung

Abstract

Inhaltsverzeichnis

[Abkürzungen v](#_Toc453011759)

[1 Einleitung 1](#_Toc453011760)

[2 Herzratenvariabilität 1](#_Toc453011761)

[2.1 Darstellungsformen der HRV 3](#_Toc453011762)

[2.2 Wie wird HRV gemessen 5](#_Toc453011763)

[2.3 Einflussfaktoren auf die HRV 6](#_Toc453011764)

[2.3.3 Langfristige Faktoren 6](#_Toc453011765)

[2.3.4 Kurzfristige Einflussfaktoren 8](#_Toc453011766)

[3 Biofeedbacksysteme 11](#_Toc453011767)

[3.1 Definition von Biofeedback 11](#_Toc453011768)

[3.2 Therapeutischer Nutzen von Biofeedback (Entwurf) 14](#_Toc453011769)

[Evidenzbasierung von Biofeedback 15](#_Toc453011770)

[3.3 Theoretische Konzepte und Wirkmechanismen 16](#_Toc453011771)

[3.3.1 Offener Regelkreis 17](#_Toc453011772)

[3.3.2 Kognitive Konzepte 17](#_Toc453011773)

[3.3.3 Physiologische Reaktionskontrolle 18](#_Toc453011774)

[3.3.4 Klassische Konditionierung 18](#_Toc453011775)

[3.3.5 Operante Konditionierung 18](#_Toc453011776)

[4 Experimenteller Feldversuch 20](#_Toc453011777)

[4.1 Versuchsaufbau 20](#_Toc453011778)

[4.1.1 Auswahl der Versuchspersonen 20](#_Toc453011779)

[4.1.2 Vorbedingungen 21](#_Toc453011780)

[4.1.3 Verwendete(r) HRV-Parameter 21](#_Toc453011781)

[4.1.4 Unabhängige Variable (UV) 21](#_Toc453011782)

[4.1.5 Abhängige Variable (AV) 22](#_Toc453011783)

[4.1.6 Auswertung der Daten 22](#_Toc453011784)

[4.2 Versuchsablauf 23](#_Toc453011785)

[4.2.1 Umgang mit Störvariablen 23](#_Toc453011786)

[4.2.2 Allgemeine Einflussfaktoren wissenschaftlicher Experimente 24](#_Toc453011787)

[4.2.3 Psychophysiologische Basiskonzepte 24](#_Toc453011788)

[4.2.4 HRV-Spezifische Störvariablen 25](#_Toc453011789)

[4.2.5 Spezifische Störvariablen des Experimentalsystems 26](#_Toc453011790)

[5 Entwicklung eines Experimentiersystems 26](#_Toc453011791)

[5.1 HRV-Sensor (Entwurf) 26](#_Toc453011792)

[5.2 Anforderungen an die Applikation 27](#_Toc453011793)

[5.3 Entwicklung der Applikation (Entwurf) 27](#_Toc453011794)

[6 Ergebnisse 30](#_Toc453011795)

[7 Diskussion 30](#_Toc453011796)

[8 Schlussbetrachtung 30](#_Toc453011797)

[9 Offene Fragen (mit dem Referenten zu diskutieren) 31](#_Toc453011798)

[Abbildungsverzeichnis 32](#_Toc453011799)

[Tabellenverzeichnis 33](#_Toc453011800)

[Literaturverzeichnis 34](#_Toc453011801)

[Anhang 35](#_Toc453011802)

[Selbständigkeitserklärung 36](#_Toc453011803)

Abkürzungen

|  |  |
| --- | --- |
| Hrsg. | Herausgeber |
| NN | nomen nominandum (Namen nicht bekannt) |
| o. J. | ohne Jahrgang |
| Resonanzfrequenz |  |

HRV Herzratenvariabilität, Herzfreqenzvariabilität

Bpm Beats per minute (Englisch), resp. Schläge pro Minute (Deutsch)

ZNS Zentrales Nervensystem

# Einleitung

# Einleitung II

Die Tatsache, ob wir gerade entspannt oder angespannt sind, wird über unser vegetatives Nervensystem gesteuert. Mittels dessen Komponenten wie dem Sympathikus oder dem Parasympathikus versucht unser Organismus, sich den aktuellen Bedürfnissen anzupassen. Über autonome physiologische Prozesse wird dabei permanent die Herzschlagrate angepasst. Sind wir psychischem Stress ausgesetzt oder betätigen wir uns körperlich, dann steigt die Herzfrequenz. Kommen wir anschliessend zur Ruhe, dann sinkt diese wieder.

Die Herzratenvariabilität (HRV) beschreibt die Fähigkeit die Frequenz des Herzrhythmus zu verändern. Je besser wir uns dabei an die aktuelle Belastung anpassen können, desto größer ist die Variabilität der Herzfrequenz (HRV).

Im Rahmen von Entspannungsübungen eignet sich die HRV daher zur objektiven Beschreibung der aktuellen Anspannung. Hierfür sind heute diverse Sensoren auf dem Markt, welche die HRV erfassen. Diese Sensoren übermitteln ihre Daten an eine Applikation, welche diese meistens visuell präsentiert. Die Studie von F. Abtahi et al. legt nahe, dass sich solche HRV Biofeedbacksysteme zum Verbessern der HRV eignen. Dahinter steckt die Überlegung, dass sich mittels geeigneter Darstellung physiologischer Prozesse deren Verständnis sowie deren Kontrolle verbessern lassen.

Wie dies genau geschieht kann noch nicht abschliessend erklärt werden. Theoretische Erklärungskonzepte liefern beispielweise behaviorale oder kognitive Theorien aus der Psychologie.

HRV-gestütztes Biofeedback findet heute

Ob Biofeedback wirksam ist hängt von einer Menge von Einflussfaktoren ab. Ein solcher Einflussfaktor ist der Darbietungszeitpunkt des Feedbacksignales. Behaviorale Erklärungsmodelle wie die Operante Konditionierung postulieren einen direkten Einfluss des Feedbackzeitpunktes (Zeitpunkt der positiven oder negativen Verstärkung) auf den Lernerfolg. Daher stellt sich die Frage, wie der Einfluss des Darbietungszeitpunktes des HRV-Signals auf die Wirksamkeit von Biofeedback untersucht werden könnte?

Ziel dieser Arbeit ist der Entwicklung und Evaluierung eines Prototypen, welcher es ermöglicht diese physiologische Fragestellung zu untersuchen. Ausgehend von diesem Ziel ist es möglich, Anforderungen an einen solchen Prototypen abzuleiten. Dieser Prototyp wird anschliessend entwickelt und evaluiert werden.

Bei der Evaluierung wird in einem ersten Schritt überprüft, ob die für den Prototyen entwickelte Software den abgeleiteten Anforderungen entspricht. Auch wenn die Evaluierung des Prototypen über eine reine Engineering Arbeit hinausgeht, soll anschliessend mit einer kleinen Stichprobe überprüft werden, inwieweit sich dieser Prototyp zur Untersuchung dieser physiologischen Fragestellung eignet.

Der Prototyp eines solchen Biofeedbacksystems bräuchte eine Software, welche folgende Anforderungen erfüllt:

Die Software muss in der Lage sein,…

* …die für die Berechnung des HRV-Wertes relevanten Informationen (RR-Intervalle) von einem HRV-Sensor zu empfangen.
* …einen Parameter entgegenzunehmen, welchen den Darbietungszeitpunkt des Feedbacks repräsentiert.
* …mit Hilfe des Parameters und der RR-Intervalle die HRV zu berechnen
* …die HRV-Werte angemessen darzubieten
* …die RR-Intervalle zu persistieren und diese nach Abschluss der Messung zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung zu stellen.

**Operationalisierung des Darbietungszeitpunktes und dessen Konsequenzen**

Zum Berechnen der aktuellen Herzratenvariabilität werden die zuvor erfassten RR-Intervalle herangezogen. Dabei stellt sich die Frage, wieviel RR-Intervalle kumulierte werden sollten. Da Sensor übermittelt pro Sekunde genau ein Packet mit allen seit dem letzten Sendung erfassten Intervalle. Da die Intervalle in der Regel weniger als 1000ms lang sind, befinden sich jeweils ein oder zwei Intervalle in einem solchen Packet.

Je mehr Intervalle nun für die Berechnung der HRV herangezogen werden, desto grösser ist die Verzögerung des HRV-Wertes. Andererseits hat wird der HRV-Wert stabiler in dem Sinne, dass die präsentierten HRV-Werte weniger stark streuen und so die gezeichnete Line, welche sich aus den HRV-Werten ergibt weniger stark nach oben oder unten ausschlägt. Wie weit dieser visuelle Effekt einen Einfluss auf das Biofeedback hat, müsste weiter untersucht werden.

Ausgehend von gängigen HRV-gestützten Biofeedbacksystemen bräuchte ein solches System zudem eine Software, welche die Parametrierung des Darbietungszeitpunktes erlaubt.

Hierfür bräuchte es eine Software, welche diesen Darbietungszeitpunkt

Diese Arbeit untersucht, wie sich der Darbietungszeitpunkt des HRV-Signales auf die Wirkung von solchen applikationsunterstützen Entspannungsübungen auswirkt. Hierfür wird ein softwaregestütztes Experimentiersystem entwickelt und evaluiert.

# Herzratenvariabilität

Ein frisch transplantiertes (denerviertes) Herz schlägt konstant mit etwa 100 Schlägen pro Minute (Masseinheit: Bpm). Bei einem innervierten Herzen hingegen variiert diese Frequenz. Diese Fluktuation entspricht der Herzfrequenzvariabilität (HRV) und kann als Streuungsmass gemessen und dargestellt werden. Das Gehirn verarbeitet laufend diverse Informationen über Gaskonzentrationen, Druckverhältnisse der Gefässe, Funktionszustände der Organe, Schmerzzustände usw. welche nach der Verarbeitung im zentralen autonomen Netzwerk als sympathische und parasympathische Efferenzen an das Herz übermittelt werden. Diese Anpassungen werden in einem HRV-Bild sichtbar gemacht. Hohe HRV-Werte deuten dabei auf eine hohe autonome Balance hin, welche entsprechend flexibel auf die jeweiligen externen und internen Reizbedingungen reagiert. Dies gilt als Zeichen für geistige und körperliche Gesundheit [2].

Das Muster der Herzfrequenz beinhaltet also prinzipiell die Summe aller Einflüsse auf den Sinusknoten [2]. Unter Sinusknoten wird der primäre elektrische Taktgeber der Herzaktion verstanden. Dabei handelt sich jedoch nicht um einen tastbaren Knoten, sondern vielmehr um die Region im Herzen, in welcher die elektrische Erregung, welcher für den Herzschlag verantwortlich ist, zuerst nachweisbar ist. Diese Region liegt im rechten Vorhof des Herzens [Wicki].

Die Geschichte der Erforschung der Herzratenvariabilität geht bis in 3. Jahrhundert n. Chr. zurück als ein chinesischer Arzt die Prognose machte: „Wenn das Herz so regelmässig wie das Klopfen eines Spechtes oder das Tröpfeln des Regens auf dem Dach wird, wird der Patient innerhalb von vier Tagen sterben“ [2]. In der Tat kann ein sogenannter „starrer Puls“ ein Indiz für eine geschädigte Herzfunktion sein [2]. Technische Entwicklungen aus dem 20. Jahrhundert ermöglichten einiges später eine viel genauere Analyse der HRV und daraus ein tieferes Verständnis des Einflusses der HRV aus die menschliche Physiologie [2]. Die heutige rasante Entwicklung von Sensoren, Smartwatches oder Smartphones führt nun erneut zu einem Boom in der Aufzeichnung physiologischer Daten, nicht zuletzt auch von der HRV.

Wie erwähnt ist die Herzfrequenz nicht konstant, sondern sie verändert sich aufgrund einer Vielzahl von Einflussfaktoren, wie zum Beispiel durch den Grad der körperlichen Aktivität oder durch die Atemfrequenz. Hinter dieser Fluktuation verbergen sich viele klinisch relevante Informationen. Dabei verringert sich diese Variabilität bei Erkrankungen und im Alter. So schlagen 8 Tage vor dem Herzstillstand die Herzen regelmässiger und 13 Stunden vor dem Exitus verschwindet das chaotische Auf und Ab ganz. So gesehen hatte dieser chinesische Arzt aus dem 3. Jahrhundert nicht ganz unrecht mit seiner Prognose [2].

Die Analyse der HRV hilft, Reaktionen des autonomen Nervensystems messbar und interpretierbar zu machen. Die häufigsten genannten Diagnosen zu HRV in der medizinischen Literaturdatenbank PubMed sind neben Herzkreislauferkrankungen psychische und psychosomatische Krankheitsbilder. HRV gestützte Diagnosen nehmen stark zu. Doris Eller-Berndl [2] geht davon aus, dass in wenigen Jahren die HRV-Analyse die Grundlage für eine objektive Beurteilung vieler somatischer- und psychosomatischer Krankheitsbilder sowie der Leistungsdiagnostik sein wird.

## Darstellungsformen der HRV

Der Blutkreislauf wird durch das Herz getaktet. Der sogenannte Herzzyklus stellt dabei die Masseinheit von diesem periodischen Prozess dar. Dieser Herzzyklus wird auch als RR-Intervall bezeichnet und kann zum Beispiel mit einem Elektrokardiogramm (EKG) dargestellt werden (siehe Abbildung 1). Das „R“ steht dabei für eine R-Zacke, die in einem EKG dargestellt wird. Sie ist der Beginn eines neuen Herzzyklus welcher vom Sinusknoten gesteuert wird [2].

Die Herzfrequenz verhält sich nun umgekehrt proportional zum RR-Intervall. Das heisst, eine niedrige Herzfrequenz bedeutet ein längeres RR-Intervall, was letztlich einem länger dauernden Herzzyklus entspricht. Die Veränderung von zwei aufeinanderfolgenden (konsekutiven) Herzschlägen entspricht der HRV [2].

Abbildung X stellt die Herzschläge graphisch dar, wie sie zum Beispiel von einem Elektrokardiogramm (EKG) dargestellt werden. Auf der x-Achse wird die Zeit abgebildet. Jeder markante Ausschlag (Peak) der Kurve stellt eine R-Zacke dar. Diese R-Zacke ist dabei nur einer von mehreren Kurvenbestandteilen des Elektrokardiogramms (QRS-Komplex). Er ist jedoch der für die Ermittlung des Herzschlages und somit auch für die Ermittlung der HRV der einzig relevante. Das Intervall zwischen den R-Zacken wird als das RR-Intervall bezeichnet. Die Abbildung zeigt die Herzschläge eines frisch transplantierten (denervierten) Herzens, welches konstant mit 100 Bpm schlägt. Dies bedeutet, dass die Abstände zwischen den Ausschlägen (R-Zacken) identisch sind und folglich die HRV bei Null liegt.

Bei einem enerviertem Herzen führen nun unzählige Faktoren zu einer Varianz der Herzschlagfrequenz. Einer der wichtigsten dieser Faktoren ist derjenige der Atmung. Dieser Einfluss wird auch als die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet. Abbildung 2 zeigt diese atemabhängige Unregelmässigkeit des EKG’s bei einer Atemfrequenz von 0.25 Hz (15 Schwingungen pro Minute). Werden nun sämtliche dieser Einflussfaktoren in Form von Schwingungen übereinandergelegt, entsteht die effektive und auf den ersten Blick chaotische Herzfrequenz. Die Analyse dieser Einflussfaktoren macht dabei den eigentlichen Kern der HRV-Forschung aus.

Nach der Erfassung der Herzfrequenz kann diese analysiert werden. Hierbei kann generell zwischen zeitbezogenen (Time Domain Analysis) und frequenzbezogenen Analysen (Frequency Domain Analysis) unterschieden werden. Für jede der beiden Analysen können hierfür unterschiedliche Parameter berechnet werden. Bei den zeitbezogenen Parametern werden aus den Intervallen der Herzschlägen Mittelwerte, Standardabweichungen und andere Parameter ermittelt. Bei den frequenzbezogenen Parametern werden mittels einer mathematischen Transformation zeitbezogene in frequenzbezogene Daten umgewandelt und die Gesamtvariabilität in zugrunde liegenden Rhythmen aufgeteilt, welche verschiedenen Frequenzen zugeordnet sind. Dabei werden vier Frequenzen unterschieden. Die High Frequency (HF), die Low Frequency (LF), die very low Frequency (VLF) und der Ultra Low Frequency (ULF). Diese werden mittels Spektogramm (Siehe Abbildung) visualisiert. Die Aktivität im sehr niedrigen Frequenzbereich gilt dabei als Indikator der Sympathikusaktivität, während hohe Frequenzen parasympathische Aktivitäten signalisieren. (Unnötiger Satz?: Im Rahmen von HRV-basiertem Biofeedback kann trainiert werden, die HRV in einem bestimmten Frequenzbereich zu steigern).

Letztendlich handelt es sich aber bei beiden Darstellungsformen um eine beschreibende Statistik von den zugrunde liegenden sukzessiven RR-Intervallen.

Da die meisten Parameter der Frequenzmessung sehr empfindlich auf Ausreisser reagieren [2], empfiehlt sich bei einer wie in dieser Arbeit geplanten Messungen von 15 Minuten die Analyse von zeitbezogenen Parametern. Im Rahmen dieser Arbeit soll deshalb nicht näher auf die frequenzbezogenen Parameter eingegangen werden.

Es gibt eine ganze Reihe von zeitbezogenen Parametern, welche je nach Untersuchungskontext alle ihre Daseinsberechtigung haben. Die nun folgende Auflistung stellt die wichtigsten vor:

|  |  |
| --- | --- |
| SDNN | Standardabweichung aller RR-Intervalle. |
| SDNN-i | Mittelwert der Standardabweichungen der RR-Intervalle für alle Fünf-Minuten-Abschnitte bei 24-Stunden-Aufzeichnungen. |
| SDANN-i | Standardabweichung des mittleren normalen RR-Intervalls für alle Fünf-Minuten-Abschnitte bei einer Aufzeichnung von 24 Stunden |
| r-MSSD | Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen (höhere Werte weisen auf vermehrte parasympathische Aktivität hin)1. |
| pNN 50% | Prozentsatz der Intervalle mit mindestens 50ms Abweichung vom vorausgehenden Intervall (höhere Werte weisen auf vermehrte parasympathische Aktivität hin). |
| SDSD | Standardabweichung der Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen. |
| NN 50 | Anzahl der Paare benachbarten RR-Intervalle, die mehr als 50ms voneinander in der gesamten Aufzeichnung abweichen. |

Tabelle 1: Zeitbezogene Parameter der Herzratenvariabilität [2]

1In der Literatur finden sich unterschiedliche Definitionen von r-MSSD. Die in dieser Arbeit verwendeten stammt aus [12] und dieser hier beschriebenen. Siehe Kapitel 4.1.3.

Die Auswahl des geeigneten Parameters hängt vom jeweiligen Untersuchungskontext ab. So wird zum Beispiel zwischen Kurzzeitmessung und 24-Stunden Messung unterschieden. Bei dieser Unterscheidung stehen jeweils eigene Untersuchungsansätze und Fragestellungen im Fokus. Während bei der 24-Stunden Messung der Fokus auf Echtzeitbedingungen liegt und diese daher eher für Epidemiologen und Kliniker von Interesse ist, stehen bei Kurzzeitmessungen oftmals Experimente unter kontrollierten Laborbedingungen mit einer Vorher- und Nachher-Messung sowie einer Intervention in Zentrum. Dies ist primär für Physiologen und Neurologen interessant [2]. (Bei der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung wird dabei letzteres Messverfahren herangezogen.)

## Wie wird HRV gemessen

Um die HRV zu berechnen müssen die Intervalle der Herzschläge (RR-Intervalle) erfasst werden. Nebst dem Elektrogardiagramm (EKG) sind heute diverse Sensoren auf dem Markt, welche ebenfalls dazu in der Lage sind. Bei der HRV-Messung sind einige Grundregeln zu beachten. So sollte auf die Abtastfrequenz und auf die RR-Tacken-Detektionsgenauigkeit geachtet werden. Zudem sollten die Rohdaten manuell um Artefakte korrigiert werden. Unter Artefakten sind in diesem Zusammenhang Messfehler des Sensors oder für die Bestimmung der HRV nicht relevante Herzschläge wie Extrasystolen (Herzschläge, die außerhalb des physiologischen Herzrhythmus auftreten) zu verstehen. Ein normaler Schlag vor und nach einer Ektokopie soll ebenfalls ausgeschlossen werden (????). Die fehlenden Sinusschläge müssen extrapoliert werden (????) [2].

Um die Variabilität zu erfassen, ist eine hohe Abtastrate des Sensors nötig. Dabei wird eine Abtastrate von mindestens 1000 Hertz (Hz) (Messungen pro Sekunde) empfohlen [2].

Bei der Messung wird zudem zwischen der „Peak-to-Peak“ und der ungenaueren „Beat-to-Beat“ Methode unterschieden. Bei der „Peak-to-Peak“-Messung wird die R-Zacke punktgenau bestimmt, während bei der „Beat-to-Beat“ quasi auf den Herzschlag „gehört“ und aufgrund der Herzschläge die HRV errechnet. Bei „Beat-to-Beat“ ist eine Erfassung der HRV bei höheren Herzfrequenzen, also ab etwa 60% der Maximalfrequenz, nicht mehr möglich [2].

Der in dieser Arbeit verwendete Sensor (Polar H7) arbeitet mit der „Beat-to-Beat“-Methode. Auf Nachfragen wollte der Hersteller die Abtastrate jedoch nicht mitteilen. Da dieser Sensor jedoch für den Gebrauch von Ausdauersport vertrieben wird und sich die Probanden bei der Datenerhebung in Ruhezustand befinden werden, kann von einer ausreichenden Genauigkeit des Sensors ausgegangen werden.

## Einflussfaktoren auf die HRV

Letztlich beschreibt die HRV die Fähigkeit des Organismus, sich an innere und äussere Umstände anzupassen. Eine hohe HRV deutet auf eine gute Zusammenarbeit von sympathischen und parasympathischen Prozessen hin. Eine hohe autonome Balance, die entsprechend flexibel auf die jeweiligen externen und internen Reizbedingungen reagiert, gilt dabei als Zeichen für geistige und körperliche Gesundheit.

Der Vollständigkeit halber soll hier angemerkt werden, dass die Modellvorstellung des autonomen Nervensystems bestehend unter anderem aus Parasympathikus und Sympathikus, welche sich als Antagonisten verstehen eher ein didaktisches es. In Wirklichkeit verhalten sich diese beiden Komponenten zum Teil reziprok, teilweise simultan und zum Teil auch völlig unabhängig voneinander [2].

Gerade die parasympathische Regulation scheint bezogen auf die Gesundheit einen wesentlichen Einfluss zu haben [2].

Als erstes kann zwischen kurzfristigen und langfristigen Einflussfaktoren unterschieden werden. Die für die Evaluierung des Experimentalsystems relevanten und zu kontrollierenden Einflussfaktoren beschränken sich dabei auf die kurzfristigen Einflussfaktoren. Um die Komplexität der Entstehung der Herzratenvariabilität zu veranschaulichen, scheint es andererseits angebracht, in diesem Kapitel ebenfalls auf die langfristigen Einflussfaktoren einzugehen. Es gilt darauf hinzuweisen, dass diese Auflistung nicht der Anspruch der Vollständigkeit erfüllt, jedoch einen Eindruck der Komplexität der Entstehung der HRV vermitteln soll.

### Langfristige Faktoren

Das im letzten Kapitel beschriebene frequenzbezogene HRV-Bild (Abbildung) kann auch als „Feuer des Lebens“ bezeichnet werden. Im Verlaufe des Lebens nimmt dieses ab und wenige Tage vor dem Herzstillstand schlagen die Herzen immer regelmässiger [2]. Deshalb kann das HRV-Bild auch zur Bestimmung des biologischen Alters herangezogen werden.

Zu den wichtigsten Einflussfaktoren auf die HRV gelten genetische Komponenten. Sie machen 13 bis 23 Prozent der Varianz der HRV-Messung aus. Noch stärker sind sogenannte Epigenetische Einflüsse. Epigenetische Mechanismen dienen dem Überleben, indem sie eine rasche Anpassung an wechselnde Umwelteinflüsse auf molekularer, zellulärer, morphologischer und physiologischer Ebene ermöglichen [2].

Hormonelle Prozesse (mit Hormonen wie Cortisol, Noradrenalin, Melatonin) interagieren ebenfalls mit unserem Stresssystem und somit mit die HRV. So kann bei 20 – 25% Prozent der von chronischem Stress betroffenen nach längerer Zeit ein relativer Hypercotisolismus nachgewiesen werden [2] (unnötiger Satz??).

Das Immunsystem und ZNS können miteinander kommunizieren, sich gegenseitig beeinflussen und spezifische Reaktionen hervorrufen (Inflammationsreflex???). Jede Entzündung erhöht die Aktivität des sympathischen Nervensystems. Deshalb steht eine Verbesserung der LV in Zusammenhang mit Autoimmunerkrankungen. Sichtbar als eingeschränkte Vagusregulation in der HRV [2].

Bei dem in diesem Zusammenhang erwähnten „Vagus“ handelt es sich um den Zehnte Hirnnerv. Er ist der größte Nerv des Parasympathikus und unter vielem anderen an der Regulation der Tätigkeit fast aller inneren Organe beteiligt. Er lässt sich im Bereich der Halsschlagadern lokalisieren [Wicki]. Zusammen mit dem Nucleus ambiguus ist er an der Verarbeitung der Baroreflexe verantwortlich [2]. Der Baroreflex ist ein homöostatischer Mechanismus, der den Blutdruck aufrechterhält. Er besteht aus einer negativen Feedback-Schleife, in der ein erhöhter Blutdruck reflektorisch die Herzfrequenz und damit den Blutdruck senkt. Umgekehrt unterdrückt ein niedriger Blutdruck den Baroreflex, wodurch die Herzfrequenz und damit der Blutdruck wieder steigen [Wicki]. Der Baroreflex hat daher einen elementaren Einfluss auf die Herzfrequenz und somit auch auf die Herzratenvariabilität.

Auch die „Innere Uhr“ und das Licht haben einen Einfluss auf die HRV. Bunkerexperimente zeigen eine frei laufende Tagesperiodik von 25 Stunden. Zudem wird die vererbte Neigung vom Morgenmenschen (sogenannte Lerchen) oder Abendmenschen (sogenannten Eulen) immer stärker. Die wird auch als chronobiologischer Einfluss bezeichnet. In der zeitbezogenen HRV-Messung wird die Tag-Nacht-Regulation in Form einer wannenförmigen Absenkung der Herzfrequenz in der Nacht bei einer gesunden Schlafarchitektur gut sichtbar [2].

Im Gegensatz zu den bisher genannten Einflussfaktoren gibt es diverse Faktoren, welche vom Individuum beeinflusst werden kann und welche einen Einfluss auf die Herzratenvariabilität haben. Da die HRV einen Einfluss auf die Gesundheit hat, stehen diese Faktoren auch in Zusammenhang mit einer erfolgreichen Gesundheitsprävention.

Durch Zwillingsstudien konnte gezeigt werden, dass mediterrane Ernährung die HRV und die kardiale autonome Funktion verbessert. Grünes Blattgemüse und andere Nahrungsmittel, die für die Methylierung relevant sind, Omega-3 reicher Fisch und Meeresfrüchte erhöhen die HRV. Vitamin D besitzt eine Schlüsselrolle im Serotoninstoffwechsel, der wiederum wichtig für die Regulation der HRV durch Verstärkung der parasympathischen Aktivität ist. Auf der anderen Seite zeigt sich zunehmend, dass eine Ernährung, die sehr reich an einfachen Kohlenhydraten sowie Zucker und Stärke ist, die Sympathikusaktivität erhöht und die parasympathische Regulation vermindert [2].

Lebenslanges Ausdauertraining in adäquater Intensität (Geschw. 4 - 7 km/h) bewirkt eine Zunahme der HRV gegenüber Gleichaltrigen. Vorwiegend durch den positiven Effekt auf die Vagusaktivierung kommt es zu einer verzögerten Alterung der autonomen Kontrolle und einer Herabsetzung des biologischen Alters im Vergleich mit gleichaltrigen untrainierten. Zu hohe Trainingsintensität verschiebt jedoch generell die kardiale autonome Balance in Richtung Sympathikusaktivierung und verwandelt den Benefit in einen Belastungsfaktor [2].

### Kurzfristige Einflussfaktoren

Um das HRV-Bild korrekt interpretieren zu können, ist es unerlässlich deren Einflussfaktoren so weit als möglich zu kennen. Dabei ist es wichtig zu verstehen, dass diese zahlreich, komplex und heute nicht vollständig erklärbar sind. Die nun aufgeführten Einflussfaktoren sind für die Evaluierung des Experimentalsystems relevant. Dabei gilt es diese so weit als möglich zu kontrollieren, zu eliminieren oder dann aber bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

**Baroreflex**

Ein anderer Einflussfaktor ist der Blutdruckreflex (Baroreflex). Dabei handelt es sich um eine Schwingung mit wesentlich längerer Periodendauer.

Der Baroreflex kann als autonomer Reflexbogen verstanden werden. Ein solcher Reflexbogen hat den Zweck, trotz äusserer Einflüsse ein für den Körper erforderliches Milieu aufrecht zu erhalten. Die zentrale Latenz beträgt zwischen 20-110ms??? S. 57

**Atmung**

Dieser Einflussfaktor ist gerade bei jüngeren Menschen zu beobachten. Die sogenannte Respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) beschreibt die atemsynchrone Schwankung der Herzfrequenz. Arrythmie steht in der Medizin für Unregelmässigkeit und „Sinus“ bezieht sich auf den oben beschrieben Sinusknoten, in welchem diese Unregelmässigkeit auftritt [2]. Die RSA dient dem optimalen Gasaustausch bei jedem Atemzyklus. Die Atmung beeinflusst die HRV unter anderem über den Baroreflex sowie über direkte mechanische Modulation der Schrittmacherfunktion des Sinusknotens [1]. Gerade während der Schlafphase wird die RSA im frequenzbezogenen HRV-Bild gut sichtbar im oberen Frequenzbereich (Abbildung??) [2]. Um den Einfluss der Atmung zu minimieren, werden die Probanden angehalten, während der Evaluierung ihre Atmung mittels Metronom zu stabilisieren.

**Körperliche Aktivität**

Sobald wir uns körperlich betätigen steigt die unsere Herzfrequenz, kommen wir anschliessend wieder zur Ruhe, so sinkt diese wieder. Folglich hat das Ausmass der körperlichen Aktivität einen Einfluss auf die HRV. Während des Evaluierens werden die Probanden gebeten, sich zu entspannen und auf jegliche körperliche Aktivität zu verzichten.

**Körperhaltung**

Die Körperhaltung beeinflusst die Herzfrequenz und somit die HRV. Deshalb werden sich die Probanden während der Versuchsreihe immer in identischer entspannter Sitzposition befinden.

**Stress**

Stress kann als überlebensnotwendiges Regulationsprinzip verstanden werden. Phylogenetisch ermöglicht es dem Organismus auf Gefahrensituationen rasch mit Schnelligkeit und Kraft zu reagieren. Ein solcher akuter Stress kann sich dabei durchaus positiv auf das Befinden, die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit auswirken. Anschliessend muss aber eine Erholungsphase mit einer Parasympathikusdominanz einsetzen. Geschieht dies nicht kommt es zu einer Chronifizierung. Das heisst der Organismus befindet sich permanent in einer Art Alarmbereitschaft, was als chronisches Überlastungssyndrom oder auch Burn-out bezeichnet wird. In einem frequenzbezogenen HRV-Bild kann eine solche Erkrankung erkannt werden.

Für die geplante Evaluierung des Experimentalsystems sollte sich der Proband bei jedem einzelnen Test der Testreihe in einer möglichst identischen Ausgangslage bezüglich des Stresslevels befinden. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, finden die Tests immer um dieselbe Uhrzeit am Abend und nicht direkt nach der Arbeit statt. Es liegt aber auf der Hand, dass aufgrund vieler Faktoren wie die zuvor erlebten Arbeitsdichte nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Probanden nicht immer mit demselben Entspanntheitsgrad in das Experiment einsteigen werden. --- Dekeneffekt!!!

**Alkohol und andere Stimulanzien**

Alkohol beeinträchtigt vor allem abends die Aktivierung des Parasympathikus, was eine abgeschwächte RSA, die erst im Verlauf der Nacht an stärke gewinnt, und eine langsam absinkende nächtliche Pulsrate verursacht. Bei höheren Alkoholmengen kommt es zu einem kompletten Verlust der Regulationsfähigkeit.

Die Probanden werden gebeten im Vorfeld auf die Konsumation solcher Substanzen zu verzichten oder dies andernfalls dem Testleiter dies mitzuteilen.

**Nikotin**

Schon ein einwöchiger Rauchstopp hat direkten Einfluss auf pNN 50% und HF als Zeichen der Verbesserung der Parasympathikusaktivität. Die Probanden werden gebeten, falls vorhanden ihren Nikotinkonsum während der Testreihe konstant zu halten oder dies andernfalls dem Testleiter mitzuteilen.

**Akute Infekte**

Jeder Infekt, vor allem wenn er durch Fieber begleitet ist, führt zu einer unmittelbaren Verschlechterung der HRV. Der Effekt ist dabei schon vor den Symptomen messbar. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden die Probanden vor und nach der Testreihe auf mögliche Infekte hin befragt.

**Hitze**

Hitze (> 35 Grad Celsius) verursacht eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems und eine Reduktion des Parasympathikus. Dies sollte die Evaluierung des Experimentalsystems nicht beeinträchtigen.

**Licht**

Auch das Licht hat einen Einfluss auf die Herzfrequenz. Dabei spielt die Wellenlänge eine entscheidende Rolle. So wirkt Licht mit einer Wellenlänge von 460 nm (blaues Licht) aktivierend und verzögert das Absinken der Herzfrequenz. Die Tests finden pro Proband immer unter konstanten künstlichen Lichtverhältnissen statt.

(**Entspanntheitsgrad**)

Stress hat nicht nur eine langfristigen, sondern auch einen kurzfristigen Einfluss auf die HRV.

# Biofeedbacksysteme

## Definition von Biofeedback

Gemäss der Deutschen Gesellschaft für Biofeedback [9] ist Biofeedback “….ein wissenschaftlich fundiertes Verfahren der Verhaltensmedizin, mit dessen Hilfe normalerweise unbewusst ablaufende psychophysiologische Prozesse durch Rückmeldung (Feedback) wahrnehmbar gemacht werden.“

Alexandra Martin und Winfried Rief [1] definieren das Grundprinzip von Biofeedback etwas abstrakter „...in der Erfassung von physischen Vorgängen mit geeigneten Messfühlern und deren kontinuierlichen und nahezu verzögerungsfreien Rückmeldungen an die Patienten in Form von optischen oder akustischen Signalen.“

Beiden Definitionen ist gemeinsam, dass es bei Biofeedback um die Darbietung körpereigener Prozesse geht. Dies geschieht meist in einem therapeutischen Kontext und hat zum Ziel, die Wahrnehmung und Kontrolle körpereigener Vorgänge zu verbessern.

Mittlerweile gibt es eine ganze Reihe von solchen körpereigenen Prozessen, welche zur Behandlung verschiedener psychischer, somatischer oder psychosomatischer Krankheitsbilder genutzt werden. Alexandra Martin und Winfried Rief [1] geben in ihrem Buch einen Überblick über die Einsatzgebiete von Biofeedback im klinischen Kontext. Zudem versuchen sie durch eine kritische Analyse der vorhandenen wissenschaftlichen Beiträge je Krankheitsbild Aussagen über die Wirksamkeit von Biofeedback bezogen auf die jeweiligen Krankheitsbilder zu formulieren. Dabei wurden die einzelnen untersuchten wissenschaftlichen Beiträge von den Autoren kritisch auf ihre wissenschaftlichen Güte und eventuelle methodische Mängel hin untersucht. So zum Beispiel, ob mit einer Kontrollgruppe gearbeitet wurde, wie gross die Anzahl der Versuchspersonen war oder ob eine Follow-Up Messung durchgeführt wurde. Bei den Ergebnissen stand nebst der Wirksamkeit von Biofeedback auch die Frage im Mittelpunkt, ob Biofeedback wirksamer ist als bereits etablierte Verfahren.

Um Biofeedback besser zu verstehen scheint es angebracht, die wichtigsten körpereigenen Prozessen, welche bei Biofeedback zum Einsatz kommen kurz vorzustellen:

**Elektrische Muskelaktivität**

Dies geschieht mit dem Elektromyogramm (EMG) welches die elektrische Muskelaktivität misst und darstellt (Masseinheit: Microvolt - µV). Dies geschieht mit zwei Elektroden, welche parallel zur Muskelfaser platziert werden. Dieses Verfahren wird einerseits bei erhöhter Muskelaktivität eingesetzt (z.B. Kopfschmerzen vom Spannungstyp, Rückenschmerzen) und andererseits bei Harninkontinenz oder anderen Entleerungsstörungen zum Aufbau der einer zu tiefen Muskelaktivität [1].

**Neurofeedback (EEG-Feedback)**

Hier werden die elektrischen Aktivitäten vom Kortex und den subkortikalen Strukturen mit Hilfe des Elektroenzephalogramms (EEG) gemessen und dargestellt. Dies in Zusammenhang mit ADHD, Depression, Migräne, Tinnitus und Epilepsie [1].

**Atemtätigkeit**

Die Atmung wird unter anderem mit dehnungssensiblen Atemgürteln erfasst und kann zum Erfassen des Aktivierungsgrades herangezogen werden. Dies geschieht in Zusammenhang mit Angststörungen, psychosomatischen Störungen oder - wie in dieser Arbeit – zur Artefaktkontrolle [1].

**Hauttemperatur**

Die Messung erfolgt mehrheitlich mit Sensoren, die am ersten Glied eines Fingers befestigt werden. Das Ziel besteht darin die Durchblutung der Gefässe zu verbessern, so dass die Hauttemperatur steigt. Daher wird Temperatur-Feedback auch Handerwärmungstraining genannt, welches bei Migräne, erhöhtem Blutdruck (Hypertonie) oder im Zusammenhang mit Entspannungstherapien zum Einsatz kommt [1].

**Hautleitfähigkeit (Elektrodermale Aktivität)**

Hier wird die sympathisch angeregte Schweissdrüsenaktivität erfasst. Hierfür werden die Sensoren an der Handinnenfläche oder den mittleren Gliedern des Zeige- und Mittelfingers angebracht. Zur Messung wird eine elektrische Spannung an das biologische System angelegt. Die gemessene Hautleitfähigkeit (Masseinheit µS oder µmho) steigt mit zunehmender Aktivierung. Die Werte können dabei nur intraindividuell verwendet werden und werden als Indikatoren des Anspannungsniveaus oder der Reaktivität interpretiert. Dies geschieht beispielsweise bei Interventionen in Zusammenhang mit Angststörungen oder bei der Analyse der psychophysiologischen (Stress-) Reaktivität [1].

**Herzratenvariabilität**

Sowohl die Herzfrequenz (HF, Masseinheit: Bpm) an sich, als auch deren Variabilität (HRV, Masseinheit: Siehe Kapitel 2.1) können als Indikatoren der kardiovaskulären Aktivität herangezogen werden. Kardiovaskulären bezeichnet dabei das Herz-Kreislauf-Systems. Die Variabilität gilt dabei als Indikator gesunder Herzfunktion. Nur wenn der Organismus in der Lage ist, sich flexibel an geänderte Anforderungen anzupassen, ist der Organismus langfristig überlebensfähig. Im Rahmen von HRV-Feedbacks kann trainiert werden, die HRV in einem bestimmten Frequenzbereich zu steigern. Das HRV-Feedback wird erst seit jüngerer Zeit im klinischen Kontext eingesetzt, so dass nur für wenige Störungsbilder Evaluationsstudien vorliegen. Diese beziehen sich auf Krankheitsbilder wie Asthma, Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) oder koronare Herzerkrankungen. Zusätzlich wird HRV-Feedback auch im Zusammenhang mit Leistungssport eingesetzt [1].

Die hier vorgestellten physiologischen Signale und deren Erhebungsverfahren stellen lediglich eine Auswahl der im Rahmen von Biofeedback zum Einsatz kommenden Methoden dar. Durch deren Beschreibung soll ein Eindruck über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Biofeedback und dem Verständnis, was Biofeedback genau ist, vermittelt werden. Im Zentrum dieser Arbeit steht Biofeedback in Zusammenhang mit der HRV.

Über einige der zuvor präsentierten Signale hat das Individuum gar keine direkte willentliche Kontrolle. So zum Beispiel über die elektrischen Aktivitäten vom Kortex und den subkortikalen Strukturen. Andere hingegen unterliegen einer mehr oder minder starken direkten Kontrolle. Obwohl das Individuum zum Beispiel direkten Einfluss auf seine Atmung nehmen kann, wird diese je nach körperlichem Aktivierungsgrad meist unbewusst gesteuert. Unabhängig ob direkt oder indirekt beeinflussbar kann eine angemessene Präsentation dieser physiologischen Signale im Rahmen von Biofeedback das Verständnis dieser Regelkreise beim Individuum erhöhen und somit auch dessen Selbstwirksamkeit. Neben dieser Steigerung der Selbstwirksamkeit gibt es andere theoretische Konzepte welche herangezogen werden um zu erklären, weshalb Biofeedback wirkt. Diese Konzepte werden im Kapitel 3.4 beschrieben werden. Bevor jedoch darauf eingegangen wird, weshalb Biofeedback wirkt, soll zuerst beschrieben werden ob und wann Biofeedback wirkt. Deshalb wird als Nächstes auf den therapeutischen Nutzen und die Evidenzbasierung von Biofeedback eingegangen. Das heisst, es wird dargestellt, inwieweit Aussagen über die Wirksamkeit von Biofeedback je Krankheitsbild anhand dem aktuellen Stand der Forschung gemacht werden können. Die dabei präsentierten Ergebnisse sind wieder dem Buch von Alexandra Martin und Winfried Rief [1] entnommen.

## Therapeutischer Nutzen von Biofeedback (Entwurf)

Auch wenn Aussagen über die Wirksamkeit von Therapien und deren Erklärungsmodelle stets kritisch zu hinterfragen sind, so scheint es im Rahmen dieser Arbeit doch sinnvoll, diese so weit als möglich auf Grund von empirischen Untersuchungen kurz zu beschrieben.

Wie in [1] ausgeführt stellen für gewisse Indikationen wie zum Beispiel bei der Stuhlinkontinenz Biofeedback-Behandlungen alternative Behandlungsformen in den Schatten. Aber auch bei bereits gut behandelbaren Erkrankungen wie beispielsweise bei Angststörungen sind mittels Biofeedbackverfahren ähnlich gute Resultate zu erzielen wie bei konventionellen Behandlungen. Wenn man sich zudem bewusst macht, dass jeder vierte Patient mit Angststörungen nicht ausreichend von einer kognitiv-behavioralen Intervention profitiert, können Biofeedback-Behandlungen auch für solche Patientengruppen eine interessante Alternative bieten. Aber auch für Patienten mit einer Angststörung, welche sich weigern an einer Expositionstherapie teilzunehmen, könnte eine vorgängige Biofeedbackbehandlung die Bereitschaft steigern, sich in während eines Expositionstherapie ihren Ängsten zu stellen, da eine solche Biofeedbackbehandlung das Wissen der Patienten über physiologische Prozesse in Zusammenhang mit ihrer Angstemotion steigern würde.

Bei der Evaluierung der Wirksamkeit von Biofeedback im klinischen Kontext ist zu beachten, dass das Erfassen des physiologischen Signals neben dem beobachteten Verhalten und der subjektiven Einschätzung nur eines von drei Verfahren ist. Diese Korrelieren nicht stark, so dass alle drei von Bedeutung sind. Aufgrund der geringen Korrelation dieser verschiedenen Datenebenen sind zu einer langfristigen Veränderung und gesundheitlichen Stabilisierung immer auch Veränderung der subjektiven Wahrnehmung, der Kognitionen und der Verhaltensweisen des Patienten erforderlich [1]. Dies bedeutet, dass eine Behandlung mit und Evaluierung von Biofeedback im klinischen Bereich, welche sich lediglich auf die Interpretation der physiologischen Signale konzentrieren würde, definitiv zu eindimensional wäre.

Abschliessend soll erwähnt werden, dass für den erfolgreichen Einsatz von Biofeedback-Behandlungen nebst dem Verfahren an sich, diverse andere Faktoren zu beachten sind. So zum Beispiel eine korrekte Diagnose, eine ausreichende Ausbildung der Therapeuten und ein intensiver Austausch zwischen diesen (Supervision), strukturierte Behandlungsprotokolle, Normwerttabellen und die Fähigkeit, diese korrekt anzuwenden, adäquate Räumlichkeiten, sowie Ausrüstung (Mobiliar, Beleuchtung, Software, Hardware, usw.) und eine saubere Evaluierung (inklusive Katamnese) der Behandlungen. Biofeedback-Zertifizierung ist deshalb ein erforderliches Mittel um den erfolgreichen Einsatz von Biofeedback in der Praxis zu gewährleisten [1].

Phasenmodell einer diagnostischen Biofeedbacksitzung: Adaptionsphase, Baselinephase, Selbstkontrollphase, Reaktivitätsmessung,, Rückbildungsphase, Abschlussphase und Auswertung und Zielableitung. +- Tipp: Augen offen, da diese währen dem Training auch offen sein werden.

Darbietung Stressoren, welche eine Stressreaktion auslösen (S. 38). Plan B in meinem Experiment.

### Evidenzbasierung von Biofeedback

* Typische Dauer
* Rolle des Therapeuten
* Aufbau von Biofeedback
* Arten von Biofeedback
  + Handrewärmungstraining
* Was wird gemessen
  + Photoplethysmographie = unterschiedliche Lichtdurchlässigkeit von durchblutetem und undurchblutetem Gewebe;
  + HRV, HF = Indikatoren der kadiovaskulären Aktivität = geben Hinweise auf den Aktivierungszustand eines Individuums, bzw. die Regulation zwischen sympathischer und parasympathischer Kontrolle.
  + Die Variabilität der Herzrate (HRV) gilt als Indikator gesunder Herzfunktionen.
  + Atmung (Angststörungen, psychosomatischen Störungen, Artefaktkontrolle)
  + Elektrische Muskelaktivität: Bei gewissen Indikationen wie Kopfschmerzen vom Spannungstyp oder Rückenschmerzen besteht das Trainingsziel in einem Abbau dieser erhöhten Aktivierung, bei anderen Indikationen (Harninkontinenz oder anderen Entleerungsstörungen in einem Aufbau der Muskelaktivitäten.
  + EEG (Neurofeedback, Elektronenzephalogramm) = Oberflächenelektroden (Bei ADHS, Epilepsie): Registriert die vom Kortex und der subkortikalen Strukturen generierte elektrische Aktivität.

Spezifische Biofeedbackdiagnostik:

## Theoretische Konzepte und Wirkmechanismen

Wie im vorigen Kapitel beschrieben ist die Wirksamkeit von verschiedenen Biofeedback Verfahren bei spezifischen Krankheitsbildern empirisch gut untersucht. Dies gilt auch für die noch relativ neuen HRV-gestützten Biofeedback Verfahren [1].

In der wissenschaftlichen Forschung ist es nicht unüblich, dass Zusammenhänge per Zufall gefunden werden. So zum Beispiel werden bei Wirkstoffen in der Pharmazie oft Effekte per Zufall entdeckt und anschliessend wird a posteriori versucht, mit Hilfe eines theoretischen Erklärungsmodells diesen Effekt zu erklären [1]. Es ist daher nicht erstaunlich, dass in den empirischen Wissenschaften Zusammenhänge beobachtet und zuverlässig reproduziert werden können, deren aktuelle theoretische Erklärungsmodelle aber nach einer kritischen Analyse immer wieder revidiert werden müssen.

Dies gilt auch für die Biofeedbackforschung, welche nach 40 Jahren noch kein gültiges Modell im Rahmen der theoretischen Konzeption von Biofeedback aufstellen konnte [1]. Trotzdem ist es an dieser Stelle angebracht, auf einige dieser Konzepte einzugehen.

Aufbauen auf diesen theoretischen Überlegungen, insbesondere der operanten Konditionieren, soll dabei die eigentliche Fragestellung, welche im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe eines softwaregestützten Experimentiersystem empirisch untersucht werden wird, vorgestellt und in ihrem wissenschaftstheoretischen Kontext eingebettet werden.

### Offener Regelkreis

Dieses Modell basiert auf einem Ist-Soll-Vergleich, wobei mit Hilfe einer negativen Rückkopplung Abweichung korrigiert werden. Beispielwiese reguliert der Baroreflex (Barorezeptor-Reflex) als homöostatischer Mechanismus den Blutdruck. Unter Homöostase wird dabei die Aufrechterhaltung eines Gleichgewichtszustandes eines offenen dynamischen Systems verstanden. Bei einem erhöhten Blutdruck wird reflektorisch die Herzfrequenz gesenkt, was auch den Blutdruck mindert. Bei einem niedrigen Blutdruck wird der Baroreflex unterdrückt, wodurch die Herzfrequenz und damit der Blutdruck wieder steigen. Im Zusammenhang mit Biofeedback wird nun ein solcher interner Regelkreis zeitweise durch einen externen ergänzt, respektive ersetzt [1].

Durch dieses Modell lassen sich diverse andere physiologische Mechanismen wie zum Beispiel Hunger oder Durst beschrieben. Als alleiniges theoretisches Konzept zur Erklärung der Funktionsweise kann diese aber schon deshalb nicht dienen, da die kognitiven Konzepte von Biofeedback nicht berücksichtigt sind [1].

### Kognitive Konzepte

Diese Erklärungsansätze betonen die Bedeutung willentlicher Kontrolle sowie die Wirkung von Einstellungen und inneren Prozessen im Individuum. Biofeedback wird dabei als Training zum Verbessern der Kontrolle über diese Prozesse verstanden. Selbstkontrolle über autonom ablaufende physiologische Prozesse ist erlernbar, was es ermöglicht Entgleisungen von Körperfunktionen zu verhindern oder zu beseitigen. Dies hat zudem positive Auswirkungen auf die psychologisch wesentliche Selbstwirksamkeitserwartung. Dies insbesondere deswegen, weil der Therapieerfolg in positiven Zusammenhang mit der Erfahrung des Patienten steht, Funktionen kontrollieren zu können, welchen er bis anhin hilflos ausgeliefert war. [1].

Diese kognitiven Ansätze fussen auf den empirisch nachgewiesenen Erkenntnissen, dass spontan erzeugte Gedanken direkt mit spezifischen physiologischen Reaktionen verbunden sind und dass zudem durch Biofeedback die Verbindung zwischen Kognition und Körperreaktion sehr bewusst wahrgenommen wird und damit körpereigene Prozesse durch verbesserte Wahrnehmung (body awareness) effektiv gesteuert wird [1].

### Physiologische Reaktionskontrolle

In diesem Erklärungsansatz geht es letztlich um die Entwicklung oder Verbesserung einer physiologischen Reaktionskontrolle. Dabei wird zwischen spezifischer und unspezifischer physiologischer Kontrolle unterschieden [1].

Als Beispiel für eine spezifische Reaktionskontrolle kann ein Migränepatient genannt werden, welcher lernt eine Vasokonstriktion des extrakranialen Gefässsystems herbeizuführen, um einen beginnenden Migräneanfall zu kupieren. Diese Kompetenz kann im Rahmen einer Biofeedback Therapie erlernt werden und anschliessend spezifisch eingesetzt werden, wenn sich eine Migräneattacke ankündigt [1].

Die unspezifische physiologische Reaktionskontrolle bezieht sich auf eine allgemeine Veränderung. Beispielsweise lernt der Patient durch Biofeedback eine allgemeine Entspannung im Sinne einer Deaktivierung herbeizuführen. Dies steht auch in Zusammenhang mit einer Verbesserung der somatischen Wahrnehmungsfähigkeit [1].

### Klassische Konditionierung

Klassische Konditionierung ist eine behavioristische Lerntheorie, die besagt, dass einer natürlichen, meist angeborenen, sogenannten unbedingten Reaktion durch Lernen eine neue, bedingte Reaktion hinzugefügt werden kann [Wicki].

Dabei erlangt das dargebotene Signal die Eigenschaft eines konditionierten Reizes, nachdem das Signal zuvor neutral war. Damit entsteht eine Assoziation zwischen diesem Signal und der konditionierenden Funktion. Bei Therapien von Ängsten wird beispielweise der angsterzeugende Reiz als Feedbacksignal zur Entspannungsinduktion verwendet. Eine exakte Trennung zur Operanten Konditionierung ist jedoch nicht möglich, da nicht auszuschliessen ist, dass das Rückmeldesignal eine verstärkende Wirkung hat [1].

### Operante Konditionierung

Diese Theorie kommt aus der Lernpsychologie und beschreibt die Wirksamkeit von Biofeedback im Rahmen des Lernens am Erfolg. Die Probanden lernen zuerst durch Versuch und Irrtum die gewünschte physiologische Reaktion, repräsentiert durch das Biofeedbacksignal, zu erreichen. Erfolgt eine Beeinflussung in die gewünschte Richtung, so wirkt das Feedbacksignal als Verstärker, was die zukünftige Auftretenswahrscheinlichkeit dieses Verhaltens erhöht. Da es sich hierbei um physiologisches Verhalten handelt, spricht man in diesem Zusammenhang auch von viszeralem Lernen [1].

Bei Tierexperimenten mit Raten konnte beispielsweise durch operante Konditionierung deren Herz-Frequenz verändert werden. Eine Vielzahl von Studien belegt seitdem, dass das Erreichen einer erwünschten Körperreaktion im Zusammenhang mit einer kontingenten, gut wahrnehmbaren Rückmeldung dem Konzept einer positiven Verstärkung entspricht [1].

Wie weit jedoch spezifische (teil)autonome physiologische Prozesse direkt lernbar sind, kann zurzeit nicht eindeutig beantwortet werden. Es wird eher davon ausgegangen, dass diese über erlernte kognitive und motorische Aktivitäten indirekt beeinflusst werden [1].

Wie erwähnt besagt das Prinzip „Law of Effect“ (Lernen am Erfolg), dass sich die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Verhaltens dann erhöht, wenn dieses Verhalten befriedigende Konsequenzen nach sich zieht. [8]. Bei Biofeedback ist hier sicherzustellen, dass der Patient in der Lage ist, die ihm präsentierte Darstellung seiner physiologischen Prozesse bezüglich dieser „befriedigende Konsequenzen“ hin zu bewerten. Er muss also verstehen, was als erwünschtes und was als nicht erwünschtes Ergebnis verstanden wird. Gerade in Zusammenhang von Biofeedback ist dies nicht immer trivial, kann aber durch eine geeignete Darstellung die physiologischen Signale vereinfacht und mit Hilfe einer sauberen Instruktion sichergestellt werden.

Im Rahmen dieses behavioristischen Feedbacks wurde untersucht, unter welchen Bedingungen Feedback am effektivsten ist. Ausgehend vom Kontiguitätsprinzip, welches besagt, dass zwei Ereignisse assoziiert werden, wenn sie wiederholt zeitlich oder räumlich gemeinsam auftreten, wurde erwartet, dass es für den Lernerfolg wichtig ist, dass das Feedback zeitlich möglichst unmittelbar präsentiert wird [8]. Dieses Feedback-Timing oder „delay of Feedback“ wurde sehr gut untersucht [8]. Allerdings relativiert eine Metaanalyse Kulik et al. (1988) [6] diesen Zusammenhang und Butler et al. (2007) [7] kommt zum Schluss, dass die Auswirkungen des Zeitpunktes des Feedbacks in der Wissenschaft nach wie vor kontrovers diskutiert werden.

Diese kontroverse Diskussion ist bei dem verhältnismässig jungen Untersuchungsfeld über HRV-gestütztes Biofeedback ebenfalls interessant. Diese Arbeit geht deshalb dieser Frage nach. Hierfür soll ein softwaregestütztes Experimentalsystem entwickelt werden, welches ein HRV-basiertes Biofeedbacktraining simuliert. Die Software soll dabei in der Lage sein, den Darbietungszeitung des HRV-Signales 2-Stufig zu variieren. In einer anschliessenden Evaluierung dieses Experimentalsystems soll dabei folgende Fragestellung im Zentrum stehen:

Zentrale Fragestellung:

**Beeinflusst der Darbietungszeitpunkt des HRV-Signals die Wirksamkeit von Biofeedback?**

**ODER**

**Welchen Einfluss hat der Darbietungszeitpunkt des HRV-Signals auf die Wirksamkeit des entwickelten Experimentiersystem?**

(ungerichtete Hypothesen)

# Experimenteller Feldversuch

## Versuchsaufbau

Das softwaregestützte Biofeedbacksystem soll in einem experimentellen Feldversuch an drei geeigneten Probanden getestet.

Für jeden der drei ausgewählten Probanden soll der Versuch insgesamt 10-mal durchgeführt werden.

Jeder Versuch besteht dabei aus drei Phasen. Einer Vorher-Messung, einer Interventionsphase und einer Nachher-Messung. Während allen drei Phasen wird dabei die Herzfrequenz der Versuchspersonen aufgezeichnet. Allerdings bekommt die Versuchsperson nur während der Interventionsphase die HRV-Wert präsentiert (Siehe Kapitel Entwicklung der Applikation sowie Versuchsablauf). Jede Phase dauert exakt 5 Minuten. Ohne Instruktion (Siehe Anhang) dauert ein Versuchsdurchlauf also jeweils 15 Minuten.

### Auswahl der Versuchspersonen

Es muss berücksichtigt werden, dass sich nicht alle Menschen für dieses Experiment eignen. So kann es unter anderem sein, dass aufgrund von unter anderem Extrasystolen die HRV nicht zuverlässig ermittelt werden kann. Extrasystolen sind Herzschläge, welche außerhalb des physiologischen Herzrhythmus auftreten. *(TODO:….Um brauchbare Messergebnisse zu erhalten, muss deshalb eine Vorselektion der Probanden durchgeführt werden. --- Wird dies nötig gewesen sein?? Wie kann ich zuvor bestimmen ob sich eine Versuchsperson eignet??)*

### Vorbedingungen

Damit auswertbare Daten generiert werden, sollte sich der Proband jeweils möglichst in einem identischen psychophysiologischen Zustand befinden. Für jede Versuchsperson finden alle Sitzungen jeweils um dieselbe Uhrzeit, an demselben Ort und in derselben Körperhaltung statt. Während des Experimentes wird die Versuchsperson gebeten mit Hilfe eines Metronoms ihre Atemfrequenz zu kontrollieren. Auf den Umgang mit Störvariablen wird zudem im Kapitel X:X:X noch weiter eingegangen werden. All diese Restriktionen dienen dem Zweck, möglichst viele Störvariablen zu eliminieren, respektive zu kontrollieren und somit verwendbare Daten zu erhalten.

### Verwendete(r) HRV-Parameter

Wie in Kapitel 2.X:X erwähnt stehen mehrere zeitbezogene HRV Parameter zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit wird mit dem rMSSD-Parameter gearbeitet. Dieser steht in Zusammenhang mit der parasympathischen Aktivität und kann deshalb als Erholungsmass interpretiert werden [2]. Er ist definiert als die Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe der quadrierten Differenzen aller sukzessiven RR-Intervalle.

Formel: [11]

Frage an Herrn Zimmermann: SDNN oder pNN50 ebenfalls erwünscht. Kann auch später entschieden werden.

### Unabhängige Variable (UV)

Die unabhängige Variable (UV) besitzt zwei Ausprägungen (Länge der Verzögerung des Darbietungszeitpunktes). Wie erwähnt sind für jeden der drei Versuchspersonen zehn Versuchsdurchläufe geplant, so dass jede Versuchsperson jede der zwei Ausprägungen der UV insgesamt fünfmal durchlaufen wird. Die Reihenfolge wird dabei zufällig variiert.

Die unabhängige Variable (UV) besteht nun in der Unmittelbarkeit des zu berechnenden Parameters. Die bedeutet konkret, dass die vom Sensor gesendeten Daten auf zwei unterschiedliche Weisen in den rMSSD-Parameter umgerechnet werden. Sämtliche Daten von Sensor übermittelten Bpm-Werte werden hierfür in einem Array gespeichert. Um den rMSSD-Parameter zu berechnen werden nun entweder die 5 letzten oder die 15 letzten Bpm-Werte zur Berechnung herangezogen. Der so berechnete rMSSD-Parameter wird während der Interventionsphase der Versuchsperson präsentiert. Diese unterschiedliche Berechnung des zeitbezogenen HRV-Parameters, also dieser rMSSD-Parameter, stellt daher die Unabhängige Variable (UV) des experimentellen Versuchssystems dar.

### Abhängige Variable (AV)

Zur Operationalisierung der Wirksamkeit der Interventionsphase, also der Abhängigen Variable (AV), werden sowohl für die Vorher-Messung als auch für die Nachher-Messung getrennt der Overall rMSSD-Werte je Phase ermittelt. Overall bedeutet, dass das arithmetische Mittel aus allen verfügbaren RR-Intervallen je Phase gebildet wird.

Da der rMSSD-Parameter als Mass für der Entspanntheit verstanden werden kann, wird es möglich sein, bei einem Vergleich dieses Overall-rMSSD-Wertes zwischen der Vorher- und der Nachher-Messung, eine Aussage über die Wirksamkeit der Interventionsphase zu machen.

### Auswertung der Daten

Die Auswertung der Daten beschränkt sich auf eine intrapersonelle Analyse. HRV-Werte sind unter vielem anderem altersabhängig. Schon deshalb würde eine interpersonelle Analyse keinen interpretierbaren Informationen liefern.

Für die Auswertung der Daten werden die Overall rMSSD-Werte der Vorher-Messung mit denjenigen der Nachher-Messung miteinander verglichen. Gemäss [4] ist zu erwarten, dass diejenigen Overall rMSSD-Werte der Nachher-Messung höher sein werden, als diejenigen der Vorher-Messung. Trifft dies zu, können die Mittelwerte (Arithmetisches Mittel) der Differenz (Nachher-Vorher) je UV und Versuchsperson ausgerechnet werden. Anschliessend soll analysiert werden, ob die Ausprägungen der UV einen Einfluss auf die AV besitzen. Diese Analyse wird den Ausgangspunkt der abschliessenden Diskussion bilden, inwieweit der Darbietungszeitpunkt des HRV-Signales im Rahmen dieses softwaregestützten Experimentalsystems einen Einfluss auf die Wirksamkeit der entwickelten Interventionsphase hat.

## Versuchsablauf

Nach dem Erscheinen der Probanden werden diese in das Versuchslabor (respektive das Wohnzimmer des Versuchsleiters) geführt. Dort werden sie unter Anweisung des Versuchsleiters gebeten den Polar H7 Sensor anzulegen.

Die Anlage des Sensors erfolgt nach gründlicher Entfettung und eventueller Rasur der Haut, um einen guten Kontakt über den gesamten Aufzeichnungszeitraum zu gewährleisten. Der Sensor wird mit Hilfe eines Brustgürtels auf dem Brustbein befestigt. Der Sensor sollte, um Artefakte zu vermindern, im Bereich von muskel- und fettarmen Regionen platziert werden [2]. Zudem ist darauf zu achten, dass dessen Kontaktfläche angefeuchtet wird. Anschliessend wird die Versuchsperson gebeten sich zu setzen und zu entspannend. Der Versuchsleiter startet die Applikation und überprüft ob diese die Daten vom Sensor empfängt. Es folgt eine standardisierte Instruktion (Siehe Anhang) welche der Versuchsleiter der Versuchsperson mündlich mitteilt. Falls die Versuchsperson Fragen hat, können diese gestellt werden. Gegebenenfalls werden diese durch den Versuchsleiter protokolliert. Im nächsten Schritt versucht sich die Versuchsperson weiter zu entspannen in dem sie sich an vergangene Ferientage erinnern soll, während ihr entspannende Musik präsentiert wird. Zudem wird das Metronom gestartet und der Proband wird gebeten, seine Atmung mit Hilfe dieses Metronoms zu steuern. Das Metronom wird auf 14 Atemzüge pro Minute justiert (Siehe Kapitel XXX: Umgang mit Störvariablen). Erst wenn der Proband angibt, das ihm die Steuerung der Atmung mittels Metronom gelingt, wird der Testlauf der App gestartet und somit die HRV-Daten des Probanden aufgezeichnet. Dabei ist einer der beiden Parameter (unabhängige Variable) vom Versuchsleiter zu wählen. Der Bildschirm wird in Richtung des Probanden gedreht. Während den ersten 5 Minuten (Vorher-Messung) ist dieser Bildschirm weiss. In den darauf folgenden 5 Minuten erscheinen sich bewegende Kreise auf dem Bildschirm. Dank den zu Beginn erhaltenen Instruktionen weiss nun die Versuchsperson, dass sie versuchen soll, die Geschwindigkeit der sich öffnenden Kreise zu erhöhen, indem sie ihre physiologischen Prozesse zu verändern versucht. Wie genau, wurde ihr jedoch nicht mitgeteilt (Siehe Instruktion im Anhang). In den letzten 5 Minuten (Nachher-Messung) erscheint erneut ein weisser Bildschirm und die Versuchsperson erinnert sich wieder an ihre Ferien bis die Applikation anzeigt, dass der Durchlauf beendet ist. Die Hintergrundmusik kann abgestellt werden.

### Umgang mit Störvariablen

Die Durchführung eines Experimentes dieser Art ist nicht trivial. Im Gegenteil gibt es eine Vielzahl von Einflussfaktoren, welche es sowohl in der Vorbereitung, als auch während der Durchführung zu beachten gilt. Bleiben diese Einflussfaktoren vor und während der Evaluierung des Experimentalsystems unbeachtet, so erschwert dies bei der anschliessenden Diskussion eine saubere Interpretation von gefundenen Zusammenhängen. So kann es sich zum Beispiel bei einem gefundenen Zusammenhang nur um eine Scheinkorrelation handeln, welche durch eine unberücksichtigt gebliebene intervenierende Störvariable zustande kommt [???]. Deshalb scheint es an dieser Stelle sinnvoll etwas näher auf diese Einflussfaktoren einzugehen.

Psychophysiologische Basiskonzepte: (Sollten Anwender psychophysiologischer Messverfahren kennen):

### Allgemeine Einflussfaktoren wissenschaftlicher Experimente

**Versuchsleitereffekt**

Wirkung des Versuchsleiters auf das Ergebnis eines Experiments aufgrund seiner zur Schau gestellten Motivation, Einstellung oder Durchführungsmethode. Dieser Effekt kann zumindest minimiert werden, indem die Versuchsanleitung respektive die vom Versuchsleiter abgegeben Instruktionen vorgängig definiert und somit standardisiert werden [???].

Während dieser Effekt im therapeutischen Kontext sogar gewollt herbeigeführt wird, muss er im geplanten Experiment als Störvariable entfernt oder zu mindestens standardisiert werden [1].

**Vorwissen der Versuchspersonen / Erwartungshaltung der Versuchspersonen**

Wissen die Versuchspersonen um was es beim Versuch geht kann dies zu einer Verfälschung des Experimentes führen. Dies kann mit einem sogenannten Blindversuch korrigiert werden, indem die Versuchsperson nicht über den Sinn und Zweckes informiert wird. Ideal wäre zudem ein sogenannter Doppelblindversuch, bei dem auch der Versuchsleiter kein Wissen über das Untersuchungsziel hat. Dieser Standard wird jedoch bei der Evaluierung des Experimentalsystems nicht erfüllt werden [???].

…..???

### Psychophysiologische Basiskonzepte

**Relevanz des Ausgangswertes**

Dieses Gesetzt besagt, dass die Effektstärke eines Trainings von dem Ausgangswert abhängig ist. Bezogen auf die HRV würde dies bedeuten, dass Probanden mit eine bereits hohen HRV weniger von einem HRV-basierten Biofeedbacktraining profitieren würden, als Probanden mit einer tiefen HRV [2].

**Individualspezifische Reaktion (ISR)**

Besagt, dass viele Personen dazu neigen, unabhängig von der Art der Belastung bevorzugt in einem bestimmten physiologischen System zu reagieren, also z.B. im Herz-Kreislauf-System oder im muskulären System. Dieses Konzept könnte als Erklärungsmodell dienen, welches interindividuelle Unterschiede der beobachteten Effekte des Experimentes beschreibt. Da in der hier durchgeführten Evaluierung keine interpersonelle Analyse durchgeführt wird, muss diesem Einflussfaktor keine weitere Beachtung geschenkt werden [2].

**Entspannungsindizierte Ängstlichkeit**

Bei einigen Patienten kommt es während der Ruhephase zu einem steigenden Puls. Umso wichtiger, dass sich die Versuchspersonen wohlfühlen [2].

**Orientierungs- und Verteidigungsreaktion**

Orientierungsreaktion auf einen erstmalig dargebotenen weder intensiven und noch aversiven Reiz führt unter anderem zu einem sinken der Herzrate. Bei mehrmaliger Präsentation dieses Reizes kommt es zu einer Habituation. Im Gegensatz kommt es jedoch bei aversiven oder intensiven Reizen zu einer Erhöhung der Herzrate. Bei der Durchführung des Experimentes muss darauf geachtet werden, dass die Versuchspersonen genügend Zeit erhalten, sich auf die vorgefundene Situation einzustellen, dass es zu einer generellen Stabilisierung ihrer physiologischen Parameter kommt [2].

……???

### HRV-Spezifische Störvariablen

Diese wurden bereits im Kapitel 2 dargestellt, trotzdem sollen sie an dieser Stelle noch einmal kurz genannt werden, da sie bei der Evaluierung des Experimentalsystems von entscheidender Bedeutung sind. Dabei stehen die kurzfristigen Einflussfaktoren in Zentrum.

**Einfluss der Atmung**

Der Einfluss der RSA wird mit Hilfe eines Metronoms kontrolliert. Bei einem Erwachsenen liegt die normale Atemfrequenz in Ruheposition zwischen 10 – 16 Atemzüge pro Minute [2]. Das Metronom wird dementsprechend auf 14 Atemzüge pro Minute justiert.

**Einfluss des körperlichen Aktivierungsgrades**

Die Herzfrequenz und somit auch deren Variabilität (HRV) werden durch die Körperhaltung beeinflusst, weshalb diese standardisiert werden muss. Die Probanden werden sich während der Evaluierung in entspannter sitzender Position befinden [2].

### Spezifische Störvariablen des Experimentalsystems

**Unterschiedliche Präsentation des HRV-Signales aufgrund der unabhängigen Variablen (UV)**

Die untersuchte unabhängige Variable hat neben dem gewünschten Einfluss auf des „Feedback Timing“ einen Einfluss auf die Präsentation des HRV-Signales. So verändert der dynamisch präsentierte Kreis bei dem unmittelbareren Feedback seine Form schneller. Diese Störvariable ist methodisch nicht von der UV getrennt werden. Um den Einfluss dieser Störvariable besser zu verstehen, werden die Probanden nach dem Testlauf gefragt, in wie weit sich ihrer Meinung nach einen Unterschied zu einem anderen Testlauf erkannt haben und ob und in welcher Form sie dadurch beim Erreichen ihrer Aufgabe beeinflusst wurden. Die Antworten werden dann in die abschliessende Diskussion dieser Arbeit einfliessen.

# Entwicklung eines Experimentiersystems

## HRV-Sensor (Entwurf)

Um die Variabilität zu erfassen, ist eine hohe Abtastrate des Sensors nötig. Dabei wird eine Abtastrate von mindestens 1000 Hertz (Hz) (Messungen pro Sekunde) empfohlen [2]. <http://www.hrv24.de/HRV-Geraete/Polar-S800-S810i-RS800-RS800CX.htm>

Der in dieser Arbeit verwendete Sensor (Polar H7) arbeitet mit der „Beat-to-Beat“-Methode. Auf Nachfragen wollte der Hersteller die Abtastrate jedoch nicht mitteilen. Da dieser Sensor jedoch für den Gebrauch von Ausdauersport vertrieben wird und sich die Probanden bei der Datenerhebung in Ruhezustand befinden werden, kann von einer ausreichenden Genauigkeit des Sensors ausgegangen werden.

## Anforderungen an die Applikation

Zum Durchführen des experimentellen Feldversuchs (TODO: Besserer Begriff suchen) wird eine Applikation benötigt, welche die Daten des HRV-Sensors empfängt und in gewünschter Weise darstellt. Da die unabhängige Variable (Darbietungszeitpunkt des HRV-Signals) während der Versuchsreihe variiert wird, muss diese Variable zweistufig parametrierbar gemacht werden.

Da es sich bei den vom Sensor via Bluetooth übermittelten Daten um die Herzfrequenz (Masseinheit: Beat per Minute / Bpm) handelt müssen diese nach dem Empfangen in gespeichert werden um daraus die HRV berechnen zu können. Aus diesen Daten soll laufend die r-MSSD berechnet werden. Dabei handelt sich wie in Kapitel 2 beschrieben um die Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen. Höhere Werte weisen auf vermehrte parasympathische Aktivität hin.

Des Weiteren müssen die HRV-Daten während der gesamten Versuchsdurchführung in irgendeiner Form gespeichert werden, damit diese später weiter analysiert werden können. Dabei ist zu beachten, dass die Daten nicht nur in der Interventionsphase, sondern ebenfalls während der Vorher- und in der Nachher-Messung erfasst werden. Für die Auswertung der Messreihen ist es wichtig, dass dabei klar ersichtlich wird, zu welcher der drei Versuchsphasen die einzelnen Datensätze gehören.

Während der Vorher- und der Nachher-Messung soll dem Probanden sein HRV nicht dargeboten werden. Damit der Bildschirm nicht jedes Mal gedreht werden muss, scheint es angebracht, dass in diesen beiden Phasen nichts auf dem Bildschirm angezeigt wird. Ziel ist es, dass die Applikation ohne externe Beeinflussung den Wechsel der drei Versuchsphasen autonom steuert und diesen über das Ende des Versuchs informiert.

## Entwicklung der Applikation (Entwurf)

Mobile Geräte erfreuen sich einer bereits grossen und stetig steigenden Beliebtheit. Deshalb soll eine Applikation geschrieben werden, welche auf solchen Geräten läuft. Gemäss [10] laufen über 80% der Smartphones auf Android, 15% auf iOS und Windows Phone deckt nur gerade einen Marktanteil von 1.6% ab. Deshalb ist klar, dass .Net Entwickler nicht darum herum kommen, Mobile Applikationen zu entwickeln, welche auf Android laufen. Hierfür hat Microsoft Xamarin entwickelt, welches es erlauben soll sogenannte Cross-Platform Applikationen zu entwickelt. Dabei soll es möglich sein innerhalb einer Solution mit möglichst wenig redundanten Code Applikationen zu schreiben, welche auf allen drei der oben genannten Betriebssysteme kompilieren. In Anbetracht der wachsenden Bedeutung von Mobilen Applikationen sollen im Rahmen dieser Arbeit erste Erfahrungen mit Xamarin gesammelt werden. Um den Programmieraufwand jedoch überschaubar zu halten wird lediglich die Anforderung gestellt eine Applikation zu schreiben, welche auf Android läuft. Eventuelle Erweiterungen auf andere Betriebssysteme sind im Rahmen dieser Arbeit nicht geplant.

Xamarin ermöglicht das Programmieren in der modernen Programmiersprache C#. Seit dem 31.3.2016 stellt Microsoft Xamarin zudem als Visual Studio Plug-In kostenlos zur Verfügung, was die Bedeutung dieser Technologie in Zukunft sicherlich nicht schmälern dürfte.

Ein Programmierer will heute das Rad nicht jedes Mal wieder neu erfinden. Deshalb macht es Sinn sich in der Planungsphase und vor dem Start der Entwicklung zu informieren, welche Komponenten bereits vorhanden sind und die Entwicklung der Applikation unterstützen können. Auf der Xamarin Homepage sowie auf GitHub finden sich herfür diverse Testprojekte, welche Heruntergeladen und in Visual Studio importiert werden können. Für die Datenübertragung zwischen dem Sensor und der Applikation konnte deshalb ein solches Projekt verwendet werden:

(<https://github.com/conceptdev/xamarin-forms-samples/tree/master/BluetoothHeartRateMonitor>, 30.5.2016)

Dieses empfängt unter anderem die benötigte Herzfrequenz (Masseinheit Beat per Minute, Bpm) in einer hohen Frequenz via Bluetooth und ist mit dem in diesem Projekt verwendeten Polar H7 Sensor kompatibel.

Als nächstes muss die Applikation die Herzfrequenz in die Herzratenvariabilität (HRV) umwandeln. Dabei wird der in Kapitel 2 und 4 beschriebene rMSSD Parameter verwendete. Mit Hilfe der Xamarin Komponente **(????)** wird dieser in Form eines dynamisch verändernden Kreises der Versuchsperson präsentiert. Die Grösse des Kreises verhält sich dabei äquivalent zu der Grösse des rMSSD Parameters. Der Versuchsperson wird somit in der Instruktion die Aufgabe gestellt, die Grösse dieses Kreises zu erhöhen.

TODO: Sequenzdiagramm, Systemdiagramm

Aktueller provisorischer Stand GUI (zwei Darstellungsformen):

(Noch kein HRV, sondern BPM)

# Ergebnisse

* Grundsätzliche Fragestellung: Beeinflusst der Darbietungszeitpunkt wie Wirksamkeit des HTV-basierten Biofeedbacks

# Diskussion

* Darstellung der Befunde im Lichte der Ausgangshypothesen und Forschungsziele

# Schlussbetrachtung

* Interpretation der Ergebnisse unter Berücksichtigung anderer Arbeiten

# Engineering Part

## Abstract

Es soll eine App entwickelt werden, welche zum Durchführen des HRV Experimentes [Verweis auf Experiment Beschreibung] geeignet ist. Der Name des Projektes sowie der App ist «Herzratenvariabilität».

Die Funktionalität beinhaltet hierzu eine visualisiert der HRV-Werte des Polar H7 Device, eine Metronom Funktion zur Kontrolle der Atmung des Probanden, Parametrisierbarkeit des …-Werts und das Experiment an sich sowie die Möglichkeit auf die dabei erhobenen Daten zuzugreifen.

## Konkurrenzanalyse

Im Rahmen der Konkurrenzanalyse wurde folgende Apps analysiert:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Titel | Anbieter | Version |
| Polar H7 Heart Rate Monitor | Teksun Inc | 3.0 |
| Polar Flow – Activity & Sports | Polar Electro | 3.0 |
| Elite HRV | Elite HRV | 4.5 |
| Pulsometer RR | Aimar Mun | 4.1 |

In Bezug auf die Anforderung der Parametsierbarkeit des …Wertes (US-5) erfühlte keine der analysierten Apps die Anforderung.

## Requirements Engineering

### User Stories

|  |  |
| --- | --- |
| US-1 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte ich, dass sich die App mit dem Polar H7 Device verbinden kann. |
| Abhängigkeiten: | Keine |
| Benötigte Mittel: | Polar H7 Device |
| User Acceptance: | Eine Verbindung mit dem Device wird erstellt und geloggt. |

|  |  |
| --- | --- |
| US-2 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte ich, dass die App die HRV-Werte vom Device empfangen kann. |
| Abhängigkeiten: | US-01 |
| Benötigte Mittel: | Polar H7 Device |
| User Acceptance: | Die HRV-Werte werden empfangen und geloggt. |

|  |  |
| --- | --- |
| US-3 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte ich, dass die App die HRV-Werte mithilfe von Linien und Punkten darstellt. |
| Abhängigkeiten: | US-02 |
| Benötigte Mittel: | Polar H7 Device |
| User Acceptance: | Die HRV-Werte werden visualisiert. |

|  |  |
| --- | --- |
| US-4 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte … Metronom-Funktion |
| Abhängigkeiten: | Keine |
| Benötigte Mittel: | Keine |
| User Acceptance: | … |

|  |  |
| --- | --- |
| US-4 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte ich den …-Wert parametrisieren können. |
| Abhängigkeiten: | Keine |
| Benötigte Mittel: | Keine |
| User Acceptance: | Die …-Werte kann parametrisiert werden und wird bei der Darstellung verwendet. |

|  |  |
| --- | --- |
| US-5 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte ich ein Experiment durchführen können. |
| Abhängigkeiten: | US-04 |
| Benötigte Mittel: | Polar H7 Device |
| User Acceptance: | Nach dem Start des Experimentes erscheint 5 min das Metronom, dann weitere 5 Minuten Metronom und die HRV-Werte und zum Schluss nochmals 5 Minuten nur das Metronom. |

|  |  |
| --- | --- |
| US-6 | Beschreibung |
| User Story | Als Benutzer möchte ich auf die Daten des Experiments zugreifen können. |
| Abhängigkeiten: | US-05 |
| Benötigte Mittel: | Polar H7 Device |
| User Acceptance: | Die Werte (Messresultate inkl. Timestamp) des Experiments können ausgelesen werden. |

## Lieferumgang

#### Applikation

Die Herzratenvariabilität APP

#### Dokumentation

## GUI Design

### MockUp



Abbildung : Erste Darstellungsform

Abbildung : Zweite Darstellungsform

## Technische Dokumentation

### GitHub

Gmail & GitHub Account: [bachelorthesisgithub@gmail.com](mailto:bachelorthesisgithub@gmail.com)

Gmail & GitHub Passwort: ffhs2016

GitHub Project URL : <https://github.com/BachelorThesisGitHub>

### IDE / Setup

Microsoft Visual Studio Professional 2015 / Xamarin.Android 6.1

Kompiliert mittels Android Version 6.0 / API Level 23 (Marshmallow)

Minimale unterstützte Android Version 4.1 / API Level 16 (Jelly Bean)

.Net Framework 4.5.2

Mono 4.4

JDK 1.8.0\_91

### Smartphone (Verwendet während der Entwicklung)

HUAWEI Modellnummer: EVA-L09  
Android Version 6.0

Auflösung: 1080 x 1920

### HRV-Device

Polar H7 Bluetooth Smart Sender

[Produktbeschrieb] / Polar\_H7\_Heart\_Rate\_Sensor\_Getting\_Started\_Guide\_Deutsch.pdf

### Permissions der App

BLUETOOTH\_ADMIN

BLUETOOTH

ACCESS\_NETWORK\_STATE

CALL\_PHONE

READ\_PHONE\_STATE

## OO Analyse- / Design

### Klassendiagramm

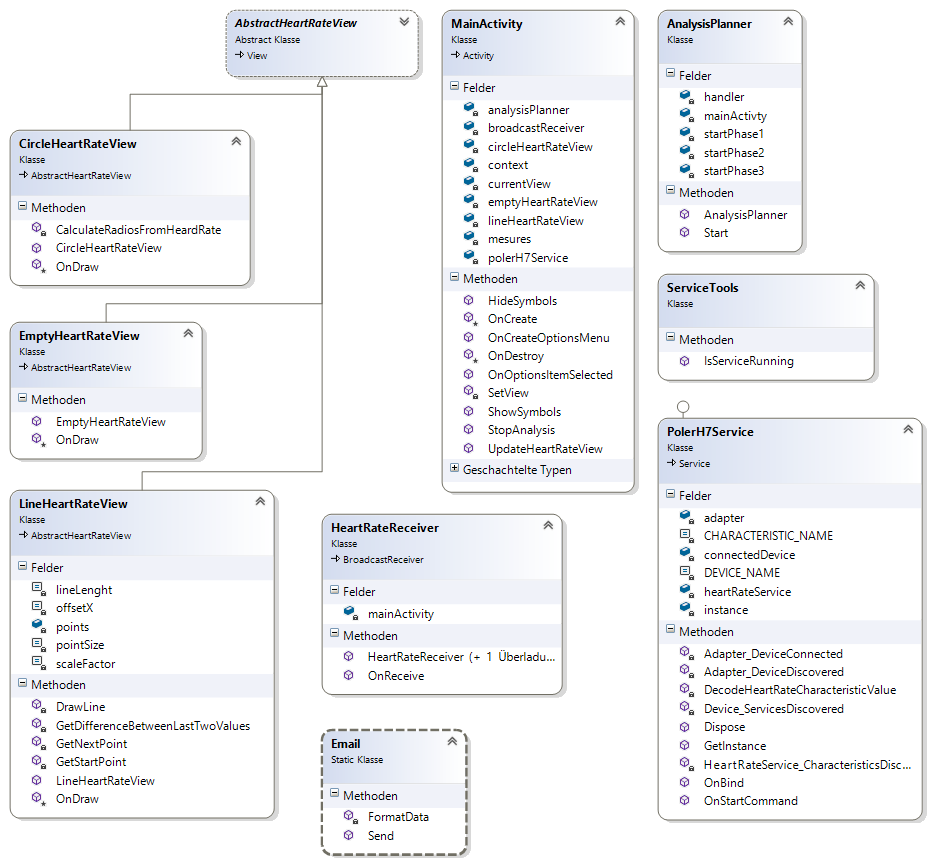


Abbildung : Aktuelles provisorisches Klassendiagramm

## Testen

### Testkonzept

User Acceptance / Testfälle

|  |  |
| --- | --- |
| Abschnitt | Inhalt |
| ID | Testfallnummer (ST = Systemtest) |
| Anforderungen | Welche Anforderungen werden durch diesen Testfall abgedeckt? |
| Vorbedingungen | Was muss gegeben sein, damit dieser Test durchgeführt werden kann? |
| Testdaten | Welche Testdaten werden verwendet? |
| Ablauf | Welche Schritte werden bei der Durchführung des Tests durchlaufen? |
| Erwartetes Resultat | Was sollte nun passiert sein? |

### Testprotokoll

## Installationsanleitung

### Benutzerhandbuch

# Offene Fragen (mit dem Referenten zu diskutieren)

* Ist die Operationalisierung der AV und UV bezogen auf die Fragestellung so akzeptierbar?
* Reicht der ausgewählte HRV-Parameter aus?
* Ist die Entwicklung der Fragestellung gelungen, sind Ihnen andere Aspekte bekannt, welche diese noch verbessern könnten?
* Welche zusätzlichen Mechanismen (Störvariablen) sollten beim experimentellen Feldversuch noch berücksichtigt werden?
* Ist in dieser Arbeit genügend IT drin, am als Arbeit der Informatik akzeptiert zu werden?
* Begriff: Experimenteller Feldversuch oder Experiment oder …?
* Begriff: Experimentiersystem oder Experimentalsystem?

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

[1] Alexandra Martin, Winfried Rief: *Wie wirksam ist Biofeedback – Eine therapeutische Methode,* Huber Verlag

[2] Doris Eller-Berndl: *Herzratenvariabilität*, Verlagshaus der Ärzte, 2. Auflage

[3] ~~Andrew C. Butler, Jeffrey D. Karpicke, and Henry L. Roediger III.~~ *~~The Effect of Type and Timing of Feedback on Learning From Multiple-Choice Tests~~*~~; Journal of Experimental Psychology, American Psychological Association 2007, Vol. 13, No. 4, 273–281;~~

[4] F. Abtahi, A. Berndtsson, S. Abtahi, F. Seoane, K. Lindecrantz: *Development and Preliminary Evaluation of an Android Based Heart Rate Variability Biofeedback System*, IEEE 2014

[5] ~~Wanqing Wu, Heye Zhang, Sandeep Pirbhulal, Subhas Chandra Mukhopadhyay,~~

~~and Yuan-Ting Zhang:~~ *~~Assessment of Biofeedback Training for Emotion~~*

*~~Management Through Wearable Textile Physiological Monitoring System~~*~~, IEEE SENSORS JOURNAL, december 2015~~

[6] James A. Kulik and Chen-Lin C. Kulik: *Timing of Feedback and Verbal Learning* Review of Educational Research Vol. 58, No. 1 (Spring, 1988), pp. 79-97

[7] Andrew C. Butler, Jeffrey D. Karpicke, and Henry L. Roediger III: *The Effect of Type and Timing of Feedback on Learning From Multiple-Choice Tests*, Journal of Experimental Psychology: Applied, 2007, Vol. 13, No. 4, 273–281

[8] Narciss, Susanne (2006): *Informatives tutorielles Feedback*, Münster: Waxmann.

[9] <http://www.dgbfb.de/index.php/de/> (28.5.2016)

Deutsche Gesellschaft für Biofeedback

[10] Verbreitung der gängigsten Betriebssysteme auf Smartphones: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/182363/umfrage/prognostizierte-marktanteile-bei-smartphone-betriebssystemen/> (30.5.2016)

[11] Wanqing Wu, Yeongjoon GIL, Jungtae Lee: *A Prototype of Wireless Electrocardiogram Biofeedback Platform and Ist Preliminary Evaluation on HRV Alteration in Cognitive Unconscious Status*, First IEEE International Conference on Healthcare Informatics, 2011

[???] <http://www.hrv24.de/HRV-Geraete/Polar-S800-S810i-RS800-RS800CX.htm> (3.6.2016)

Anhang

Selbständigkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich diese Thesis selbständig verfasst und keine andern als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche kenntlich gemacht. Ich versichere zudem, dass ich bisher noch keine wissenschaftliche Arbeit mit gleichem oder ähnlichem Inhalt an der Fernfachhochschule Schweiz oder an einer anderen Hochschule eingereicht habe. Mir ist bekannt, dass andernfalls die Fernfachhochschule Schweiz zum Entzug des aufgrund dieser Thesis verliehenen Titels berechtigt ist.“

Ort, Datum, Unterschrift