

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

School of Management and Law

## **Masterarbeit**

# Die HRV-Analyse als Präventionsinstrument gegen Stress der Mitarbeitenden im Unternehmen

### **Erstgutachter**

Prof. Dr. Thomas Keller

### **Zweitgutachter**

Dr. Nico Ebert

### **Autor**

Giovanni Annunzio

[annungio@students.zhaw.ch](mailto:annungio@students.zhaw.ch)

#S05536701



Winterthur, 26. Mai 2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Problemstellung und Anwendungsfeld .....</b>	<b>7</b>
2.1	Ausgangslage .....	7
2.2	Problemstellung .....	8
2.3	Ziele und Ergebnisse.....	10
2.3.1	Übergeordnetes Ziel .....	10
2.3.2	Forschungsfrage .....	10
2.3.3	Definition und Abgrenzung .....	10
2.3.4	Weitere Fragen .....	12
<b>3</b>	<b>Forschungsdesign.....</b>	<b>13</b>
3.1	Wissenschaftstheoretische Position .....	14
3.2	Rahmen der Erkenntnisgewinnung .....	15
3.2.1	Forschungsziele .....	15
3.2.2	Forschungsmethoden .....	15
3.2.3	Methodenwahl .....	17
<b>4</b>	<b>Aufbau der Arbeit.....</b>	<b>18</b>
4.1	Vorgehensweise .....	19
<b>5</b>	<b>Herzfrequenzvariabilität (State-of-the-Art) .....</b>	<b>20</b>
5.1	Vorgehensweise bei der Analyse der HRV .....	21
5.2	Datenaufzeichnung .....	21
5.3	Datenaufbereitung.....	23
5.3.1	Fazit der Datenaufbereitung .....	30
5.4	Datenauswertung .....	31
5.4.1	Datenvalidierung .....	31
5.4.2	Methoden der HRV .....	31
5.5	Dateninterpretation .....	34
5.5.1	Normwerte Task Force .....	35
5.5.2	Interpretation der HRV-Parameter .....	36
5.6	Zusammenfassung HRV (State-of-the-Art).....	40
<b>6</b>	<b>Stress (State-of-the-Art) .....</b>	<b>41</b>
6.1	Definition Stress .....	41
6.2	Chronische Stressbelastung .....	43
6.3	Burn-out.....	43
6.4	Wesentliche Faktoren .....	46
<b>7</b>	<b>Analyse.....</b>	<b>47</b>
7.1	Anforderungsquellen Kennzahlensystem .....	47
7.2	Festlegung der Durchführungsparameter.....	48
7.2.1	Umsetzung der Datenaufzeichnung.....	49
7.2.2	Umsetzung der Datenaufbereitung .....	50
7.2.3	Umsetzung der Datenauswertung.....	51

7.2.4	Umsetzung der Dateninterpretation.....	52
7.2.5	Zusammenfassung der Durchführungsparameter .....	53
7.3	Durchführung der Datenerhebung .....	54
7.3.1	Resultate der Erhebung.....	56
<b>8</b>	<b>Entwurf.....</b>	<b>59</b>
8.1	Allgemeine Anforderungen .....	59
8.2	Einfaches Kennzahlensystem .....	61
8.2.1	Modell des einfachen Kennzahlensystems .....	62
8.2.2	Anwendung der erhobenen Testdaten auf das Modell .....	64
8.2.3	Diskussion .....	68
8.3	Zusammengesetztes Kennzahlensystem .....	69
8.3.1	Modell des zusammengesetzten Kennzahlensystems.....	72
8.3.2	Anwendung der erhobenen Testdaten auf das Modell .....	72
<b>9</b>	<b>Validierung.....</b>	<b>75</b>
9.1	Design Science.....	75
9.2	Herzfrequenzvariabilität .....	77
9.3	Forschungsfrage.....	77
9.3.1	Weitere Fragen .....	78
9.4	Evaluation der Kennzahlensysteme .....	79
<b>10</b>	<b>Schlusswort.....</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>82</b>
<b>12</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>83</b>
12.1	Abbildungsverzeichnis.....	83
12.2	Tabellenverzeichnis .....	85
12.3	Literaturverzeichnis .....	86
<b>13</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>91</b>
13.1	Ausgeschiedene Kennzahlensysteme .....	91
13.1.1	Variabilitäts-Index .....	91
13.1.2	Trendbestimmung pro Tag .....	92
13.2	Bedienungsanleitung.....	94
13.2.1	Ordnerstruktur .....	94
13.2.2	Installation .....	95
13.2.3	Bedienung.....	95

## Wahrheitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe und dass ich ohne schriftliche Zustimmung der Studiengangleitung keine Kopien dieser Arbeit an Dritte aushändigen werde.“

Gleichzeitig werden sämtliche Rechte am Werk an die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) abgetreten. Das Recht auf Nennung der Urheberschaft bleibt davon unberührt.

Ort, Datum: Hüttwilen, 26.05.2017

Unterschrift: 

Annunzio, Giovanni

## Management Summary

Krankheitsbedingte Ausfälle aufgrund psychischer Erkrankungen sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Ziel dieser Arbeit ist es, ein Kennzahlensystem zu entwickeln, mit welchem die chronische Stressbelastung der Mitarbeitenden in einem Unternehmen beschrieben werden kann. Ausgehend vom State-of-the-Art der Herzfrequenzvariabilität (HRV) und der Stressmedizin wurde deduktiv auf mögliche Kennzahlensysteme geschlossen, welche im Anschluss bewertet wurden. Es konnte ein einfaches und zusammengesetztes Kennzahlensystem entwickelt werden, mit dessen Hilfe es möglich ist, die Tendenz der Anpassungsfähigkeit (Gesundheitszustand und Wohlbefinden) auf äussere und innere Einflüsse der Mitarbeitenden zu bestimmen. Dadurch kann auf die Tendenz für eine chronische Stressbelastung der Mitarbeitenden geschlossen werden. Die Kennzahlensysteme sind in der Lage, ohne Eingabe des Trägers zu einem validen Endergebnis zu kommen. Sie geben Auskunft darüber wie viele Mitarbeitende in der untersuchten Messperiode die entsprechende Tendenz aufweisen. Mithilfe der Kennzahlensysteme können Unternehmen geeignete Massnahmen einleiten, um ihre Mitarbeitenden vor schweren Krankheiten zu schützen.

# 1 Einleitung

Die Grundlagen für die vorliegende Masterarbeit entstanden aus der Projektarbeit: „Zeitreihen – nicht nur in der Energiewirtschaft“ (Annunzio et al., 2016) aus dem Modul aF+E Projekte aus dem Masterstudiengang für Wirtschaftsinformatik an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW).

Die Projektarbeit: „Zeitreihen – nicht nur in der Energiewirtschaft“ (Annunzio et al., 2016) hatte das Ziel, Potenziale in Zeitreihen zu entdecken. Die Arbeit hat die Zeitreihen aus vier Perspektiven (Mathematik, Visualisierung, Branchen und Tools) untersucht:

1. Definition (Mathematik): Was macht eine Zeitreihe aus?
2. Visualisierung: Wie werden Zeitreihen visualisiert?
3. Branchen: In welchen Branchen kommen Zeitreihen zum Einsatz?
4. Tools: Mit welchen Tools können Zeitreihen analysiert und abgespeichert werden?

Im Rahmen der Projektarbeit wurde die Idee geboren, die chronische (dauerhafte) Stressbelastung von Mitarbeitenden in Unternehmen zu erfassen und als Kennzahlensystem zu visualisieren. Damit soll erreicht werden, dass der arbeitsbedingte Stress der Angestellten reduziert werden kann, indem den Unternehmen ein Instrument zur Visualisierung der chronischen Stressbelastung seiner Mitarbeitenden zur Verfügung gestellt wird. Anhand dieses Hilfsmittels kann das Unternehmen Einfluss auf den arbeitsbedingten Stress der Mitarbeitenden nehmen, indem es geeignete Massnahmen ergreift, z.B. die Anweisung für Mehrarbeit für Produktionsmitarbeitende widerruft.

Hinweis: Die Arbeit ist aus Sicht eines Wirtschaftsinformatikers geschrieben. Die beschriebenen Anforderungen werden nach Vorgabe von Pohl (2008: 14 f) kategorisiert:

- Funktionale Anforderungen
- Qualitätsanforderungen
- Rahmenbedingungen

## 2 Problemstellung und Anwendungsfeld

Dieses Kapitel stellt den Bezug zu den vorangegangenen Arbeiten her, beschreibt die Ausgangslage und die zu untersuchende Problemstellung der Masterarbeit.

### 2.1 Ausgangslage

In der Projektarbeit (Annunzio et al., 2016) wurden verschiedene Potenziale im Zusammenhang mit Zeitreihen untersucht. Eines der Potenziale war die Messung der Herzfrequenzvariabilität zur Bestimmung und Visualisierung der chronischen Stressbelastung von Mitarbeitenden in Unternehmen. Die entwickelte Idee weist eine hohe Praxisrelevanz aus, da Stress am Arbeitsplatz allgegenwärtig ist.

Die vom DAK (2016) publizierten Zahlen belegen, dass die krankheitsbedingten Ausfälle aufgrund psychischer Erkrankungen in den letzten Jahren stark angestiegen sind. Die Studie hat gezeigt, dass die Ausfälle im Zeitraum zwischen 1997 und 2015 um mehr als 200% zugenommen haben.

Berger et al. (2012: 1366) illustrieren in Abbildung 1, wie andauernde psychische Belastungen am Arbeitsplatz negativen Einfluss auf die psychische Gesundheit der Mitarbeiter nehmen können.

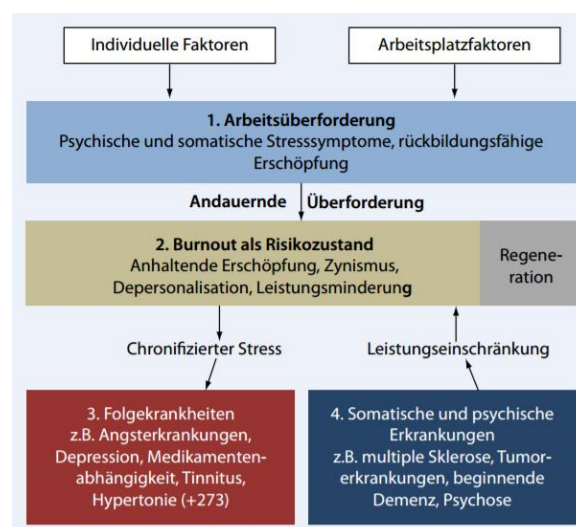


Abbildung 1: Klassifikation von Arbeitsüberforderung, Burn-out und Krankheit (Berger et al., 2012: 1366)

Da eine flächendeckende Überwachung der negativen Einflussfaktoren auf das Stressniveau schwierig umzusetzen ist, wurde entschieden, das Stressniveau direkt zu erheben. Damit können die Unternehmen frühzeitig Massnahmen ergreifen, um ihre Mitarbeitenden besser vor stressbedingten psychischen Erkrankungen zu schützen.

## 2.2 Problemstellung

Damit eine Aussage über die chronische Stressbelastung von Mitarbeitenden gemacht werden kann, muss diese mit einer geeigneten Messmethode ermittelt werden. Nach Mockenhaupt (2009: 354) kann die chronische Stressbelastung anhand verschiedener Methoden (Selbstauskünfte, Beobachtungen, Tests oder Messungen) erhoben werden.

### **Methode (Messung)**

Für die vorliegende Arbeit wurde entschieden, die chronische Stressbelastung von Mitarbeitenden anhand von Messungen zu erheben. Die Methode der Messung kann in einem Unternehmen einfach umgesetzt werden. Die Mitarbeitenden werden mit einem Messgerät ausgestattet und nach einer vordefinierten Messdauer werden die Geräte zurückgegeben und die Daten können ausgewertet werden.

### **Messparameter (Herzfrequenzvariabilität)**

Da Stress nicht direkt gemessen werden kann, muss er über sogenannte Surrogatparameter (Ersatzparameter) bestimmt werden (Haurand et al., 2015: 145). Stress beeinflusst über das vegetative Nervensystem verschiedene physiologische Parameter, wie zum Beispiel die Herzfrequenz oder den Blutdruck (Haurand et al., 2015: 145). Diese Änderungen werden mittels freigesetzten körpereigenen Hormonen, wie zum Beispiel das Cortisol, vermittelt (Haurand et al., 2015: 145). Damit die Werte der körpereigenen Hormone gemessen werden könnten, müsste den Mitarbeitenden Speichelproben entnommen werden, die dann ausgewertet würden. Der Autor stellt die Praktikabilität dieser Vorgehensweise für eine grössere Personengruppe in Frage. Die Proben müssten in verschiedenen zeitlichen Intervallen entnommen werden, um den zeitlichen Verlauf der Stresswerte aufzeigen zu können. Aus diesem Grund wurde entschieden, die Herzfrequenzvariabilität (HRV) als physiologischen Parameter zu erheben, um daraus Rückschlüsse auf den Stress ziehen zu können. Die HRV kann mit einem nicht-invasivem Verfahren erhoben werden. Dazu müssen die Mitarbeitenden mit einem Messgerät ausgestattet werden, das ein Elektrokardiogramm (EKG) aufzeichnen kann.



## **Forschungslücke**

Die Literatur beschreibt heute vor allem Verfahren, in denen die HRV für einzelne Probanden über Kurzzeit- (wenige Minuten) oder Langzeitmessung (24 Stunden) ausgewertet wird. Kennzahlensysteme für Unternehmen zur Darstellung der chronischen Stressbelastung von ganzen Personengruppen scheinen nicht zu existieren.

## **Ethik**

Die HRV-Analyse ist ein sehr mächtiges Instrument. Bei präziser Erhebung des EKGs kann es verschiedene Krankheiten diagnostizieren. Um die Mitarbeitenden zu schützen, wurde entschieden, dass das Kennzahlensystem keine Rückschlüsse auf einzelne Individuen zulassen darf, sondern nur eine Aussage über das Stressniveau des Unternehmens im Allgemeinen liefern soll. Bei einer allfälligen Implementierung des Kennzahlensystem-Modells im Unternehmen muss der Datenschutz der Mitarbeitenden durch das Unternehmen gewährleistet werden.

## 2.3 Ziele und Ergebnisse

Diese Unterkapitel beschreiben die Ziele dieser Arbeit und die erwarteten Ergebnisse.

### 2.3.1 Übergeordnetes Ziel

Die Forschungsfrage hat das Ziel, ein Artefakt in Form eines Kennzahlensystem-Modells zu entwickeln, um die allgemeine chronische Stressbelastung der Mitarbeitenden im Unternehmen beschreiben zu können.

### 2.3.2 Forschungsfrage

In der Literatur finden sich viele Studien zum Thema HRV. Die Studien setzen für die Erhebung der akuten Stressbelastung Kurzzeit- (wenige Minuten) oder für die chronische Stressbelastung Langzeitmessungen (24 Stunden) ein und fokussieren jeweils auf eine einzelne Person. Der aktuelle Forschungsstand kennt kein Kennzahlensystem, mit dem die chronische Stressbelastung (Stressniveau) von Personengruppen in Unternehmen beschrieben werden kann.

Die Arbeit will sich deshalb dieser Forschungslücke annehmen und anhand der folgenden Forschungsfrage (FF0) ein geeignetes Kennzahlensystem entwerfen:

**FF0:** „Wie muss ein Kennzahlensystem aus Unternehmenssicht definiert sein, um die chronische Stressbelastung in einem Unternehmen zuverlässig beschreiben zu können?“

### 2.3.3 Definition und Abgrenzung

Die Bestandteile der Forschungsfrage (FF0) werden in diesem Abschnitt präziser erläutert.

#### **Kennzahlensystem**

Das Kennzahlensystem-Modell ist das zu entwickelnde Artefakt der Masterarbeit. Die Masterarbeit beschränkt die erlaubten Eingangsparameter für das Kennzahlensystem-Modell auf die existierenden und validierten Parameter aus der HRV-Analyse. Die Arbeit untersucht, welche Parameter-Kombinationen aus der HRV-Analyse zu einer übergeordneten Kennzahl zu verknüpfen sind, um die chronische Stressbelastung eines Unternehmens aufzeigen zu können.

## **Unternehmenssicht**

Das Kennzahlensystem-Modell muss aus Sicht des Unternehmens entwickelt werden, dabei stehen der Nutzen für das Unternehmen und die Praktikabilität der Gesamtlösung im Vordergrund. Die geforderte Unternehmenssicht ist eine Rahmenbedingung mit der die Forschungsfrage beantwortet werden soll. Die Arbeit konzentriert sich auf die Entwicklung des Kennzahlensystem-Modells. Die Umssysteme, die für den Betrieb der Lösung notwendig sind, werden in der Arbeit nicht evaluiert, jedoch werden Anforderungen an diese Systeme gestellt, die von den Unternehmen später eingehalten werden müssen, um eine valide Aussage des Kennzahlensystems erhalten zu können.

## **Chronische Stressbelastung**

Die funktionale Anforderung an das Kennzahlensystem ist die Anzeige der chronischen Stressbelastung (Stressniveau) in einem Unternehmen. Das allgemeine Stressniveau ist eine Kenngrösse für die allgemeine chronische Stressbelastung der Angestellten. Die Kenngrösse kann qualitativer oder quantitativer Natur sein. Die Kenngrösse wird mit dem zu entwickelnden Kennzahlensystem aus verschiedenen Parametern der HRV-Analyse berechnet.

## **Zuverlässig**

Der Zusatz „zuverlässig“ in der Forschungsfrage ist doppeldeutig. Einerseits beschreibt es eine Qualitätsanforderung, andererseits eine Rahmenbedingung des Kennzahlensystems. Die Qualitätsanforderung gibt vor, dass das Kennzahlensystem bei gleichen Eingangswerten immer dieselben Ausgangswerte liefern muss (Reproduzierbarkeit der Ergebnisse).

Die Rahmenbedingung schreibt vor, dass die Subjektivität der gemessenen Personen bei der Auswahl der Eingangsparameter im Kennzahlensystem nicht berücksichtigt werden darf. Es dürfen keine Eingangsparameter benutzt werden, die vom Probanden eine Selbsteinschätzung der chronischen Stressbelastung erfordern. Da die Wahrnehmung von Stress subjektiv ist, kann der Proband keine zuverlässigen Angaben dazu machen. Es ist anzunehmen, dass es Probanden gibt, die eine bereits gefährliche chronische Stressbelastung missachten und sich selbst als nicht gestresst einstufen würden, obwohl sich ihre Stresswerte schon über einen längeren Zeitraum in einem gefährlichen Bereich bewegen, z.B. Richtung Burnout. Diese Anforderung grenzt sich klar von Systemen ab, die eine Rückmeldung vom Probanden benötigen, um das System zu kalibrieren, z.B. wie vom Projekt SmartCoping von Reimer et al. (2017).

### 2.3.4 Weitere Fragen

Dieser Abschnitt beschreibt weitere Fragen, welche in der Masterarbeit im Kapitel Ausblick erläutert werden sollen:

**WF0:** „Wie könnte eine Lösung in der Zukunft aussehen?“

Mit Lösung ist gemeint, welche Messgeräte in Zukunft den Mitarbeitenden für die einfache Messung ihrer chronischen Stressbelastung zur Verfügung stehen könnten (z.B. Fitnesstracker).

**WF1:** „Mit welchen Messverfahren kann die Herzfrequenzvariabilität, neben dem bereits eingesetzten EKG, analysiert werden?“

Erstellung einer Auflistung anderer Messverfahren, welche sich für die Herzfrequenzvariabilitäts-Analyse eignen, z.B. Photoplethysmographie (PPG). Mit diesem Verfahren werden die an der Hautoberfläche verlaufenden Venen mit Infrarotlicht durchleuchtet. Mit einer Photodiode wird die Reflexion des Infrarotlichts gemessen: umso mehr Blut sich gerade in der Vene befindet, desto mehr Licht wird absorbiert. Das Messsignal gleicht daher einer Welle (pro Herzschlag). Die Welle dient als Basis der Berechnung, dabei wird der höchste Punkt ermittelt und die Differenzen zwischen den Wellen ergeben die Zeiten zwischen zwei Herzschlägen. Analog zur HRV entsteht eine Zeitreihe mit den Zeiten zwischen den Herzschlägen.

### 3 Forschungsdesign

Die vorliegende Arbeit orientiert sich bei der Entwicklung des Forschungsdesigns am Vorgehensmodell von Braun & Esswein (2006). Braun & Esswein (2006: 143) mahnen, dass die Explikation von Forschungsdesigns kaum praktiziert wird und es dadurch zu Problemen hinsichtlich der Zielstellung, der Nachvollziehbarkeit und Gültigkeit von Forschungsergebnissen kommen kann. In der vorliegenden Arbeit wird das Vorgehensmodell von Braun & Esswein (2006: 163) angewendet, um die oben genannten Probleme zu verhindern.

Das Vorgehensmodell von Braun & Esswein (2006: 163) wird anhand der zwei zentralen Themenblöcke „Wissenschaftstheoretische Position“ und „Rahmen der Erkenntnisgewinnung“ vorgegeben (siehe: Abbildung 2).

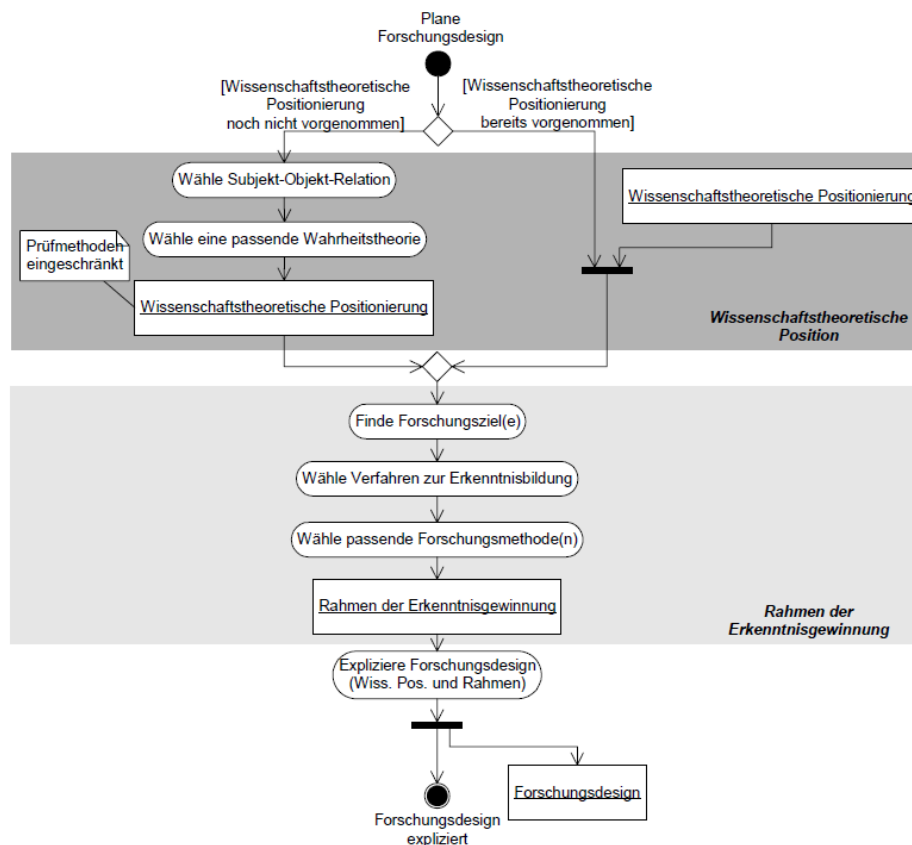


Abbildung 2: Vorgehensmodell zur Konzeption von Forschungsdesigns (Braun & Esswein, 2006: 163)

Die Abbildung 2 veranschaulicht das Vorgehen von Braun & Esswein (2006: 163) anhand eines Aktivitätsdiagramms.

Im ersten Themenblock wird die wissenschaftstheoretische Position definiert. Dazu gehört das Festlegen der Subjekt-Objekt-Relation und die Wahl einer Wahrheitstheorie (Braun & Esswein, 2006: 163). Die beiden Autoren merken zusätzlich an, dass in der täglichen Forschungspraxis

die wissenschaftstheoretische Position nicht so häufig gewechselt wird und deshalb eine Definition bereits vorliegen kann (Braun & Esswein, 2006: 163).

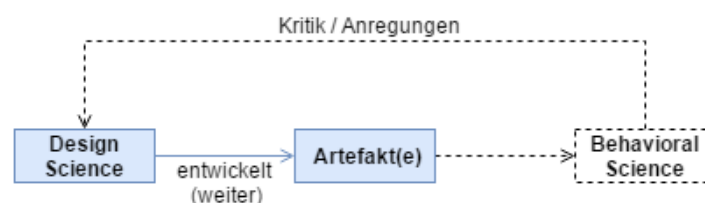
Im zweiten Themenblock werden das Forschungsziel, die Verfahren zur Erkenntnisbildung und die passenden Forschungsmethoden für das Forschungsdesign beschrieben (Braun & Esswein, 2006: 163).

### 3.1 Wissenschaftstheoretische Position

Die Wirtschaftsinformatik (WI) kennt zwei unterschiedliche erkenntnistheoretische Paradigmen (Wilde & Hess, 2006: 3)

- Das konstruktivistische Paradigma (Design Science), welches nach dem Erkenntnisgewinn durch Schaffen und Evaluieren von IT-Lösungen in Form von Modellen, Methoden oder Systemen strebt (Wilde & Hess, 2006: 3).
- Das behavioristische oder verhaltenswissenschaftliche Paradigma (Behavioral Science), welches das Verhalten und Auswirkungen von existierenden Informationssystem auf Organisationen analysiert (Wilde & Hess, 2006: 3).

Die beiden obengenannten Paradigmen der WI stehen sich nicht als Konkurrenzdisziplinen gegenüber, sondern ergänzen sich gegenseitig (Mertens, 2015) wie in Abbildung 3 angedeutet wird.



**Abbildung 3: Zusammenwirken des konstruktivistischen und behavioristischen Ansatzes in der WI in Anlehnung an Mertens (2015) und Hevner (2004: 75 ff)**

Mertens (2015) führt aus, dass die konstruktionsorientierte WI das Anwendungssystem entwickelt, welches von der empirisch orientierten WI bewertet wird. Die Erkenntnisse fließen dabei wieder zurück in die konstruktionsorientierte WI, um die Anwendungssysteme zu verbessern (Mertens, 2015). Im Gegensatz dazu verwendet Hevner (2004: 75 ff) die Bezeichnung Artefakt, an Stelle von Anwendungssystem. Deshalb wurde entschieden, den Ansatz von Mertens (2015) in Abbildung 3 auch auf Artefakte anzuwenden.

Die Masterarbeit konzentriert sich auf die Konstruktion eines Artefaktes in Form eines Kennzahlensystems (siehe: Abbildung 3 in blau hervorgehoben).

Durch die Vertretung des Standpunkts der wissenschaftstheoretischen Position der gestaltungsorientierten WI, implizieren sich nachfolgende Rahmenbedingungen. Österle et al. (2010: 5) beschreiben die Rahmenbedingungen, welche in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik befolgt werden müssen:

- „Abstraktion: Ein Artefakt muss auf eine Klasse von Problemen anwendbar sein“ (Österle et al., 2010: 5).
- „Originalität: Ein Artefakt muss einen innovativen Beitrag zum publizierten Wissensstand leisten“ (Österle et al., 2010: 5).
- „Begründung: Ein Artefakt muss nachvollziehbar begründet werden und validierbar sein“ (Österle et al., 2010: 5).
- „Nutzen: Ein Artefakt muss heute oder in Zukunft einen Nutzen für die Anspruchsgruppen erzeugen können“ (Österle et al., 2010: 5).

Die oben genannten Rahmenbedingungen wurden von Hevner et al. (2004: 83) in einem Kriterienkatalog detailliert zusammengetragen. Bei der Prüfung (Validierung) in Kapitel 9 wird die Einhaltung der Kriterien überprüft.

## **3.2 Rahmen der Erkenntnisgewinnung**

### **3.2.1 Forschungsziele**

Die Masterarbeit befasst sich mit der Konstruktion von zwei Artefakten: Das Kennzahlensystem-Modell und dessen teilautomatisierte Implementierung, wobei die teilautomatisierte Implementierung nur dazu dient, die Logik des Kennzahlensystems zu testen. Das konstruierte Kennzahlensystem-Modell wird keiner fundierten, empirischen Beurteilung unterzogen. Es wird durch Anwendung der erhobenen Daten einzig eine Validierung bzw. Überprüfung des Kennzahlensystem-Modells durchgeführt. Die Validierung hat das Ziel, die Implementierung und die Logik des Kennzahlensystems auf ihre semantische Richtigkeit zu prüfen.

### **3.2.2 Forschungsmethoden**

Becker et al. (2003: 5) beschreiben, dass im Mittelpunkt des Forschungsdesigns die Forschungsmethoden ständen. Die Forschungsmethoden resultieren aus der ausgewählten Grundposition und den Forschungszielen (siehe: Abbildung 4).

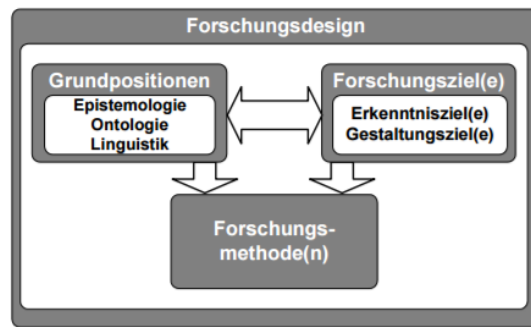


Abbildung 4: Abhängigkeiten im Forschungsdesign (Becker et al., 2003: 5)

Aufgrund der in der Arbeit gewählten Grundpositionen und Forschungszielen, stützt sich die Arbeit auf die Forschungsmethoden der WI von Wilde und Hess (2006). Die beiden Autoren haben in einer Matrix-Darstellung (siehe: Abbildung 5) die Forschungsmethoden aus der Wirtschaftsinformatik aufgelistet.

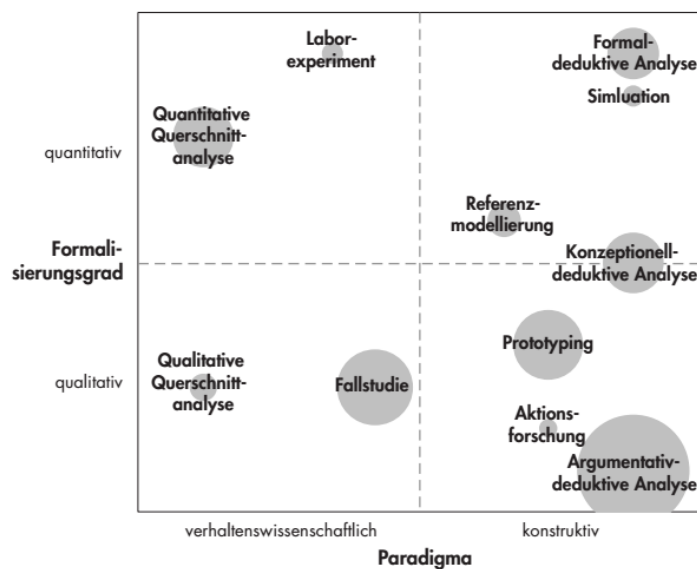


Abbildung 5: Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik (Wilde & Hess, 2006: 284)

Anzumerken gilt es, dass die Wirtschaftsinformatik ein interdisziplinäres Fach ist, welches sich aus Elementen der Informatik, Betriebswirtschaftslehre, Technik (Ingenieurwissenschaften) und Verhaltenswissenschaften (Mertens, 2015) zusammensetzt. Durch die Interdisziplinarität besitzt die WI eine methodenpluralistische Erkenntnisstrategie, die sich Instrumenten aus Real-, Formal-, und Ingenieurwissenschaften bedient (Wilde & Hess, 2006: 1).



### **3.2.3 Methodenwahl**

Die Arbeit bedient sich der in Abbildung 5 aufgeführten Methoden von Wilde und Hess (2006: 284 ff).

Für die Konstruktion des Artefakts (Kennzahlensystem-Modell) wird auf die Methode der formal-deduktiven Analyse zurückgegriffen. Die Anwendung der formal-deduktiven Analyse ist üblich bei mathematischen Problemen.

## 4 Aufbau der Arbeit

In diesem Kapitel wird der Aufbau der Arbeit beschrieben. Die Masterarbeit wurde als UML-Klassendiagramm in Abbildung 6 modelliert.

Die Forschungsgemeinde verfasst die Literatur für ihr jeweiliges Untersuchungsgebiet. Des Weiteren definiert und entwickelt sie die eingesetzten methodischen Ansätze (Methodologie), um die Rigorosität in ihrem Forschungsgebiet zu gewährleisten. In der Arbeit wurde die Design Science-Methodologie aus den konstruktionsorientierten Wissenschaften gewählt, da die Arbeit die Entwicklung von zwei Artefakten zum Ziel hat. Für die Design Science-Methodologie haben Hevner et al. (2004: 83) sieben Richtlinien entwickelt, welche es zu beachten gilt. Die verwendete Literatur entstand aus den Forschungsgebieten der HRV und der Stressmedizin. Die Literatur gibt die Methoden vor, welche bei der Entwicklung des Kennzahlensystem-Modells zwingend eingehalten werden müssen. Die Software implementiert die Logik des Kennzahlensystems.

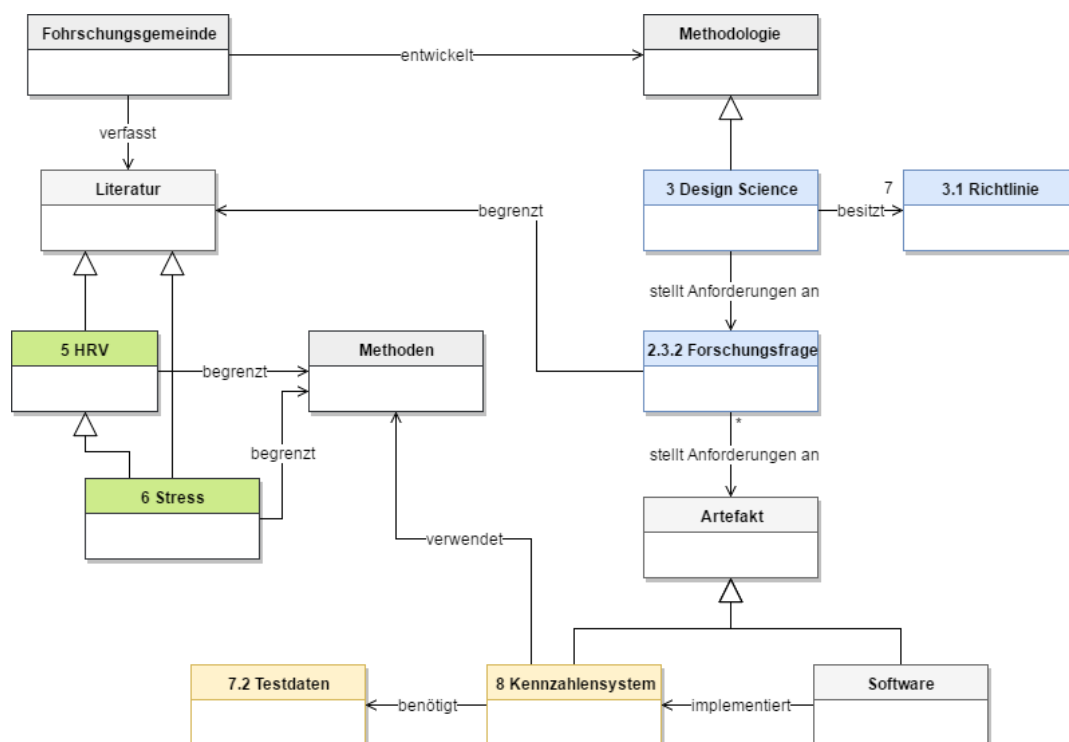


Abbildung 6: UML Diagramm der Master Thesis

Das Kennzahlensystem wird anhand der erhobenen Testdaten überprüft, dabei wird eine exemplarische Trendbestimmung durchgeführt.

Hinweis: Die Nummern vor dem Klassennamen in Abbildung 6 geben an, in welchem Kapitel das Thema behandelt wurde.

## 4.1 Vorgehensweise

Die Arbeit ist nach dem idealtypischen Prozess der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik aufgebaut (Becker, 2010: 13 ff):

- Analyse, **Kapitel 7**: Das Kapitel Analyse setzt sich mit den Anforderungsquellen der Arbeit auseinander und geht im Detail auf die Durchführungsparameter (Datenaufzeichnung, Datenaufbereitung, Datenauswertung & Dateninterpretation) und die Parameter zur Stressbestimmung ein. Am Ende wird die exemplarische Datenerhebung mit den Probanden beschrieben. Die erhobenen Daten werden im Schritt der Validierung am entwickelten Kennzahlensystem getestet.
- Entwurf, **Kapitel 8**: Das Kapitel Entwurf beschreibt die zwei entwickelten Kennzahlensysteme und die darauffolgende exemplarische Anwendung der Testdaten.
- Validierung (Evaluation), **Kapitel 9**: Wie in Kapitel 3.2.1 definiert wurde, findet keine fundierte Evaluation des Kennzahlensystems statt. Das Kennzahlensystem wird anhand der erhobenen Daten überprüft (validiert).
- (Diffusion): Die Diffusion der Ergebnisse ist angedacht, jedoch noch nicht geplant, weshalb nicht näher darauf eingegangen wird.

## 5 Herzfrequenzvariabilität (State-of-the-Art)

Die Herzfrequenz ist einer physiologischen (=natürlichen) Variabilität unterworfen und spiegelt das Zusammenspiel zwischen Sympathikus und Parasympathikus (Vagus) wieder (Sammito et al., 2014: 6). Der Sympathikus ist der Bereich im Gehirn, der für die Anspannung verantwortlich ist und der Parasympathikus ist für die Entspannung verantwortlich. (Braunmiller & Westenfelder, 2015). Beide Bereiche wirken unterschiedlich auf die menschlichen Organe ein, der Sympathikus kurbelt sie an und der Parasympathikus beruhigt sie wieder (Braunmiller & Westenfelder, 2015). Die Aktivitäten der beiden können anhand der Herzfrequenzvariabilität (HRV) erkannt werden. Bei einer sympathischen Aktivität werden die Abstände zwischen zwei Herzschlägen immer gleicher und bei einer parasympathischen Aktivität variiert die Zeit zwischen zwei Herzschlägen deutlich (Braunmiller & Westenfelder, 2015). Vereinfacht gesagt: „Klopft das Herz monoton, ist der Mensch unter Anspannung, schlägt es variationsreicher, ist er entspannter“ (Braunmiller & Westenfelder, 2015). Bei der Analyse der Herzfrequenzvariabilität (Englisch: Heart Rate Variability) handelt es sich um ein nichtinvasives Verfahren (Sammito & Böckelmann, 2015: 76). Die HRV-Analyse dient dazu, das Zusammenspiel zwischen Sympathikus und Parasympathikus abschätzen zu können (Sammito et al., 2014: 6). Der primäre Taktgeber bzw. das Erregungsbildungszentrum des Herzens bildet der Sinusknoten (Sammito et al., 2014: 6). Die Herzschlagfrequenz wird durch die Aktivität des Sympathikus und Parasympathikus über den Sinusknoten (Schrittmacherzentrum des Herzens) gesteuert (Sammito et al., 2014: 6). Die HRV drückt die Schwankungen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschlägen aus (Friedrichs et al., 2009: e3). Das vegetative Nervensystem reduziert mittels dem sympathischen Anteil die HRV und steigert sie mit dem parasympathischen Anteil (Sammito et al., 2014: 6). Bei der Interpretation der HRV muss berücksichtigt werden, dass die HRV ein Summenparameter vieler Einflussfaktoren ist, wie z.B. körperlicher Belastung, Hitze und weiterer Umweltbedingungen (Pfister et al., 2007: 158).

Die Grundlage der HRV-Analyse bildet dabei das Elektrokardiogramm (EKG), welches das Erregungsbild des Herzens beinhaltet. Um die Funktion des autonomen Nervensystems (ANS) mit Hilfe der HRV beurteilen zu können, wird vorausgesetzt, dass die für die Berechnung zugrunde liegenden RR-Intervalle (=Abstand zwischen zwei Herzschlägen) aus artefaktfreien QRS-Komplexen eines Sinusrhythmus (=normale Herzschläge) entstammen (Hoos et al., 2006: 188). Die Erfassung des EKG-Signals kann sich von einem kürzeren (wenige Minuten) über den mittleren (bis zu 2h) bis zu einem sehr langem Zeitraum (24h) erstrecken (Sammito & Böckelmann, 2015: 76). Je nach Fragestellung ist eine andere Aufzeichnungsdauer vorzuziehen (Sammito & Böckelmann, 2015: 76).

## 5.1 Vorgehensweise bei der Analyse der HRV

Die Vorgehensweise folgt den Vorgaben der “Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology” (kurz: Task Force) vertreten durch Malik et al. (1996).

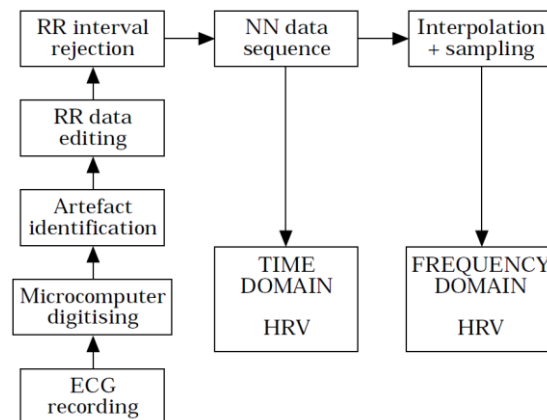


Abbildung 7: Prozessschritte bei der HRV-Analyse (Malik et al., 1996: 365)

Die Autoren Malik et al. (1996: 365) beschreiben in ihrem Grundlagenwerk die nötigen Prozessschritte für die Berechnung der HRV-Parameter (siehe: Abbildung 7) und geben Empfehlungen ab für die Praxis.

Die Verfahrensweise von Malik et al. (1996: 365) kann grob in vier Schritte unterteilt werden:

1. Datenaufzeichnung: Das EKG-Signal wird aufgezeichnet.
2. Datenaufbereitung: Detektion der R-Zacken, Artefakt-Detektion und Artefakt-Bereinigung.
3. Datenauswertung: HRV-Parameter werden berechnet.
4. Dateninterpretation: Die HRV-Parameter müssen interpretiert werden.

In den nachfolgenden Kapiteln wird für jeden Prozessschritt der Stand der Technik erläutert und falls notwendig kritisch diskutiert.

## 5.2 Datenaufzeichnung

Im ersten Schritt wird das EKG-Signal aufgezeichnet. Die Aufzeichnung geschieht mit einem Aufzeichnungsgerät. Die Autoren Wittling & Wittling (2012: 154) weisen darauf hin, dass die Wahl des Aufzeichnungsgeräts einen starken Einfluss auf die Datenqualität und die daraus berechneten HRV-Parameter hat.

Jeder Herzschlag wird durch eine elektrische Erregung des Herzmuskels ausgelöst. Die elektrischen Potenzialänderungen werden mit einem Aufzeichnungsgerät erfasst. Dies geschieht, indem die Messsensoren an definierten Punkten am Körper positioniert werden. Es existiert eine Vielzahl an Positionierungsmöglichkeiten, weshalb für die gewünschte Untersuchung eine dafür optimale Positionierung der Sensoren gewählt werden sollte. In der Medizin werden die Messpositionen als Ableitungspunkte oder Ableitungspositionen bezeichnet (Wittling & Wittling, 2012: 143). Die Ableitungspositionen werden durch vorgegebene EKG-Ableitungen definiert, z.B. die Standardableitung nach Nehb. Diese definiert Ableitungspositionen, die weniger stör anfällig für Bewegungsartefakte und wegen der höheren EKG-Potenzialspannung robuster seien (Wittling & Wittling, 2012: 143).

Die wesentlichen Faktoren bei der EKG-Datenaufzeichnung sind die Abtastung, Quantisierung und Digitalisierung des EKG-Signals (Wittling & Wittling, 2012: 146 ff).

Hinweis: Die vorliegende Arbeit orientiert sich bei den Anforderungen an die Datenaufzeichnung explizit nicht am Standardwerk der Task Force (Malik et al., 1996: 363 f). Das Standardwerk wurde im Jahre 1996 publiziert und seither haben sich die technischen Hilfsmittel weiterentwickelt – damals gab man sich mit geringeren Abtastraten des EKG-Signals zufrieden. Heute weiss man, dass höhere Abtastraten erforderlich sind (Wittling & Wittling, 2012: 148).

### **Abtastung**

Das Datenaufzeichnungsgerät muss eine Abtastfrequenz verwenden, welche eindeutige Rückschlüsse auf das Ursprungssignal zulässt (Nyquist-Shannoschen-Abtasttheorem). Die Autoren Wittling & Wittling (2012: 148) beschreiben eine Abtastfrequenz von 500Hz bis 600Hz als guten Kompromiss zwischen der Abtastgenauigkeit und der Datenmenge. Höhere Abtastfrequenzen (1000Hz – 4000Hz) leisten keinen Beitrag zu einem besseren HRV-Analyseergebnis (Wittling & Wittling, 2012: 148).

### **Quantisierung**

Die Zuordnung eines Messpunkts (Abtastpunkt) auf einen diskreten Binärwert wird als Quantisierung bezeichnet.

Für das Rechenbeispiel nehmen die Autoren Wittling & Wittling (2012: 147) an, dass das EKG-Signal mithilfe eines Verstärkers auf 2,5mV verstärkt wird. Dabei konnten sie zeigen, dass selbst bei einer geringen 8-Bit Auflösung (256 mögliche Werte, pro Wert:  $2,5\text{mV}/256=9,76\mu\text{V}$ ) keine relevanten Auswirkungen auf die HRV-Ergebnisse entstehen.

## Digitalisierung

Die Digitalisierung umfasst die Kombination aus der Abtastung und Umwandlung. Messtechnisch gesehen ist der Schritt eine Analog-zu-Digital-Umsetzung, welche in den Aufzeichnungsgeräten vom A/D-Wandler übernommen wird.

## 5.3 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung enthält drei Teilschritte, die das digitalisierte EKG-Signal betreffen: die QRS-Komplexe (R-Zacken) detektiert, die Artefakte werden ausfindig gemacht und im letzten Schritt werden die Artefakte korrigiert.

### R-Zacken Detektion

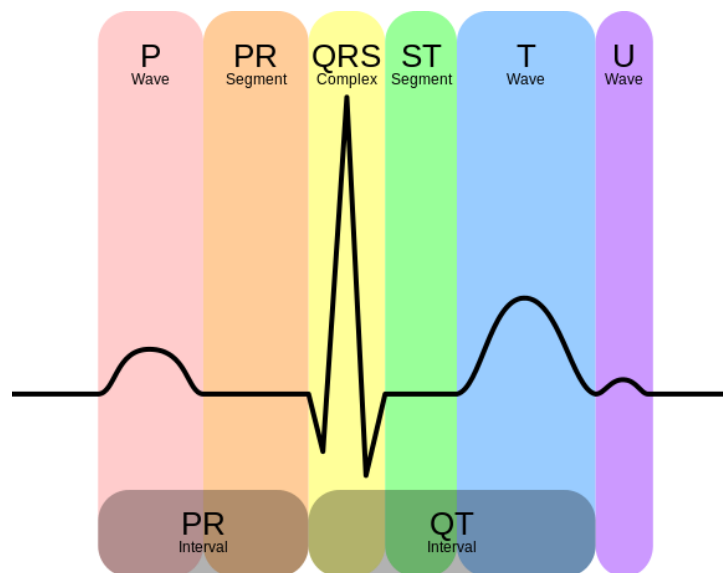


Abbildung 8: EKG-Signal von einem normalen Herzschlag (Helvete, 2014)

Das EKG-Signal kann zur Charakterisierung in verschiedene Elemente aufgeteilt werden (siehe: Abbildung 8):

- P-Welle
- PR-Segment
- QRS-Komplex (enthält die R-Zacke)
- ST-Segment
- T-Welle
- U-Welle

Hinweis: Abbildung 8 zeigt einen EKG-Signalverlauf eines normalen (idealtypischen) Herzschlags. Krankheiten, Medikamente oder Muskelkontraktionen können Veränderungen in der Form des EKG-Signals verursachen.

Das EKG-Signal ist das Resultat, welches aus der Summe aller Überlagerungen verschiedener Erregungsbildungen am Herzen entsteht (siehe: Abbildung 9). In der Grafik am rechten, unteren Rand von Abbildung 9 sieht man die idealtypische Charakteristik eines EKG-Signals, welches das Resultat der Überlagerungen gut ersichtlich darstellt.

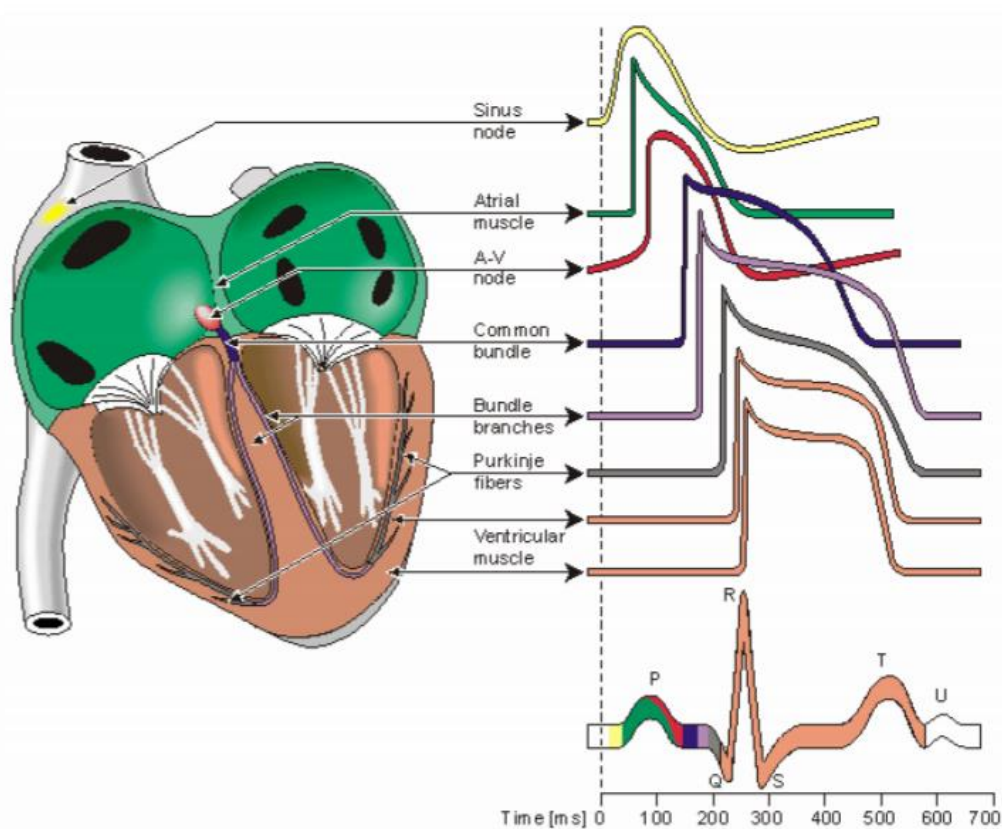
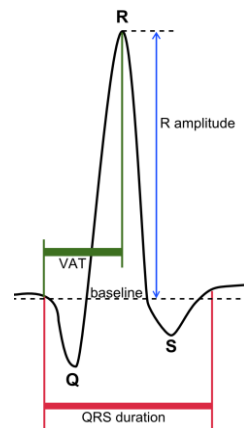


Abbildung 9: Elektrophysiologie des Herzens (Tarvainen et al., 2017: 9)

Das EKG-Signal bildet die Ausgangslage für eine HRV-Analyse. Die HRV-Analyse hat das Ziel die Variabilität zwischen den Herzschlägen zu analysieren.

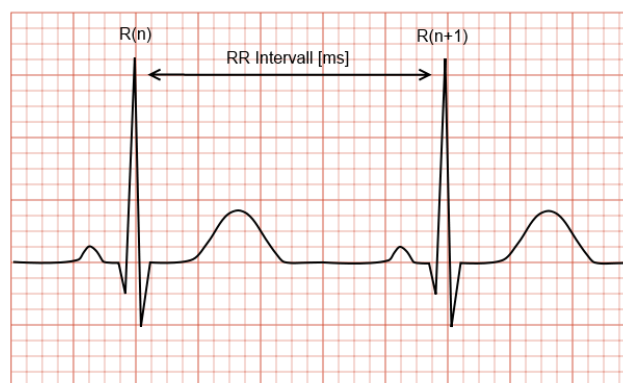
Die Eingangsparameter für die HRV-Analyse basieren auf den zeitlichen Distanzen zwischen den Spitzen der einzelnen R-Zacken aus dem EKG-Signal. Damit diese Zeiten automatisch berechnet werden können, müssen die R-Zacken aus dem EKG-Signal detektiert werden.





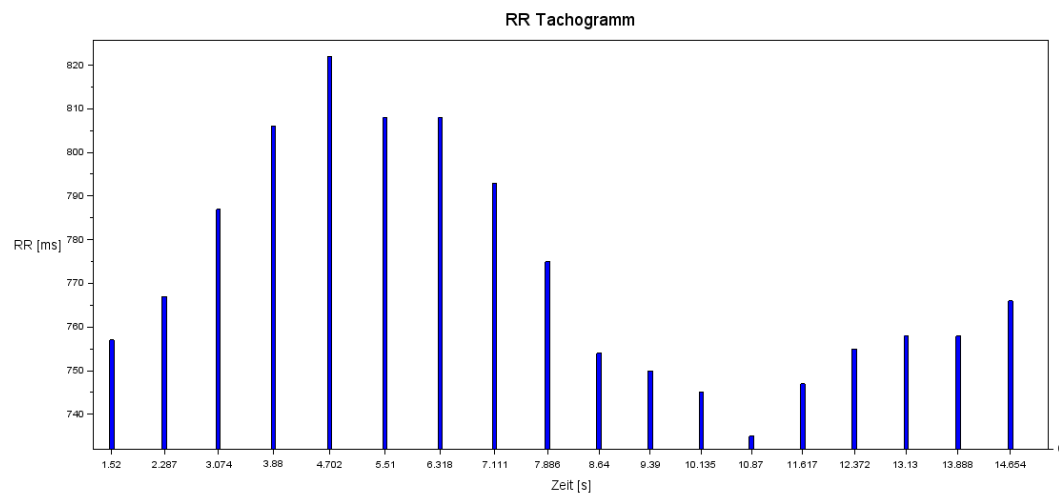
**Abbildung 10: Ausschnitt aus dem EKG Signal – der QRS Komplex (Hägström, 2014)**

In Abbildung 10 ist die R-Zacke ersichtlich. Die R-Zacke befindet sich bei einer gesunden Person zwischen dem Q- und dem S-Tal des EKG-Signals. Das automatische Detektieren der R-Zacken im EKG-Signal ist ein wichtiger Prozessschritt für die HRV-Analyse. Die manuelle Detektion ist bei grösseren Datenbeständen fehleranfällig und kann unter Umständen sehr lange dauern. In der Literatur werden keine detaillierten oder standardisierten Methoden beschrieben, um die R-Zacken (QRS-Komplex-Detektion) für die HRV Analyse automatisch zu detektieren (Peltola, 2012: 3). Die heute eingesetzten QRS-Detektoren sind oftmals Varianten des Pan-Thompkins-Algorithmus (Hamilton & Tompkins, 1986).



**Abbildung 11: RR Intervall im EKG Signal (in Anlehnung an: Madhero88, 2010)**

Die Abstände zwischen den R-Zacken werden RR-Intervalle genannt. Die RR-Intervalle werden in Millisekunden [ms] angegeben (siehe: Abbildung 11).



**Abbildung 12: Das RR Tachogramm**

Mit dem RR-Tachogramm (siehe: Abbildung 12) werden die RR-Intervalle (Y-Achse) in Abhängigkeit der Zeit (X-Achse) dargestellt. Die Zeitachse zum Zeitpunkt n, wird aus der Summe der vorangehenden Intervalle berechnet ( $\text{Zeit}(n) = \text{RR}(0) + \text{RR}(1) + \dots + \text{RR}(n)$ ).

Hinweis: In Abbildung 12 sind die Abstände zwischen den Punkten auf der Zeitachse nicht äquidistant – auch wenn es auf den ersten Blick so erscheint. Für eine HRV-Analyse im Frequenzbereich müssen die einzelnen Punkte interpoliert und anschliessend neu abgetastet (Resampling) werden.

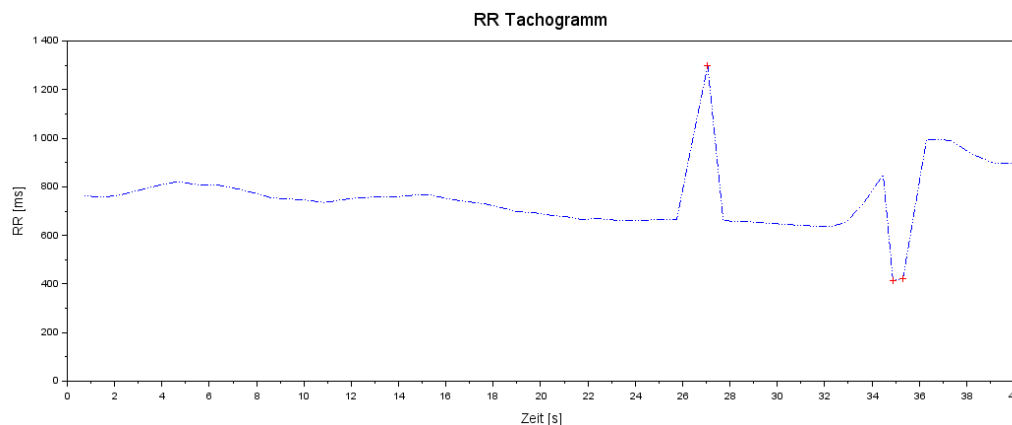
### Artefakt-Detektion

Die aufgezeichneten Daten können Artefakte beinhalten. Bereits wenige dieser künstlich eingefügten Herzschläge können die HRV-Parameter stark beeinflussen (Piechulla, 2001: 13). Man kann grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Artefaktquellen unterscheiden (Piechulla, 2001: 13):

- Messtechnische Artefakte: das sind durch das Messmittel verursachte Artefakte, z.B. wenn eine R-Zacke nicht erkannt wird oder eine T-Welle als R-Zacke fehlerkannt wird (Piechulla, 2001: 13).
- Physiologische Artefakte: sind Arrhythmien des Herzens. Diese sind auf Abweichungen der normalen Aktionsfolge des Herzens zurückzuführen. Für die Berechnung der HRV sind grundsätzlich nur die durch Sinusknoten-Depolarisierung (Auslöser für „normalen“ Herzschlag) ausgelösten Herzschläge ausschlaggebend (Piechulla, 2001: 13). Physiologische Artefakte können auch bei gesunden Menschen vorkommen (Peltola, 2012: 3).

Eine Kategorie von Artefakten bilden Bewegungsartefakte, welche durch das bewegungsbedingte Verschieben der Messsensoren relativ zur Haut oder relativ zum Herzen entstehen (Hoos

et al., 2006: 189). Die Folge davon ist, dass Störungen in der Aufnahme des EKG-Signals verursacht werden und die R-Zacken-Detektion Herzschläge verpasst (=Missing Beats) oder Stör-signale als R-Zacken detektiert (=Additional Beats) (Hoos et al., 2006: 189). Diese Missing Beats sowie auch die Additional Beats verbessern die Variabilität künstlich und müssen deshalb für die HRV-Analyse identifiziert und korrigiert werden.



**Abbildung 13: RR Tachogramm mit Missing und Additional Beats**

In der Abbildung 13 sind die Artefakte mit roten Plus-Symbolen gekennzeichnet, z.B. ist zum Zeitpunkt 27s ein Missing Beat mit der Amplitude 1300ms zu erkennen. Ein Missing Beat lässt sich einfach erkennen, denn er ist typischerweise ein Vielfaches der vorangegangenen Herzschläge. Ein Additional Beat hingegen ist nicht immer einfach zu erkennen. Zum Zeitpunkt 35s ist in der Abbildung 13 ein Additional Beat mit dem Verhältnis 50:50 zu den vorangegangenen Herzschlägen zu sehen. Das Verhältnis der Additional Beats ist keineswegs immer 50:50, weshalb sich deren Erkennung als schwierig gestaltet, denn das Verhältnis ist zufällig und wird durch die Störung im EKG-Signal erzeugt. Die manuelle Erkennung von Artefakten ist bei grossen Datenmengen sehr zeitaufwendig und somit nicht wirtschaftlich, weshalb gute automatische Erkennungsverfahren erforderlich sind. Der Artefakt-Detektions-Algorithmus von Berntson et al. (1990) wird in einer Vielzahl von Publikationen genannt und von Kaufmann et al. (2011: 1162) als State-of-the-Art Detektionsalgorithmus für RR-Intervall-basierte Daten bezeichnet. Kaufmann et al. (2011: 1162) heben hervor, dass der Algorithmus von Berntson et al. (1990) die individuelle Verteilung der RR-Intervalle der vermessenen Person bei der Detektion berücksichtigt. Berntson et al. (1990: 590) konnten zeigen, dass die Verteilung zwischen den RR-Intervallen sich der Standardnormalverteilung annähert. Der von Berntson et al. (1990) konzipierte Algorithmus vergleicht die Differenzen der umliegenden RR-Intervalle mit einem individuell für jede Person kalkulierten Schwellenwert (Criterion Beat Difference). Dabei werden die RR-Intervalle als Artefakte markiert, welche den Schwellenwert gegenüber den umliegenden Differenzen der RR-Intervalle überschreiten.

## ***Ausblick***

Einen vielversprechenden Ansatz für die Zukunft präsentieren die Autoren Barbieri & Brown (2006) in ihrem Ursprungswerk, welches mit Citi et al. (2012) weiterentwickelt wurde. Die Autoren (Citi et al., 2012: 8) konnten zeigen, dass der Algorithmus eine verbesserte Klassifikation von korrekten, verpassten oder zusätzlich eingestreuten Herzschlägen gegenüber dem von Bernstein et al. (1990) entwickelten Algorithmus besitzt.

Das entwickelte mathematische Modell wurde dem Herzen nachempfunden und kann aus den vorangehenden RR-Intervallen mittels Prognosen die Länge des nächsten RR-Intervalls abschätzen (Citi et al., 2012: 1). Des Weiteren besitzt es die folgende Funktionalität (Citi et al., 2012: 8):

- Erkennung ob ein Herzschlag korrekt identifiziert wurde
- Erkennung ob ein Herzschlag verpasst wurde (Missing Beat)
- Erkennung ob der betrachtete Herzschlag unecht (Artefakt) ist
- Erkennung ob ein oder zwei Herzschläge auf der Zeitachse verschoben werden müssen
- Erkennung ob es sich um einen ektopischen (vom Sinusrhythmus abweichenden) Herzschlag (Extra Beat) handelt

## **Artefakt-Korrektur**

Die Korrektur der Artefakte hat einen Einfluss auf das Ergebnis der HRV-Analyse. Deshalb müssen die eingesetzten Artefakt-Korrektur-Methoden für das zu untersuchende Anwendungsgebiet mit Bedacht ausgesucht werden.

Zusammenfassend können drei Strategien zum Umgang mit Artefakten genannt werden:

- Ignorieren: Die Artefakte werden ignoriert und werden 1:1 in die Berechnungen miteinbezogen.
- Entfernen: Die Artefakte werden aus den Daten entfernt.
- Korrigieren: Die Artefakte werden durch neue Werte ersetzt.

## ***Ignorieren***

Die Artefakte werden ignoriert, bzw. 1 zu 1 in die Berechnungen miteinbezogen. Diese Strategie sollte vermieden werden. Das Hauptaugenmerk bei der Untersuchung der Herzfrequenzvariabilität liegt bei der Variabilität. Die eingestreuten Artefakte, wie z.B. Missing oder Additional Beats, erhöhen die Variabilität künstlich und können deshalb zu fundamentalen Fehlschlüssen führen.

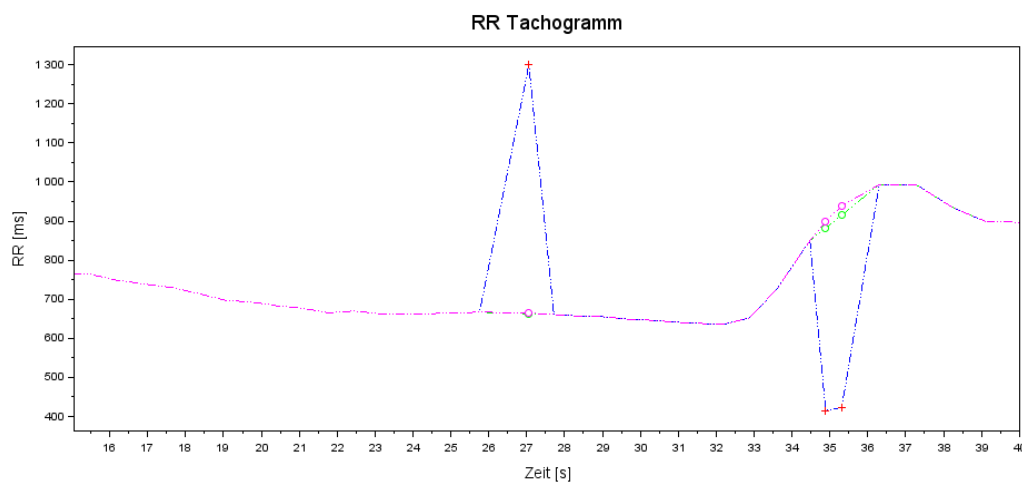
## **Entfernen**

Die Artefakte werden aus den Daten entfernt. Durch das Entfernen der Artefakte aus den Daten, wird die Datenbasis für die Analyse verkleinert und Informationen gehen verloren. Peltola (2012: 6) ermahnt, dass dieser Ansatz die HRV-Parameter aus dem Frequenzbereich stark beeinflusst, bzw. verzerrt. Weiter sollte beachtet werden, dass durch die Elimination der Artefakte ein systematischer Verlust von Informationen entstehen kann (Peltola, 2012: 6).

## **Korrigieren**

Die Artefakte werden korrigiert. Zu den gängigsten Varianten gehören die Interpolationen (lineare / kubische / nicht-lineare) mit denen die umliegenden, korrekten RR-Intervallen neu berechnet werden (Peltola, 2012: 5). Generell kann gesagt werden, dass Intervall- Korrekturen einen Einfluss auf das Resultat der HRV-Analyse ausüben (Peltola, 2012: 6).

In Abbildung 14 wird eine Interpolation der Artefakte illustriert. Das Ursprungssignal ist blau eingefärbt und die Artefakte mit roten Kreuzen hervorgehoben. Das grüne Signal zeigt die lineare Interpolation und die grünen Kreise markieren die linear interpolierten Werte. Das in Magenta eingefärbte Signal zeigt die kubische Interpolation. Im Fall eines Additional Beats (Zeitachse: 35s) sieht man, dass die Werte zwischen der linearen und kubischen Interpolation voneinander abweichen.



**Abbildung 14: Lineare & kubische Interpolation der Artefakte**

## **Wahl der Strategie**

Bei der Wahl der Strategie sollte der Artefaktgehalt (Anzahl der Artefakte in Prozenten) berücksichtigt werden. Dabei wird die Grundgesamtheit der RR-Intervalle in Segmente fester Grösse aufgeteilt. Die Länge der Segmente ist nicht standardisiert und wird in der Literatur mit verschiedenen Grössen angegeben:

Grundgesamtheit (alle verfügbaren Daten), 256 RR-Intervalle, 5min, 30s, etc.

Übersteigt der Artefaktgehalt einen Schwellenwert X in Prozent sollte das gesamte Segment aus der Analyse eliminiert werden (Peltola, 2012: 5). Der Schwellenwert X wird von Wittling & Wittling (2012: 165) wie folgt definiert: Daten mit mehr als 10% Artefaktbelastung sollten nicht interpretiert bzw. aus der Untersuchung ausgeschlossen werden. Bei wissenschaftlichen Studien sollte der Artefaktgehalt kleiner als 2% sein. Wenn der Artefaktgehalt in der Praxis mehr als 5% beträgt, sollte genauer analysiert werden, weshalb die Artefakte zustande gekommen sind.

Peltola (2012: 7) ist in seiner Analyse zum Schluss gekommen, dass in der Forschungsgemeinde kein Konsens darüber bestehe, welche Strategie in welcher Ausprägung bei der Artefakt-Korrektur angewendet werden soll. Die einzige Übereinstimmung die bestehe, sei, dass in Studien in denen HRV-Parameter aus dem Frequenzbereich eingesetzt werden, das Interpolieren der Daten gegenüber dem Löschen bevorzugt werden sollte. Er empfiehlt in zukünftigen Arbeiten die angewendeten Strategien detailliert zu dokumentieren, so dass ein Vergleich möglich wird (Peltola, 2012: 8).

Kaufmann et al. (2011: 1162) sind der Meinung, dass die lineare und die kubische Spline-Interpolation immer noch die Standards bei der HRV-Analyse seien. Diese Arbeit stützt sich auf die Aussage von Kaufmann et al. (2011: 1162) und definiert die lineare- und kubische Spline-Interpolation als Standard-Artefakt-Korrektur-Algorithmen. Bei der Anwendung dieser beiden Interpolationen wird der Empfehlung von Peltola (2012: 8) gefolgt und die Details dazu offen-gelegt.

### **5.3.1 Fazit der Datenaufbereitung**

Obwohl die Task Force (Malik et al., 1996) ein Handbuch zur HRV-Analyse herausgegeben hat, fehlt es zum heutigen Zeitpunkt an einem Werk, das die Details regelt. In der Datenaufbereitung konnte gezeigt werden, dass es in der Forschungsgemeinde einen „groben Konsens“ darüber gibt, welche Methoden bei der Datenaufbereitung verwendet werden sollen. Aber aus der Sicht der Forscher (Peltola, 2012: 8) noch weitere Studien nötig seien, um die zahlreich gelebten Standards auch in ihren Details genauer dokumentieren zu können.

## 5.4 Datenauswertung

Nachdem die Daten (RR-Intervalle) bereinigt worden sind, folgt die Datenauswertung. Dabei werden in einem ersten Schritt eine Datenvalidierung durchgeführt und in einem zweiten Schritt die HRV-Parameter berechnet.

### 5.4.1 Datenvalidierung

Den HRV-Parametern aus dem Zeitbereich liegen Methoden aus der Statistik (Mathematik) zugrunde. Diese Methoden gehen von einer Normalverteilung der Daten (RR-Intervalle) aus. Um zu prüfen, ob die Daten normalverteilt sind, wird typischerweise der Kolmogorov-Smirnov-Test (KS test) eingesetzt (NIST/SEMATECH, 2012).

### 5.4.2 Methoden der HRV

Für die Quantifizierung der HRV können Methoden aus dem Zeit- und Frequenzbereich und nichtlineare Analysen eingesetzt werden (Sammito et al., 2014: 12). Die HRV-Parameter entstammen aus dem Standardwerk von Malik et al. (1996: 358;360;363).

Methoden	Variabilitätsmass	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der..	Empfehlungen zur Auswertzeit
Statistisch	SDNN	ms	Standard deviation of NN intervals: Standardabweichung der NN-Intervalle im Messzeitbereich	Gesamtvariabilität	
	SDANN	ms	Standard deviation of the average NN intervals: Mittelwert der Standardabweichungen aller konsekutiven 5-Minuten-NN-Intervalle zur Abschätzung der HRV bei Langzeitmessungen	Kurz- und Langzeitvariabilität	Langzeitmessung, am besten 24h
	RMSSD	ms	Root Mean Square of successive differences: Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen	Kurzzeitvariabilität	
	SDNN-Index	ms	Mittelwert der Standardabweichung von allen normalen NN-Intervallen von 5-min-Segmenten aus dem 24h-EKG	Langzeitvariabilität	Langzeitmessung, am besten 24h
	NN 50	k.E.	Anzahl der Paare benachbarter NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen	Spontanvariabilität	
	pNN 50	%	Prozentsatz aufeinander folgender NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen	Spontanvariabilität	
geometrisch	HRV triangular Index	k.E.	Integral der Dichteverteilung (Anzahl aller NN-Intervalle dividiert durch das Maximum (Höhe) der Dichteverteilung) bzw. Quotient aus der absoluten Anzahl der NN-Intervalle zur Anzahl der modalen NN-Intervalle	Gesamtvariabilität	Mindestens 20min
	TINN	ms	Triangular interpolation of NN intervall histogramm: Länge der Basis des minimalen quadratischen Unterschiedes	Keine klare Zuordnung	Mindestens 20min

			der triangulären Interpolation für den höchsten Wert des Histogramms aller NN-Intervalle		
--	--	--	--	--	--

**Tabelle 1: Zeitbezogene Parameter der HRV-Analyse (Sammito et al., 2014: 15)**

Für Analysen im Zeitbereich werden statistische und geometrische Methoden angewendet (siehe: Tabelle 1).

Hinweis: Die NN-Intervalle geben die Zeit zwischen zwei normalen Herzschlägen an, welche vom Sinusrhythmus entstammen (Sammito et al., 2014: 3). In den folgenden Abschnitten wird der Begriff der RR-Intervalle verwendet. Die RR-Intervalle sind NN-Intervalle, jedoch kann bei den RR-Intervallen nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass diese vom Sinusrhythmus (=normale Herzschläge) des Herzens entstammen und deshalb werden diese als RR-Intervalle klassifiziert.

Methode	Variabilitätsmass	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der..	Empfehlungen zur Auswertzeit
FFT (Fast Fourier Transformation) und Autoregressives Modell (AR)	TP	ms <sup>2</sup>	Total power: Gesamtleistung oder Gesamtspektrum; entspricht Energiedichte im Spektrum von 0,00001 bis 0,4 Hz	Gesamtvariabilität	
	ULF	ms <sup>2</sup>	Ultra very low frequency: Leistungsdichtespektrum unter 0,003 Hz prozentualer ULF-Anteil am Gesamtspektrum	Keine klare Zuordnung	
	ULF%	%	prozentualer ULF-Anteil am Gesamtspektrum	Keine klare Zuordnung	
	VLF	ms <sup>2</sup>	Very low frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,003 bis 0,04 Hz	Keine klare Zuordnung	
	VLF%	%	prozentualer VLF-Anteil am Gesamtspektrum	Keine klare Zuordnung	
	LF	ms <sup>2</sup>	Low frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04 bis 0,15 Hz	Keine klare Zuordnung	Mindestens 5min
	LF%	%	prozentualer LF-Anteil am Gesamtspektrum	Keine klare Zuordnung	
	HF	ms <sup>2</sup>	High frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,40 Hz	Keine klare Zuordnung	Mindestens 5min
	HF%	%	prozentualer HF-Anteil am Gesamtspektrum	Keine klare Zuordnung	
	LF nu	Nu	Low frequency normalized unit: entspricht LF/(TP-VLF) x 100	Keine klare Zuordnung	
	HFnu	Nu	High frequency normalized unit: Entspricht HF/(Total Power – VLF) x 100	Keine klare Zuordnung	
	LF/HF	k.E.	Quotient der sympatho-vagalen Balance; als Wert des Zusammenspiels von Parasympathikus (HF) und Sympathikus (LF)	Keine klare Zuordnung	Mindestens 5min
	VLF-Peak	Hz	Very low frequency peak: Frequenzgipfel im VLF-Band; Thermoregulation-Peak	Keine klare Zuordnung	
LF-Peak	Hz	Low frequency peak: Frequenzgipfel im LF-Band; Baroreflex-Peak	Keine klare Zuordnung		



	HF-Peak	Hz	High frequency peak: Frequenzgipfel im HF-Band; Respiratorischer Peak	Keine klare Zuordnung	Mindestens 30s
--	---------	----	---	-----------------------	----------------

**Tabelle 2: Frequenzbezogene Parameter der HRV-Analyse (Sammito et al., 2014: 16–17)**

Für Analysen im Frequenzbereich werden Verfahren aus der Fast Fourier Transformation (FFT), der Autoregression (AR), das Zero-Crossing-Verfahren, die Wavelet-Analyse und die trigonometrische regressive Spektralanalyse verwendet (Sammito et al., 2014: 12). Sammito et al. heben die am meisten verbreiteten Methoden: FFT und die AR hervor (siehe: Tabelle 2).

Hinweis: Für die Berechnung der frequenzbezogenen HRV-Parameter müssen vor der Berechnung zusätzliche Schritte ausgeführt werden (Resampling auf eine äquidistante Zeitreihe, Detrending des Signals, Wichten mit Fensterfunktion mit Hanning-/Hamming-Fenster) (Wittling & Wittling, 2012: 142 ff). Die Arbeit konzentriert sich nur auf die Anwendung der Methoden aus dem Zeitbereich und deshalb wird nicht näher auf die frequenzbezogenen Methoden der HRV eingegangen. Die Gründe für die Wahl der zeitbezogenen Methoden werden in Kapitel 7.2.3 erläutert.

Methoden	Variabilitätsmass	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der..	Empfehlungen zur Auswertzeit
Poincaré-Plot	DL		Länge des Längsdurchmessers der 95%- Vertrauensellipse	Langzeitvariabilität	
	DQ		Länge des Querdurchmessers der 95%- Vertrauensellipse	Kurzzeitvariabilität	
	SD1		Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser	Kurzzeitvariabilität	
	SD2		Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser	Langzeitvariabilität	
Detrended fluctuation Analyse (DFA) oder trendbereinigende Fluktuationsanalyse	DFA1		Grad der Zufälligkeit/Korrelation; reicht von 0,5 (zufällig) bis 1,5 (korreliert) mit Normalwerten um 1,0; wird häufig als nichtlinearer Parameter für kurze NN-Intervall-Daten genutzt	Keine klare Zuordnung	
	DFA2		wird häufig als nichtlinearer Parameter für RR-Intervalle längerer Aufzeichnungsdauer genutzt, reduzierte Werte sind assoziiert mit einer schlechter Prognose	Keine klare Zuordnung	

**Tabelle 3: Nicht-lineare Parameter der HRV-Analyse (Sammito et al., 2014: 17–18)**

Für die nichtlinearen Methoden bedient sich die HRV-Analyse aus dem Poincaré-Plot, der Detrend Fluctuation Analyse (DFA oder trendbereinigende Fluktuationsanalyse (siehe: Tabelle 3).

Hinweis: Auf die nichtlinearen Methoden wird nicht weiter eingegangen, da sie in der Arbeit nicht zur Anwendung kommen. Die Gründe für die Wahl der zeitbezogenen Methoden werden in Kapitel 7.2.3 erläutert.

## 5.5 Dateninterpretation

Bei der Analyse der HRV für arbeitsmedizinische und arbeitswissenschaftliche Fragestellungen müssen die folgenden Faktoren berücksichtigt werden (Sammito et al., 2014: 19 ff):

- Alkohol: Langfristig in der Regel keine Veränderung. Kurzfristig kann es zu einer Reduzierung der HRV kommen. Bei chronischem Alkoholkonsum kann es zu einer Reduzierung der HRV führen (Sammito et al., 2014: 19).
- Atmung: Die Atmung hat einen Einfluss auf das HF-Band bei der Anwendung von Methoden aus dem Frequenzbereich. Der HRV-Parameter RMSD wird von der Atmung nicht beeinflusst. Für die übrigen Parameter konnten die Studien zu keinem eindeutigen Ergebnis kommen (Sammito et al., 2014: 19).
- Fitness, Leistungsfähigkeit, sportliche Aktivität: Ausdauertraining auf nicht hochintensivem Niveau erhöht in der Regel die HRV. Übertraining kann jedoch zu einer Reduzierung der HRV führen (Sammito et al., 2014: 20).
- Geschlecht: Frauen besitzen bis zum 50. Lebensjahr eine erhöhte parasympathische Aktivität. Einige Studien haben jedoch eine erhöhte sympathische Aktivität bei Frauen gesehen (Sammito et al., 2014: 20).
- Herz-Kreislaufkrankungen: Herzinsuffizienz führt in der Regel zu einer reduzierten HRV. Studien konnten zeigen, dass erhöhte Blutdruckwerte mit einer reduzierten HRV einhergehen. Personen die einen Myokardinfarkt (=Herzinfarkt) erlitten haben, zeigen häufig eine reduzierte HRV (Sammito et al., 2014: 20).
- Hitze, hohe Temperaturen: Hohe Umgebungstemperaturen führen zu einer erhöhten sympathischen Aktivität und einer reduzierten HRV (Sammito et al., 2014: 20).
- Kälte, niedrige Temperaturen: Geringe Studienanzahl vorhanden und deshalb keine eindeutigen Ergebnisse auf den Einfluss auf die HRV (Sammito et al., 2014: 21).
- Körperfettgehalt/Körpergewicht: Erhöhtes Körpergewicht, gemessen am Body Mass Index (BMI) und an der erhöhten fettfreien Masse senken häufig die HRV (Sammito et al., 2014: 21).
- Lärm: Es existieren wenige Studien dazu. Personen neigen bei Lärm zu einer Reduzierung der HRV (Sammito et al., 2014: 21).
- Lebensalter: Die HRV steigt bis zum jungen Erwachsenenalter an, fällt aber dann nicht linear wieder ab (Sammito et al., 2014: 21).
- Psychiatrische Erkrankungen: Bei Angststörungen und Panikattacken kommt es in der Regel zu einer Reduzierung der HRV. Posttraumatische Belastungsstörungen führen häufig zu einer reduzierten HRV. Schwere Depressionen führen häufig zu einer Reduzierung der HRV (Sammito et al., 2014: 21).
- Rauchen: Das Rauchen kann zu einer Reduzierung der HRV führen. Passivraucher können auch von einer Reduzierung betroffen sein (Sammito et al., 2014: 21).
- Schadstoffe: Neurotoxische Stoffe (Carbondisulfid, akute Diesel-/Biodieselinhalation, chronische Blei-/Quecksilberexposition oder neurotoxischer Styrolexposition) können zu einer Reduzierung der HRV führen (Sammito et al., 2014: 22).

- Schichtarbeit mit Nachtschicht: Die Schichtarbeit kann je nach Dauer (Jahre) zu einer Reduktion der HRV führen (Sammito et al., 2014: 22).
- Stoffwechselerkrankungen: Bei Patienten mit Diabetes mellitus ist die HRV häufig reduziert. Ein metabolisches Syndrom führt häufig zu einer Reduzierung der HRV (Sammito et al., 2014: 22).
- Stress/mentale Anspannung: Stress (z.B. mental, arbeitsplatzbezogen) führt in der Regel zu einer Reduzierung der HRV (Sammito et al., 2014: 22).
- Zirkadianer Rhythmus / Tageszeit: Die HRV unterliegt einem zirkadianen Rhythmus, wobei in der Nacht die HRV erhöht ist und in den Tagesstunden reduziert ist (Sammito et al., 2014: 22).

Hinweis: Die HRV-Parameter sind das Resultat aller äusseren und inneren Einflüsse auf die Person (Sammito & Böckelmann, 2015: 82).

### 5.5.1 Normwerte Task Force

Die Task Force (Malik et al., 1996: 380) hat Normwerte für einzelne HRV-Parameter definiert (siehe: Tabelle 4 & Tabelle 5).

HRV-Variable/Parameter	Einheit	Normwerte (Mittelwert ± Standardabweichung)
SDNN	ms	141 ± 39
SDANN	ms	127 ± 35
RMSSD	ms	27 ± 12
HRV triangular index	-	37 ± 15

**Tabelle 4: Normwerte der zeitbezogenen Parameter (Messdauer 24h) (Malik et al., 1996: 380)**

HRV-Variable/Parameter	Einheit	Normwerte (Mittelwert ± Standardabweichung)
Total power	ms <sup>2</sup>	3466 ± 1018
LF	ms <sup>2</sup>	1170 ± 416
HF	ms <sup>2</sup>	975 ± 203
LF	k.E.	54 ± 4
HF	k.E.	29 ± 3
LF/HF-ratio	-	1,5-2,0

**Tabelle 5: Normwerte der frequenzbezogenen Parameter (liegend, Messdauer 5min) (Malik et al., 1996: 380)**

#### Kritik

Die in Tabelle 5 vorgeschlagenen Normwerte (Malik et al., 1996: 380) beziehen die Einflussfaktoren, wie z.B. das Alter nicht mit ein. Heute weiss man, dass die Variabilität in jüngeren Jahren am höchsten ist und im Alter abnimmt (Sammito et al., 2014: 21). Deshalb sollten die Normwerte der Task Force höchstens für eine grobe Einschätzung zu Rate gezogen werden.

Hinweis: Es wurde gezeigt, dass die autonome Balance den HRV-Parameter LF/HF ratio nach dem heutigen Stand des Wissens nicht mehr unterstützt und deshalb aus der Tabelle 5 gestrichen wurde (Eller-Berndl, 2015: 41). Der Parameter wurde leicht modifiziert als log(LF/HF) zur

Baroflex-Modulation und zur Bestimmung des kardiovaskulären Risikos (Eller-Berndl, 2015: 41).

Hinweis: Die Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin ist zum Schluss gekommen, dass zum Zeitpunkt ihrer Studie (2014) keine generellen gesundheitsbezogenen Grenzwerte für HRV-Parameter vorliegen (Sammito et al., 2014: 29).

## **5.5.2 Interpretation der HRV-Parameter**

Dieses Kapitel soll mit den folgenden Worten von Eller-Berndl (2015: 249) eröffnet werden: „So verlockend das HRV-Bild (Anmerkung: Spektrogramm) auch zur Interpretation einlädt, zuerst muss immer das EKG gesichtet werden, um nicht eventuelle Ausschlussgründe für eine HRV-Messung zu übersehen“. Mittels der HRV-Analyse ist die Erkennung verschiedener Krankheiten möglich. Deshalb soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass für die jeweilige Untersuchung die passende Methode zum Einsatz kommen soll. Die vorliegende Arbeit soll die chronische Stressbelastung objektiv erheben. Dies ist entweder über eine Speichelprobenmessung (Hormon: Cortisol) oder über die HRV-Analyse möglich. Für die Untersuchung wurde aus Praktikabilitätsgründen die HRV-Analyse gewählt. Die HRV-Analyse basiert auf den RR-Intervallen, welche aus dem EKG extrahiert wurden. Das bedeutet, dass das EKG-Signal nach gewissen Kriterien überprüft (siehe: 5.3 Datenaufbereitung) und dann verarbeitet wird. Dabei sollte beachtet werden, dass bei einem hohen Artefaktgehalt neben technischen Störungen auch schwere Erkrankung (z.B. ventrikuläre Extrasystolie – wird als Herzstolpern wahrgenommen) in Frage kommen können. Deshalb muss die Extraktion der RR-Intervalle sorgfältig mit verschiedenen validierten Methoden ausgeführt werden (siehe: Kapitel: 5.1 Vorgehensweise bei der Analyse der HRV).

In der Praxis werden bei der HRV-Analyse die Einflussfaktoren berücksichtigt (Alter, Medikamente, Trainingszustand, etc.) und ein Tagebuch geführt (Eller-Berndl, 2015: 251 ff). Die Patienten halten in ihrem Tagebuch die Uhrzeit und die ausgeführten Tätigkeiten fest und sollen dabei ihr Befinden bewerten (Eller-Berndl, 2015: 251 ff). Die subjektive Einschätzung des Patienten kann dabei von der objektiven Messung abweichen (Eller-Berndl, 2015: 251). Menschen die seit längerem einer chronischen Stressbelastung ausgesetzt sind, haben sich oft bis zu einem gewissen Mass mit der Situation abgefunden und haben deshalb keine Vorstellung mehr von einer besseren Befindlichkeit (Eller-Berndl, 2015: 251).

Hinweis: Da die subjektive Wahrnehmung über die eigene Befindlichkeit von der Realität (gemessen Werte) abweichen kann, sieht der Autor die HRV-Analyse als ein mächtiges Werkzeug,

um die eigene Stressbelastung transparent und objektiv aufzeigen zu können, ohne dass eine subjektive Verzerrung stattfinden kann.

## Signalqualität

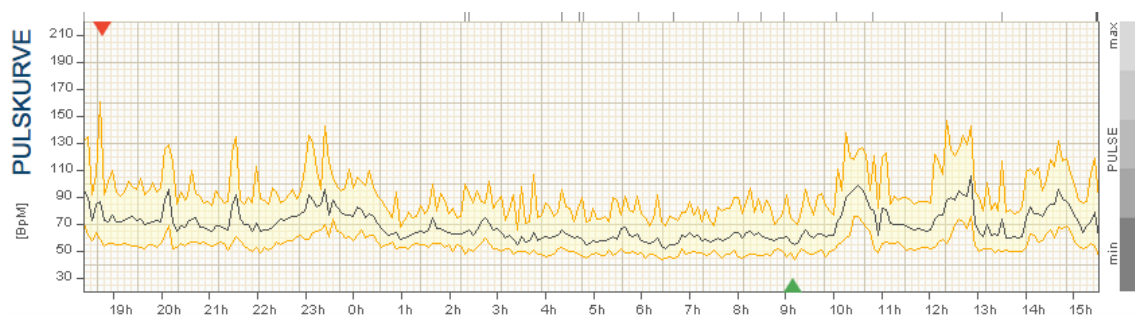
Bevor mit der HRV-Analyse gestartet wird, soll die Signalqualität geprüft werden (Eller-Berndl, 2015: 252). Die Signalqualität wird in der Arbeit definiert als Artefaktgehalt des Signals in Prozent.

Wittling & Wittling (2012: 165) geben folgende Empfehlung:

- Daten mit mehr als 10% Artefaktbelastung sollten nicht interpretiert bzw. aus der Untersuchung ausgeschlossen werden.
- Bei wissenschaftlichen Studien sollte der Artefaktgehalt kleiner als 2% sein.
- In der Praxis sollten die Daten bei mehr als 5% Artefaktgehalt genauer analysiert werden und untersucht werden, weshalb die Artefakte zustande gekommen sind.

## Zeitraum

Bei der Befundung sind die folgenden zeitbezogenen Parameter von Interesse: SDNN (24h), RMSSD, pNN 50 und die Pulskurve (Herzfrequenz über 24h) (Eller-Berndl, 2015: 252).



**Abbildung 15: Pulskurve (Autonom Health, 2017)**

Die Pulskurve (siehe: Abbildung 15) zeigt auf der Ordinate die Herzfrequenz in Schlägen pro Minute an (BPM) und auf der Abszisse die Uhrzeit, zu der der Puls gemessen wurde. Die Abbildung der Pulskurve ist ein wichtiges Instrument, um Schlafzeitpunkt, Schlafqualität und die Tagesaktivitäten ablesen zu können (Eller-Berndl, 2015: 254). Diese Informationen geben Auskunft über den Zustand des Patienten. Als Beispiel dient die wannenförmige Pulsabsenkung, welche um ca. 00:00 Uhr beginnt und um 10:00 Uhr wieder endet. Das geschulte Auge kann ebenfalls die verschiedenen Schlafphasen der Schlafarchitektur erkennen.

## Frequenzbereich

Die visuelle Darstellung der HRV mittels Spektrogramm (Anmerkung: wird von Lohninger (2017) auch als „Lebensfeuer“ bezeichnet) ist das Kernstück moderner HRV-Diagnostik (Lohninger, 2017: 64). Zusätzlich werden der Verhältniswert  $\log(LF/HF)$  zur vagalen Kontrolle und die Total Power zur Abschätzung der Gesamtvariabilität zu Rate gezogen (Eller-Berndl, 2015: 253).

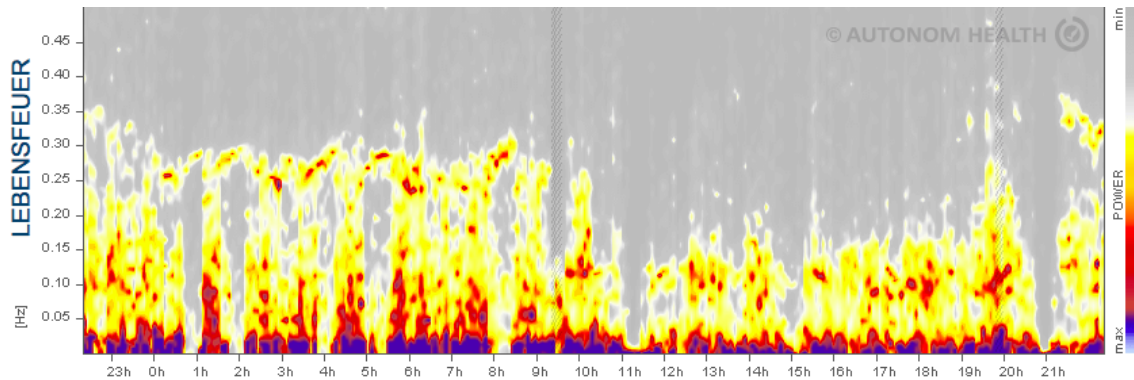


Abbildung 16: Spektrogramm (Autonom Health, 2017)

Das Spektrogramm (siehe: Abbildung 16) zeigt auf der Ordinate die Frequenz in Hertz (Hz) an und auf der Abszisse die dazugehörige Uhrzeit. Die Frequenz wird in der HRV in vier Bänder unterteilt:

- High Frequency (HF): 0.15 bis 0.4Hz. Im Bereich 0.2 und 0.3 Hz finden sich nachts und in Ruhephasen markante Werte, dieses Phänomen wird als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet (Eller-Berndl, 2015: 32).
- Low Frequency (LF): 0.05 bis 0.15 Hz. Dieser Bereich wird vom Barorezeptorenreflexes beeinflusst (Eller-Berndl, 2015: 37).
- Very Low Frequency (VLF): 0.0033 bis 0.05 Hz. Dieser Bereich ist sehr schwierig zu interpretieren und sollte nur bei Langzeitmessungen (>24h) beurteilt werden (Eller-Berndl, 2015: 39).
- Ultra Low Frequency (ULF): <0.0033 Hz. Dieser Bereich ist ebenfalls schwierig zu interpretieren und sollte auch nur bei Langzeitmessungen (>24h) beurteilt werden (Eller-Berndl, 2015: 39). Hinweis: Die Frequenzen von 0.0033Hz und kleiner entsprechen einer Periodendauer von 5 Min. aufwärts.

Die Farben in Spektrogramm repräsentieren die Intensität (Leistung) des Spektrums in  $\text{ms}^2$  pro 5 Minuten Aufzeichnung (Eller-Berndl, 2015: 25).

Farbe	Leistung
Hellblau	$> 1200 \text{ ms}^2$
Mittelblau	$> 400 \text{ ms}^2$
Dunkelblau	$> 320 \text{ ms}^2$
Dunkelrot	$> 240 \text{ ms}^2$
Hellrot	$> 180 \text{ ms}^2$
Orange	$> 60 \text{ ms}^2$
Gelb	$> 30 \text{ ms}^2$
Weiss	$> 10 \text{ ms}^2$
Grau	$= 0 \text{ ms}^2$

**Tabelle 6: Farbskala Spektrogramm (Lohninger, 2017: 405)**

Hinweis: Manche HRV-Parameter aus dem Zeit- und Frequenzbereich sind eng miteinander verbunden (siehe: Tabelle 7) (Bortfeldt & Hoos, 2016: 36).

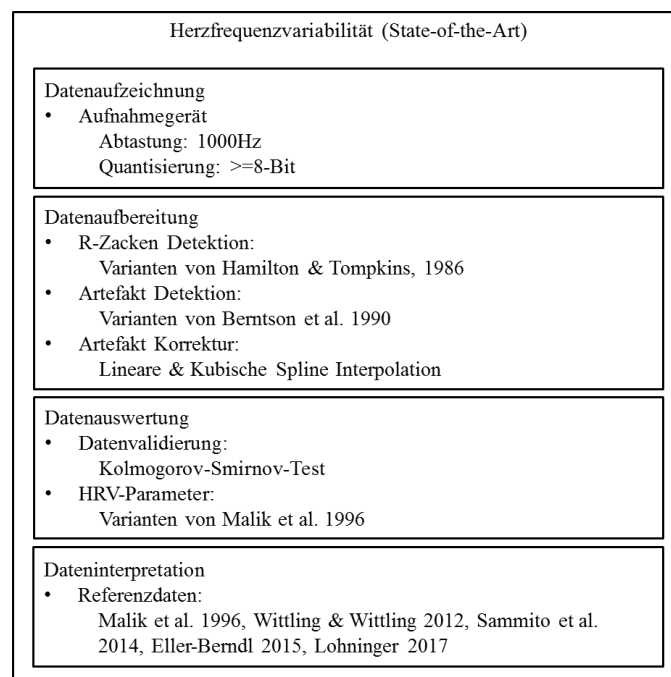
Zeitbereich	Frequenzbereich
SDNN	Total Power
RMSSD	HF

**Tabelle 7: Vergleichbare Parameter aus dem Zeit- und Frequenzbereich (Bortfeldt & Hoos, 2016: 36)**

Aufgrund ihrer Robustheit gegenüber Artefakten und ihrer besseren Reproduzierbarkeit, empfehlen die Autoren Bortfeldt & Hoos (2016: 36) in der Praxis die HRV-Parameter aus dem Zeitbereich zu verwenden.

## 5.6 Zusammenfassung HRV (State-of-the-Art)

Sammito und Böckelmann (2015: 78) merken an, dass in der HRV-Literatur keine einheitlichen Richtlinien für Studiendurchführungen vorhanden sind. Es werden z.B. verschiedene Aufzeichnungsdauern oder unterschiedliche Anzahlen an RR-Intervallen ausgewertet. Die beiden Autoren mahnen, dass eine Vergleichbarkeit der Studien somit schwierig sei und die Ergebnisse massgeblich verfälscht werden können. Aus diesem Grund wurde entschieden, die verwendeten Methoden offenzulegen. Die Abbildung 17 fasst für die in Kapitel 5 genannten Prozessschritte der HRV-Analyse den heutigen Stand der Technik zusammen:



**Abbildung 17: State-of-the-Art der Prozessschritte der HRV**



## 6 Stress (State-of-the-Art)

Die Arbeit möchte ein Kennzahlensystem entwickeln, welches die chronische Stressbelastung von Mitarbeitern bestimmen soll. In der Literatur finden sich verschiedene Definitionen zu Stress. Die vorliegende Arbeit orientiert sich an den Vorgaben von Eller-Berndl (2015: 219 ff). Der Grund für diese Wahl ist, dass die Autorin in ihrem Lehrbuch die Auswirkungen von Stress auf die HRV ausführlich beschreibt und somit ein direkter Themenbezug zur vorliegenden Arbeit besteht.

### 6.1 Definition Stress

Stress ist eine überlebensnotwendige Reaktion des Körpers, um auf lebensbedrohliche Situationen reagieren zu können (Eller-Berndl, 2015: 219). In erster Linie flüchten wir und falls dies nicht möglich ist, stellen wir uns dem Kampf (Flight oder Fight ist ein Urinstinkt) (Eller-Berndl, 2015: 219). Eller-Berndl (2015: 219) schreibt, dass akuter Stress eine Form von Stress sei, für die wir gebaut worden seien. Stress könne sich auch positiv auf das Befinden, die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit auswirken (Eller-Berndl, 2015: 219). Erst wenn eine Person ständigem Stress (chronischem Stress) ausgesetzt werde, führe dies zu einer Erschöpfung des Körpers (Eller-Berndl, 2015: 219). Dabei komme es zu einer anhaltenden Sympathikusaktivierung, welche über Monate bis Jahre andauern könne (Eller-Berndl, 2015: 219). Wie der chronische Stress verarbeitet werde, hänge von verschiedenen Faktoren ab: Genetik, epigenetische Prägung, erlerntes Verhalten und Erfahrung in erster Linie vom Mehrverbrauch der Botenstoffe (Hormone) und dem verbleibenden „Botenstoffmix“ (Eller-Berndl, 2015: 220). Der „Botenstoffmix“ entscheide, ob der chronische Stress zu aggressivem, ängstlichen oder depressivem Verhalten führe (Eller-Berndl, 2015: 220). In diesem Stadium komme es zu einer Sympathikusaktivierung, was zu einer verringerten HRV führe (Eller-Berndl, 2015: 219).

Wenn man sich die Phasen des chronischen Stresses bildlich vorstelle, entsprechen diese einer Spirale, die sich im Lauf der Zeit immer enger drehe (Eller-Berndl, 2015: 221). Die Spirale dreht sich von oben nach unten (Eller-Berndl, 2015: 221):

- Ehrgeiz
- Hoher Einsatz
- Zurückstellen eigener Bedürfnisse
- Abnehmende Flexibilität
- Chronische Übermüdung
- Überlastung
- Schlafstörungen

- Orientierungslosigkeit
- Gedächtnisstörungen
- Zynische Haltung
- Abwehr von Kritik
- Emotionaler Rückzug
- Angstgefühle
- Suchtverhalten
- Gefühl der Sinnlosigkeit
- Desinteresse
- Totale Erschöpfung
- Körperlicher Zusammenbruch

Hinweis: Im fortschreitenden Alter und bei gewissen Krankheitsbildern besteht eine besondere Stresssensibilität (Eller-Berndl, 2015: 221). Als Beispiele werden genannt: Depression, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes oder metabolischem Syndrom (Vorstufe von Diabetes Typ2) (Eller-Berndl, 2015: 221).

Das Burn-out-Syndrom ist das Ende eines langen Weges und zeigt einen stadienhaften Verlauf (in chronologischer Reihenfolge) (Eller-Berndl, 2015: 222):

1. Der Zwang, sich zu beweisen
2. Verstärkter Einsatz
3. Vernachlässigung eigener Bedürfnisse
4. Verdrängung von Konflikten
5. Umdeutung von Werten
6. Leugnung der Probleme
7. Rückzug
8. Beobachtbare Verhaltensänderung
9. Depersonalisation
10. Innere Leere
11. Depression
12. Völlige Erschöpfung

Betroffene versuchen die ersten Phasen des Burn-out-Syndroms gegenüber ihren Angehörigen, Freunden oder Mitarbeitern zu verheimlichen, schliesslich müsse man gegenüber seiner Umwelt einfach „funktionieren“ (Eller-Berndl, 2015: 222). Die Umwelt nimmt die ersten Anzeichen erst wahr, wenn sich die Betroffenen aus dem Familien- und Freundkreis zurückziehen (Eller-Berndl, 2015: 222). Die „Depersonalisierung“ zeigt sich bei den Betroffenen durch mangelndes Mitgefühl oder Zynismus (Eller-Berndl, 2015: 222). Die letzte Stufe des Burn-outs wird durch den noch vorhandenen „Botenstoffmix“ in den Betroffenen bestimmt (Eller-Berndl, 2015: 222).

Dabei können die Betroffenen eher durch Depression, Selbstzweifel und Schuldgefühle oder durch Aggression, Intoleranz und Ressentiments geprägt sein (Eller-Berndl, 2015: 222).

Die Folgen der chronischen Stressbelastung (in chronologischer Reihenfolge) (Eller-Berndl, 2015: 222) sind:

1. Chronisches Überbelastungssyndrom: Parasympathikusschwäche im HF- Bereich,  $\log(LF/HF)$  deutlich  $>0,5$ , meist  $> 1$  (Eller-Berndl, 2015: 222).
2. Burn-out-Syndrom: eingeschränkte Gesamtvariabilität,  $\log(LF/HF)$  auf niedrigem Niveau ausgeglichen (Eller-Berndl, 2015: 222).

Bei einer Behandlung des Burn-out-Syndroms kehrt sich der Verlauf um (Eller-Berndl, 2015: 222). Das bedeutet, dass sich der Patient im Idealfall vom Burn-out-Syndrom über das Stadium des chronischen Belastungssyndrom zurück zur Normalität entwickelt (Eller-Berndl, 2015: 222). Dabei kehrt die Aktivität im VLF- und LF-Bereich (Frequenzbasierte HRV-Parameter) relativ rasch zurück, während der Parasympathikus im HF-Bereich längere Zeit Erholung benötigt und in einigen Fällen auch reduziert bleibt („Narbe nach dem Burn-out“) (Eller-Berndl, 2015: 223).

## 6.2 Chronische Stressbelastung

Die chronische Stressbelastung, zeichnet sich in der HRV-Analyse meist durch eine erhaltene Parasympathikusaktivität aus (Eller-Berndl, 2015: 224). Der Parasympathikus versucht auch tagsüber immer wieder eine Erholungsphase einzuleiten, was als Müdigkeit wahrgenommen wird und im Erfolgsfall zu einer effektiven Pause oder einem Kurzschlaf führt (Eller-Berndl, 2015: 224).

## 6.3 Burn-out

Die Kennzeichen des Burnouts in der HRV-Analyse sind (Eller-Berndl, 2015: 234):

- Verringerte Gesamtvariabilität
- Verminderung der Aktivität im HF- und LF-Bereich
- Verlust der Schlafarchitektur
- Mangelnde nächtliche Pulsabsenkung
- Generell erhöhte Pulsrate

Hinweis: Die oben genannten Kennzeichen unterscheiden sich nicht von einer fortgeschrittenen kardiovaskulären autonomen Neuropathie (Nervenschäden am Herz ausgelöst durch Diabetes)

(Eller-Berndl, 2015: 234). Deshalb ist es für eine Beurteilung der HRV essenziell, die Einflussfaktoren aus Kapitel 5.5 zu kennen und bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

### Verringerte Gesamtvariabilität

Die Gesamtvariabilität kann durch zwei HRV-Parameter ausgedrückt werden:

- SDNN (Zeitbereich): Die SDNN ist Standardabweichung aller RR-Intervalle (Eller-Berndl, 2015: 29).
- Total Power (Frequenzbereich): Die Total Power (TP) entspricht der Leistung im gesamten Spektrum (Eller-Berndl, 2015: 40). Die Leistung wird berechnet aus der Summe der Frequenzbänder: ULF, VLF, LF und HF ( $\text{ms}^2$ ).

Die Gesamtvariabilität nimmt ab, wenn die Werte der HRV-Parameter SDNN (ms) oder die TP ( $\text{ms}^2$ ) abnehmen.

### Verminderung der Aktivität im HF- und LF-Bereich

Die beiden Bereiche sind Frequenzbänder, welche im Spektrogramm (siehe: Abbildung 18) einfach abgelesen werden können:

- High Frequency, HF-Band (rot): 0.15 bis 0.4Hz (Eller-Berndl, 2015: 32). Das HF-Band wird vom Parasympathikus aktiviert (Eller-Berndl, 2015: 41).
- Low Frequency, LF-Band (grün): 0.04 bis 0.15Hz (Eller-Berndl, 2015: 32). Das LF-Band wird von Sympathikus und Parasympathikus aktiviert (Eller-Berndl, 2015: 41).

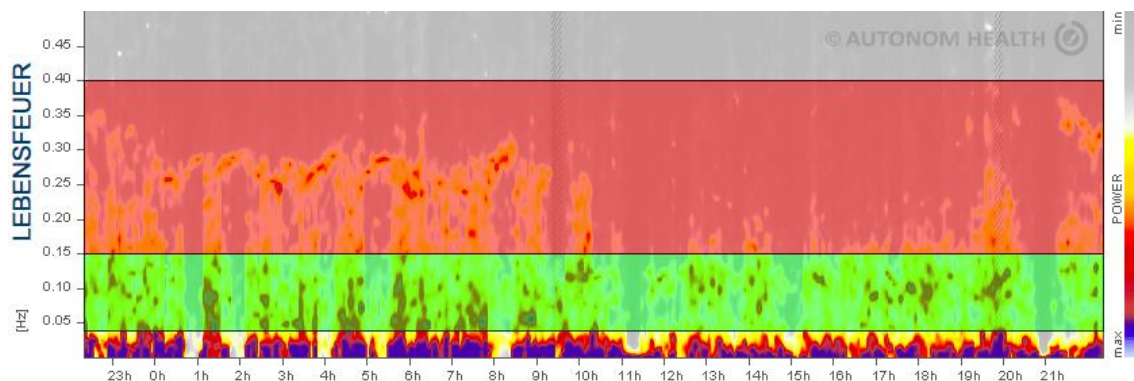


Abbildung 18: LF- und HF-Band in Anlehnung an Autonom Health (2017)

Die LF- und HF-Bänder nehmen ab, wenn ihre gleichnamigen HRV-Parameter LF ( $\text{ms}^2$ ) und HF ( $\text{ms}^2$ ) abnehmen.

Hinweis: Das LF-Band wird vom Sympathikus und Parasympathikus beeinflusst (Eller-Berndl, 2015: 41). Somit kann das LF-Band nicht als isoliertes Mass der Aktivierung des Sympathikus

verwendet werden. Beim HF-Band ist die Sachlage eindeutiger, dieses wird durch den Parasympathikus alleine beeinflusst.

### Verlust der Schlafarchitektur

Die Schlafarchitektur, in der Literatur als „rapid eye movement“ oder REM bezeichnet, beeinflusst die Schlaftiefe (Eller-Berndl, 2015: 83). Im Schlaf kommt es in 90- bis 120-minütigen Abständen zu einem hoch-aktiven Zustand des Gehirns, der von schnellen Augenbewegungen und einer Erschlaffung der übrigen Muskeln begleitet ist (Eller-Berndl, 2015: 83).

Folgende Schlafstadien sind bekannt:

- Das Stadium I bezeichnet den leichten und oberflächlichen Schlaf (Eller-Berndl, 2015: 83).
- Das Stadium II entspricht der Einschlafphase und macht etwa 50 Prozent der gesamten Schlafzeit aus (Eller-Berndl, 2015: 83).
- Die Stadien III & IV sind die Tiefschlafphasen (Eller-Berndl, 2015: 83).

Die Stadien I-IV werden als Non-REM (NREM)-Schlaf zusammengefasst und dem REM-Schlaf gegenübergestellt (Eller-Berndl, 2015: 83).

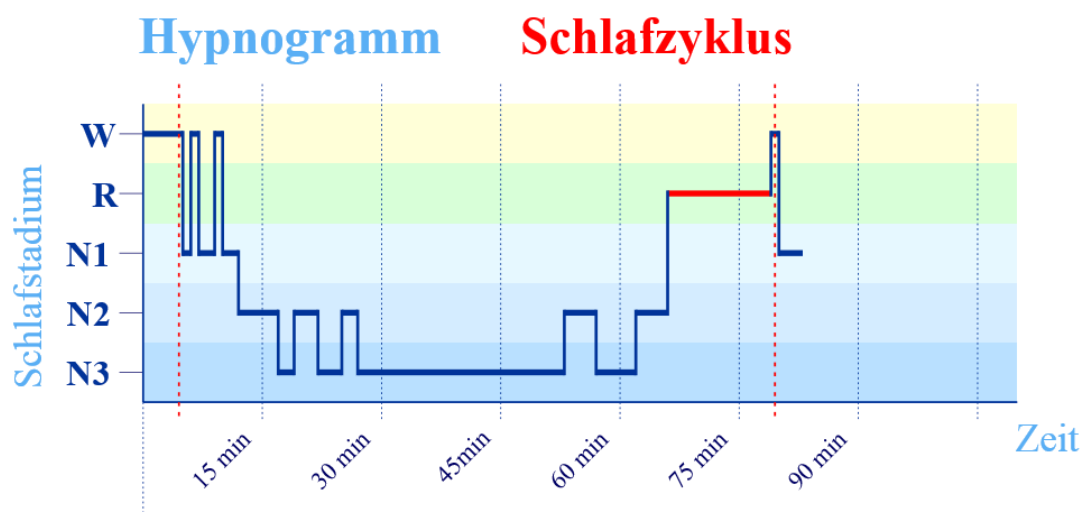


Abbildung 19: Schlafstadien über die Zeit (Schlafgut, 2013)

In Abbildung 19 sind die verschiedenen Schlafstadien für eine Episode abgebildet:

- Wachzustand (W): Herzfrequenz, Sympathikus, Parasympathikus (Eller-Berndl, 2015: 88).
- R (REM): leicht erhöhte Herzfrequenz, Sympathikus-Dominanz, verringerte parasympathische Modulation (Eller-Berndl, 2015: 88).

- NON-REM (N1-3): Verringerte Herzfrequenz, parasympathische Dominanz, Abnahme der Sympathikus Modulation (Eller-Berndl, 2015: 88).

Über die Nacht verteilt treten bei einem Erwachsenen drei bis fünf REM-Schlafepisoden auf, die gegen Ende der Nacht immer länger werden (Eller-Berndl, 2015: 84)

Der Verlust der Schlafarchitektur bedeutet, dass die verschiedenen Stadien nicht mehr durchlebt werden und auf dem Spektrogramm somit nicht mehr ersichtlich sind.

### **Mangelnde nächtliche Pulsabsenkung**

Die mangelnde nächtliche Pulsabsenkung ist eng gekoppelt mit dem oben beschriebenen Verlust der Schlafarchitektur. Beim Einschlafen sollte die Herzfrequenz wannenförmig absinken (Eller-Berndl, 2015: 86).

Eine mangelnde nächtliche Pulsabsenkung zeichnet sich aus durch eine, über die gesamte Schlafdauer durchgehende Herzfrequenz  $> 60/\text{min}$  aus (Eller-Berndl, 2015: 234).

### **Generell erhöhte Pulsrate**

Bei einer erhöhten Pulsrate entstehen mehr Herzschläge. Im Kontext des Burn-outs-Syndrom bedeutet dies, dass bei Betroffenen deutlich mehr als 100'000 Herzschläge in 24h gemessen werden (Eller-Berndl, 2015: 234).

## **6.4 Wesentliche Faktoren**

Die wesentlichen Faktoren, die einen negativen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit des ANS ausüben, sind (Wittling & Wittling, 2012: 241–242):

- Hohe Arbeitsleistung, Arbeitsüberlastung, Überengagement
- Empfundene Ungerechtigkeit
- Mangelnde Anerkennung der Leistung
- Überzogene eigene Ansprüche
- Mangelnde Unterstützung
- Nacht- und Schichtarbeit
- Physikalische und chemische Einwirkungen wie Lärm oder toxische Stoffe

## 7 Analyse

Der Prozessschritt Analyse ist in vier Teilschritte gegliedert.

- Anforderungsquellen Kennzahlensystem: Im ersten Schritt werden die Anforderungsquellen an das Kennzahlensystem beschrieben.
- Festlegung Durchführungsparameter: Im zweiten Teilschritt werden die Durchführungsparameter festgelegt. In diesem Schritt wird dargelegt, wie die HRV-Analyse und ihre Teilschritte (Datenaufzeichnung, Datenaufbereitung, Datenauswertung & Dateninterpretation) im Detail umgesetzt werden.
- Festlegung Stressbestimmungsparameter: Im dritten Teilschritt werden die HRV-Parameter definiert, welche für eine Stressbestimmung nötig sind.
- Durchführung exemplarische Datenerhebung: Im letzten Schritt wird die Durchführung der Datenerhebung beschrieben. Die erhobenen Daten dienen als Testdaten für das zu entwickelnde Kennzahlensystem.

### 7.1 Anforderungsquellen Kennzahlensystem

Die Analyse hat ergeben, dass es folgende Anforderungsquellen gibt: die Design Science, die Forschungsfrage, die Methoden aus der HRV und Stressmedizin (siehe: Abbildung 20), welche das zu entwickelnde Kennzahlensystem direkt beeinflussen.

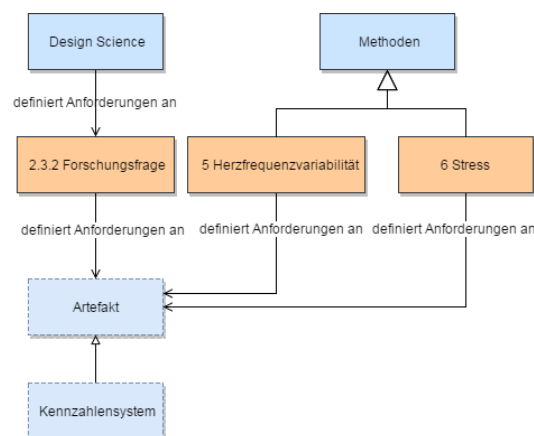


Abbildung 20: Anforderungsquellen an das zu entwickelnde Kennzahlensystem

Die Design Science stellt Anforderungen an die Durchführung einer wissenschaftlichen Arbeit sowie an die verwendeten Methoden und hat somit auch einen zentralen Einfluss auf die Auslegung der Forschungsfrage.

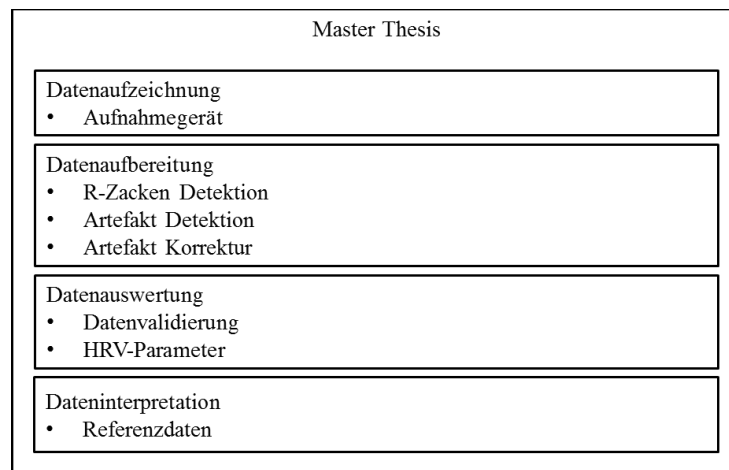
Die Forschungsfrage hat das Ziel eine Fragestellung vorzugeben, welche beantwortet werden und somit eine Lücke in der Wissenschaft schliessen soll. Diese zu untersuchende Lücke ist in

der vorliegenden Arbeit, dass kein Kennzahlensystem existiert, welche mit objektiven Eingangsgrößen die Stressbelastung einer Personengruppe beschreiben kann.

Das Kennzahlensystem soll Methoden aus der HRV und der Stressforschung verwenden. Die Methoden wurden in den Kapiteln 5 Herzfrequenzvariabilität und 6 Stress beschrieben.

## 7.2 Festlegung der Durchführungsparameter

Um eine HRV-Analyse durchzuführen, sind gemäss des erarbeiteten State-of-the-Art aus Kapitel 5 vier Schritte notwendig: Datenaufzeichnung, Datenaufbereitung, Datenauswertung & Dateninterpretation (siehe: Abbildung 21).



**Abbildung 21: Übersicht der Master-Thesis Durchführungsparameter**

In diesem Unterkapitel wird begründet, wie und warum die einzelnen Schritte und Durchführungsparameter auf die Arbeit angewendet werden.

Folgende Durchführungsparameter müssen definiert werden (einzelne Schritte aus der HRV-Analyse):

- Welches Aufnahmegerät wird für die Testdaten-Aufzeichnung verwendet?
- Welcher Algorithmus wird für die R-Zacken-Detektion auf die Testdaten angewendet?
- Welcher Algorithmus wird für die Artefakt-Detektion auf die Testdaten angewendet?
- Welcher Algorithmus wird für die Artefakt-Korrektur auf die Testdaten angewendet?
- Wie werden die Testdaten validiert?
- Welche HRV-Parameter werden für die Entwicklung des Kennzahlensystems berücksichtigt?
- Welche Referenzdaten werden für die Interpretation zu Rate gezogen?



## 7.2.1 Umsetzung der Datenaufzeichnung

### Wahl des Aufnahmegeräts

Die Autoren Wittling & Wittling (2012: 154) empfehlen ein EKG-Aufnahmegerät, das die tatsächliche Form des EKGs aufzeichnet. Sie mahnen, dass das bei den meisten Brustgurten nicht der Fall ist, da sie nur RR-Intervalle liefern. Der Grund für diese Empfehlung ist, dass es bei solchen Geräten keine Möglichkeit gibt, die Originalaufzeichnung des EKGs zu sichten und zu vergleichen, ob der QRS-Detektor gute Arbeit geleistet hat. Es wird lediglich das Ergebnis der Verarbeitung, die RR-Intervalle ersichtlich. Das EKG-Signal enthält weitere wertvolle Informationen für den Mediziner, z.B. kann es Auskunft über verschiedene Krankheiten geben. Im Kontext dieser Arbeit ist diese Anforderung nicht zwingend einzuhalten. Das zu entwickelnde Kennzahlensystem soll in einem Unternehmen ausschliesslich zur Stresserhebung zur Anwendung kommen und nicht als allgemeines Diagnoseinstrument für die Mitarbeiter. Aus Sicht des Unternehmens ist es aufgrund des grossen Zeitaufwands nicht wirtschaftlich, die Original-EKG-Aufzeichnungen vor der Auswertung, jedes Mitarbeiters visuell zu überprüfen. Des Weiteren sind solche Geräte nach medizinischen Standards ausgelegt worden, weshalb sie teurer sind als Geräte, welche die Aufzeichnungsfunktion nicht anbieten. Es ist deshalb anzunehmen, dass ein Unternehmen die günstigeren Geräte einkaufen wird, solange es von der Aufzeichnungsfunktion keinen Gebrauch machen wird.

Als eine gute Alternative hat sich der Pulsgurt H7 von Polar (2015) erwiesen. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass Pulsgurte von Polar (2015) im Gegensatz zu einem Elektrokardiografen (EKG-Signal-Aufnahmegerät) nur eine geringe Abweichung der Messwerte besitzen, wenn sich die Probanden im Ruhezustand befinden (Giles et al., 2016: 564). Giles et al. (2016: 563) kamen zum Schluss, dass sich der Pulsgurt H7 im Vergleich zu den Vorgängermodellen verbessern konnte und sich bei Probanden im Ruhezustand als Alternative zu den herkömmlichen EKG-Geräten für die HRV-Analyse eignet. Die Autoren Hoos et al. (2006) haben den Vorgänger des H7 auf den Prüfstand gestellt. Sie haben die Probanden mit dem Vorgängermodell (Polar S810i System) ausgerüstet und diese auf einem Laufband bei verschiedenen Laufgeschwindigkeiten ausgemessen und mit einem normalen EKG-Gerät verglichen. Das Ergebnis der Studie war, dass verglichen mit unter Ruhebedingungen ausgemessenen Probanden, eine vermehrte Artefakthäufigkeit auftreten kann, (Hoos et al., 2006: 194). Bei den entstandenen Bewegungsartefakten handelte es sich vor allem um Missing Beats (Hoos et al., 2006: 195). Missing Beats weichen von den vorhergehenden und nachfolgenden RR-Intervallen markant ab und sind für einen Artefakt-Detektions-Algorithmus (relativ) einfach zu identifizieren. Deshalb wird der Polar H7 Pulsgurt für die Aufzeichnung der RR-Intervalle als für die Untersuchung geeignet eingestuft. Die Resultate der Evaluation von Altini (2013) bekräftigen diese Entschei-

derung. In dieser Studie wurde eine einstündige Trainingsaufzeichnung (Lauftraining) untersucht und mit einem EKG-Messgerät verglichen. Das Resultat der Korrelation mit dem Referenz-EKG-Signal wurde als „almost perfect“ bezeichnet (Altini, 2013).

Hinweis: Der Pulsgurt H7 besitzt eine Abtastrate von 1000Hz und erfüllt somit die Anforderungen von Wittling & Wittling (2012: 148).

Der Pulsgurt H7 besitzt eine Bluetooth-Schnittstelle. Smartphones mit Bluetooth Schnittstelle und genügend Speicherplatz für die Aufzeichnung sind heute weit verbreitet. Aus diesem Grund wurde entschieden, diese Kombination zu wählen. Als geeignete App wurde die EliteHRV-App (2016) befunden, da sie auf den gängigen Mobiltelefon-Betriebssystemen läuft, die Möglichkeit bietet, die aufgezeichneten Daten für die weitere Analyse auf den PC zu transferieren und die Benutzeroberfläche auch für ungeübte Benutzer einfach zu verstehen ist. Die Daten werden nach jeder Aufzeichnung in einer Cloud im Internet gespeichert. So kann sichergestellt werden, dass bei einem Verlust oder Defekt des Mobiltelefons die bisherigen Aufzeichnungen nicht verloren sind. Da die Probanden in ihrer „natürlichen Umgebung“ vermessen werden, können bei einer 15-tägigen Dauer der Untersuchung mögliche mechanische Defekte, sowie durch Software-Fehler induzierte Defekte (z.B. nach einem Update) am Mobiltelefon nicht ausgeschlossen werden.

Hinweis: Als gängige Mobiltelefon-Betriebssysteme werden in dieser Arbeit iOS und Android bezeichnet. Im Q4 2016 wurden in 99.6% (81.7% Android und 17.9% iOS) der Fälle ein Smartphone mit einem der beiden Betriebssysteme verkauft (Vincent, 2017).

## **7.2.2 Umsetzung der Datenaufbereitung**

### **Wahl des R-Zacken-Detektions-Algorithmus**

Der Pulsgurt H7 besitzt einen integrierten R-Zacken-Detektions-Algorithmus. Dies bedeutet, dass das ursprüngliche EKG-Signal nur temporär aufgezeichnet wird und der Pulsgurt nur die detektierten RR-Intervalle zum Smartphone übermittelt. Der integrierte R-Zacken-Algorithmus im Pulsgurt H7 ist unbekannt. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass es sich um eine verbesserte Version des QRS-Detektions-Algorithmus handelt, welcher von Loimaala et al. (1999) in Zusammenarbeit mit Polar (2015) evaluiert wurde. In ihrer Studie kamen sie zum Schluss, dass der QRS-Detektions-Algorithmus so genau sei, wie der eines EKG-Aufzeichnungsgeräts (Loimaala et al., 1999: 86).

## **Wahl des Artefakt detektions- & Korrektur-Algorithmus**

Im Kapitel 5 wurde definiert, dass bei der Artefakt-Detektion, der Algorithmus von Berntson et al. (1990) angewendet wird. Es wurde definiert, dass bei der Artefakt-Korrektur üblicherweise die lineare und kubische Spline-Interpolation zum Zuge kommen.

Peltola (2012: 8) empfiehlt eine detaillierte Offenlegung der verwendeten Algorithmen, damit Studien miteinander verglichen werden können. Die Wahl fiel deshalb auf die Software ARTiiFACT v2 (2013), welche von Kaufmann et al. (2011) entwickelt wurde. Die Software ist frei verfügbar, implementiert den Artefakt-Detektions-Algorithmus von Berntson et al. (1990) und bietet die Möglichkeit, die Artefakte mittels linearer oder kubischer Spline-Interpolation zu korrigieren. Daneben besteht auch die Möglichkeit, jeden Schritt, von der Artefakt-Detektion bis zur Berechnung der HRV-Parameter einzeln auszuführen (Kaufmann et al., 2011: 1161). Somit haben Kaufmann et al. (2011: 1161) ein für die Forschergemeinde frei verfügbares Instrument geschaffen, welches die Möglichkeit bietet, Studien rund um die HRV miteinander zu vergleichen.

## **7.2.3 Umsetzung der Datenauswertung**

### **Wahl der Datenvalidierungsmethoden**

Die erfassten Daten werden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf die Normalverteilung geprüft. Die Software ARTiiFACT v2 (2013) unterstützt die Berechnung dieser Kennzahl.

### **Wahl der HRV-Methode**

Zur Berechnung der HRV-Parameter stehen drei Methoden zur Auswahl (Sammito et al., 2014: 12):

- Zeitbezogene Methoden
- Frequenzbezogene Methoden
- Nicht-lineare Methoden

Für die Berechnung von HRV-Parametern aus dem Frequenzbereich wird eine lückenlose RR-Intervall-Folge vorausgesetzt (Pfister et al., 2007: 163). Die Probanden müssen sich in einem eingeschwungenen Herz-Kreislauf-Zustand befinden, was einer Quasistationarität der Daten entspricht (Pfister et al., 2007: 163). Die (Quasi-)Stationarität ist eine Grundvoraussetzung, damit die Daten mit einer FFT (Fast Fourier Transformation) analysiert werden können (Sammito & Böckelmann, 2015: 80). Damit diese Voraussetzung gegeben ist, müssen sich die Probanden in einem eingeschwungenen Herz-Kreislauf-Zustand befinden, was aber bei Belastungs-

änderungen nicht immer gegeben ist (Pfister et al., 2007: 164). Da die Probanden bei ihren normalen Tätigkeiten während des Tages und der Nacht aufgezeichnet werden, kann nicht gewährleistet werden, dass sie sich zum Interessenszeitpunkt in einem eingeschwungenen Herz-Kreislauf-Zustand befinden. Hinzu kommt, dass die geforderte lückenlose RR-Intervall-Reihe zum Interessenszeitpunkt nicht garantiert werden kann. Aufgrund der erwähnten Argumente wird von einer Verwendung der HRV-Parameter aus dem Frequenzbereich abgesehen.

Sammito & Böckelmann (2015: 82) merken kritisch an, dass die Interpretation der HRV-Parameter, welche mit nicht-linearen Methoden berechnet wurden, unklar ist. Die unklare Interpretation der errechneten HRV-Parameter werten die beiden Autoren als klaren Nachteil, weshalb auf die Verwendung von nicht-linearen Methoden in der Arbeit verzichtet wird.

Die dritte Variante betrifft die Methoden aus dem Zeitbereich. Der Vorteil der zeitbezogenen statistischen Auswertung der HRV-Parameter liegt in der besseren prognostischen Vorhersehbarkeit der HRV-Parameter (Sammito & Böckelmann, 2015: 78). Sie sind robuster gegen Artefakte (Bortfeldt & Hoos, 2016: 36) und können auch auf lückenbehaftete Daten angewendet werden. Deshalb werden für die Entwicklung des Kennzahlensystems nur Methoden aus dem Zeitbereich berücksichtigt.

## **7.2.4 Umsetzung der Dateninterpretation**

### **Wahl der Referenzdaten**

Bei der Wahl der HRV-Analyse-Methode stellte sich heraus, dass aufgrund der Datenlage und Datenqualität sich das zu entwickelnde Kennzahlensystem auf zeitbezogene Methoden stützen sollte. Aus diesem Grund werden nur Referenzdaten für HRV-Parameter berücksichtigt, welche aus zeitbezogenen Methoden berechnet wurden.

Der prominenteste HRV-Parameter ist der SDNN, welcher die Standardabweichung der RR-Intervalle beschreibt (Eller-Berndl, 2015: 29). Der SDNN-Parameter kann wie folgt interpretiert werden: Je höher die SDNN, desto grösser die Variabilität (Lohninger, 2017: 60). Eine hohe Variabilität deutet auf ein gutes Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus hin (Lohninger, 2017: 60). Zu beachten gilt es, dass die SDNN nur bei gleicher Messdauer und ähnlichen Aktivitäten verglichen werden darf (Eller-Berndl, 2015: 29). Umso höher der Aktivitätslevel, desto höher ist die daraus resultierende SDNN (Eller-Berndl, 2015: 29).

## 7.2.5 Zusammenfassung der Durchführungsparameter

Die gewählten Durchführungsparameter wurden in der folgenden Abbildung 22 illustriert.

Master Thesis	
Datenaufzeichnung • Aufnahmegerät	Pulsgurt Polar H7 & EliteHRV App • Abtastrate: 1000Hz • Quantisierung: Unbekannt • R-Zacken-Detektion: Unbekannt
Datenaufbereitung • R-Zacken Detektion • Artefakt Detektion • Artefakt Korrektur	ARTiiFACT v2 (2013) • Artefakt Detektion: Berntson et al. 1990 • Artefakt Korrektur: Linear & Kubische Interpolation • Datenvalidierung: Kolmogorov-Smirnov-Test
Datenauswertung • Datenvalidierung • HRV-Parameter	• HRV-Parameter: Zeitbezogene • Referenzdaten: Zeitbezogene
Dateninterpretation • Referenzdaten	

**Abbildung 22: Zusammenfassung der gewählten Durchführungsparameter**

Das gewählte Aufzeichnungssystem ist der Pulsgurt H7 von Polar (2015). Die Daten werden mittels Bluetooth an die Smartphone App EliteHRV (2016) übermittelt und dort gespeichert. Für die Artefakt-Behandlung, Artefakt-Korrektur und Datenvalidierung wird die Software ARTiiFACT v2 (2013) eingesetzt. Die Methoden für die Berechnung der HRV-Parameter basieren auf denjenigen des Zeitbereichs.

## 7.3 Durchführung der Datenerhebung

Für die exemplarische Anwendung des zu entwickelnden Kennzahlensystems wurden reale Daten erhoben. Das Ziel ist, die Praktikabilität der Datenerhebung mittels Pulsgurt und der daraus resultierenden Datenqualität untersuchen zu können.

Es wurden Daten von einer Probandengruppe (N=7, alle männlich,  $38 \pm 11$  Jahre alt) aus dem gleichen Unternehmen und der gleichen Abteilung über einen Zeitraum von 15 Tagen à 24 Stunden erhoben. Die Probanden gehen alle einer administrativen Tätigkeit im Büro nach, bei der keine schweren körperlichen Tätigkeiten anfallen. Die Aufzeichnung fand mit dem Pulsgurt H7 von Polar statt (2015), der die Daten über Bluetooth an die Smartphone-App EliteHRV (2016) übermittelt.

Die Probanden mussten vor und nach der Datenerhebung zwei Fragebögen ausfüllen:

- Perceived Stress Questionnaire, PSQ-30 deutsche Version, von Fliege et al. (2001) entwickelt: Mit dem Fragebogen kann der wahrgenommene Stress (subjektive Selbsteinschätzung) der Probanden erfasst werden (Fliege et al., 2001). Der Fragebogen wurde ursprünglich in Englisch von Levenstein et al. (1993) entwickelt und dann von Fliege et al. (2001) auf Deutsch übersetzt. In verschiedenen Studien konnte die Validität des Fragebogens bewiesen werden. Unter anderem konnten Kocalevent et al. (2007) anhand einer repräsentativen Stichprobe der Deutschen Bevölkerung (N=2552) die Validität des Instruments unterstreichen. Da es bei der Interpretation der Ergebnisse kulturelle Unterschiede geben kann (Kocalevent et al., 2007: 79–80), wurde der deutsche Fragebogen für die Untersuchung ausgewählt. Es wurde angenommen, dass die kulturellen Unterschiede vernachlässigt werden können, da die Studie in Deutschland ausgeführt wurde und vier der sieben Probanden in Deutschland wohnhaft sind und die restlichen drei Probanden in der Schweiz.
- Fragebogen zur HRV-Messung, von Eller-Berndl (2015: 240–241) entwickelt: Der Fragebogen erfasst die wichtigsten Einflussfaktoren der HRV-Analyse und findet in der praktizierenden Medizin seine Anwendung (Eller-Berndl, 2015: 239). Damit die Ergebnisse der HRV-Parameter interpretiert werden können, muss die Vielzahl an Einflussfaktoren beachtet werden, weshalb diese mit einem Fragebogen systematisch erfasst wurden.

Die beiden Fragebögen mussten vor und nach der Datenerhebung von den Probanden ausgefüllt werden. Damit sollte festgestellt werden, ob sich der wahrgenommene Stress und die Einflussfaktoren auf die Probanden während der Untersuchungsdauer verändert haben.

Während der Datenerhebung mussten die Probanden täglich (morgens/mittags/abends, sowie Samstag und Sonntag) einen Fragebogen ausfüllen, in dem sie folgende Angaben machen mussten:

- Morgens mussten die Probanden notieren, um welche Uhrzeit sie am Vorabend ins Bett gegangen waren und wann sie am Morgen aufgestanden waren. Weiter wurde nachgefragt, ob sie sich fit und gesund fühlten.
- Mittags mussten die Probanden die Daten von der App auf ihren Computer exportieren und dies im Fragebogen bestätigen.
- Abends (an Arbeitstagen) mussten die Probanden vor dem Verlassen der Firma eine Selbsteinschätzung des erlebten Stresses und eine Fremdeinschätzung ihrer Arbeitskollegen einholen. Die Arbeitskollegen mussten aus ihrer Sicht beurteilen wie stark gestresst sie ihren Kollegen heute erlebt haben. Weiter mussten die Probanden jeden Abend kurz vor ins Bett gehen angeben, ob sie an diesem Tag Sport getrieben haben und beim Partner/-in oder Mitbewohner/-in eine weitere Fremdeinschätzung einholen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind der Schlaf und die Schlafqualität ein Indiz für die mentale Anspannung (Eller-Berndl, 2015: 254). Die Selbst- und Fremdeinschätzung des erlebten Stresses soll, ergänzend zur Messung, ein zusätzliches Indiz über die chronische Stressbelastung des Probanden geben. Starke Bewegungen verursachen Bewegungsartefakte (Hoos et al., 2006: 189), weshalb die Probanden angeben mussten, von wann bis wann sie Sport getrieben haben, damit die Aufzeichnungen später bei der Analyse in diesem Zeitfenster genauer auf Artefakte untersucht werden können.

Zusätzlich zum täglichen Fragebogen mussten die Probanden ein Stress-Tagebuch führen. In diesem mussten sie die Uhrzeit notieren, wann sie sich einer stressigen Situation oder einem stressigen Gespräch ausgesetzt fühlten.

### **Zusätzliche Anweisungen an die Probanden**

Die Probanden waren angehalten die laufende Aufzeichnung jeweils morgens beim Aufstehen, kurz vor der Mittagspause und Abends kurz vor dem ins Bett gehen, zu sichern, die Brustgurte mit Kontaktgel frisch zu befeuchten, die Aufzeichnung wieder zu starten und im täglichen Fragebogen diese Tätigkeit zu quittieren. Beim Duschen mussten die Probanden den Pulsgurt ausziehen. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Haut, welche vom Pulsgurt überdeckt war, gereinigt wird und dass die Probanden den Pulsgurt wieder sauber anbringen (inkl. Auftragen des Kontaktgels).

## 7.3.1 Resultate der Erhebung

### Fragebogen zur HRV-Messung

Alle Probanden fühlten sich bei der Bewertung gesund, bis auf einen Probanden, der angab an einer Erkältung zu leiden. Die Mehrheit der Probanden treibt 1-3 Mal pro Woche regelmässig Sport. Zwei Probanden besitzen einen Bauchumfang von mehr als 100cm. Fast alle Probanden geben an, in der Familie einen nahen Verwandten zu besitzen, welcher einen Herzinfarkt erlitten hat. Zur Gruppe gehört ein regelmässiger Raucher. Ein Proband gab an, an Schlafproblemen zu leiden. Alle Probanden geben an, bei ihrer Arbeit keinen Schadstoffen ausgesetzt zu sein. Keinem der Probanden war zum Zeitpunkt der Untersuchung eine Krankheit bekannt, welche ihn von der Untersuchung ausschliessen müsste.

### Perceived Stress Questionnaire

Die Auswertung des Perceived Stress Questionnaire (PSQ-30 deutsch) ergab über alle Probanden (N=7) vor der Untersuchung eine (normierte) PSQ-Punktezahl von  $0.31 \pm 0.17$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) und nach der Untersuchung eine PSQ-Punktezahl von  $0.35 \pm 0.20$ . In der Studie von Kocalevent et al. (2007: 75) war der Mittelwert über die Stichprobe (N=2552)  $0.30 \pm 0.15$ . Im Vergleich zu dieser Studie lagen die untersuchten Probanden vor und nach der Untersuchung leicht höher. Ebenfalls angemerkt werden kann, dass die Probanden während der 15-tägigen Datenaufzeichnung eine leicht erhöhte Stresswahrnehmung hatten. In Tabelle 8 ist die Zusammenfassung der erreichten PSQ-Punktezahlen. Die Probanden A-G wurden anonymisiert, so dass kein Rückschluss mehr auf den jeweiligen Probanden möglich ist.

	<b>PSQ-Punktezahl Start</b>	<b>PSQ-Punktezahl Ende</b>	<b>Tendenz</b>
<b>Proband A</b>	0.10	0.16	Steigend
<b>Proband B</b>	0.54	0.61	Steigend
<b>Proband C</b>	0.57	0.63	Steigend
<b>Proband D</b>	0.16	0.17	(leicht) Steigend
<b>Proband E</b>	0.26	0.40	Steigend
<b>Proband F</b>	0.20	0.12	Sinkend
<b>Proband G</b>	0.32	0.34	(leicht) Steigend
<b>Mittelwert</b>	0.31	0.35	
<b>Standardabweichung</b>	0.17	0.20	

**Tabelle 8: PSQ-Punktezahl der Probanden**

Für die generelle (kulturunabhängige) Interpretation der PSQ-Punktezahl werden keine Angaben gemacht (Kocalevent et al., 2007: 79–80). Die Ergebnisse der Studie können unter der Annahme in den Kontext gesetzt werden, dass die repräsentative Stichprobe der deutschen Bevölkerung auch auf die untersuchten Probanden angewendet werden kann. Vier der sieben untersuchten Probanden sind in Deutschland wohnhaft, die restlichen drei sind in der Schweiz wohn-



haft und besitzen einen ähnlichen kulturellen Hintergrund. Aus diesem Grund können die Ergebnisse der Studie von Kocalevent et al. (2007: 75) zu Rate gezogen werden (siehe: Tabelle 9).

Stressniveau	PSQ-Punktezahl
<b>Tief</b>	$\leq 0.45$
<b>Moderat</b>	$> 0.45$ bis $\leq 0.60$
<b>Hoch</b>	$> 0.60$

**Tabelle 9: Interpretation der PSQ-Punktezahl (Kocalevent et al., 2007: 75)**

Wenn man die Tabelle 9 auf die erhaltenen PSQ-Punktezahlen aus Tabelle 8 anwendet, ist zu erkennen, dass sich die Probanden 2 & 3 an der Grenze von einem moderaten (Orange) zu einem höheren (Rot) Stressniveau befinden. Die untersuchten Probanden besaßen alle eine steigende Tendenz des subjektiv wahrgenommenen Stressniveaus, bis auf Proband 6. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, als dass die Probanden 1, 2, 3, 4, 5 und 7 an einem Projekt arbeiten, welches sich hinter dem Terminplan befindet und Proband 6 nicht. Dazu kommt, dass Proband 6 in einem 60%-Pensum arbeitet, im Gegensatz zu den restlichen Probanden, welche ein Vollzeitpensum absolvieren.

## Beobachtungen

Vor, während und nach der 15-tägigen Datenerhebung konnte folgendes beobachtet werden:

- Vor der Untersuchung musste ein gewisser Überzeugungsaufwand geleistet werden, damit sich die Probanden, von ihrer Brustbehaarung trennten.
- Die EliteHRV (2016) konnte auf dem Smartphone von LG (Typ: L4) den Brustgurt von Polar nicht über Bluetooth detektieren.
- Einzelne Probanden hatten Angst, dass ihre Schlafqualität (und die ihrer Frau) aufgrund der Bluetooth-Strahlung leiden könnte. Ein potenzieller Proband hat aus diesem Grund die Teilnahme im letzten Moment abgesagt.
- Einzelne Probanden bemängelten den Tragekomfort des Pulsgurtes. Für zwei potenzielle Probanden war das Grund genug, um nicht an der Untersuchung teilzunehmen.
- Fast alle Probanden beklagten sich über eine kürzere Akkulaufzeit ihrer Mobiltelefone.
- Es gab Verbindungsunterbrüche zwischen dem Smartphone und dem Pulsgurt. Die Gründe waren verschiedener Natur:
  - Teilweise war die Haut zu trocken, vor allem nach dem Duschen. Das mitgelieferte Kontaktgel konnte teilweise Abhilfe schaffen.
  - Schnelle Körperbewegungen konnten auch zu Unterbrüchen der Verbindung führen. Verbindungsunterbrüche sind auch während des Schlafens aufgetreten, oftmals wenn von der Rückenlage in die Seitenlage gewechselt wurde. Die nächtlichen Unterbrüche verursachten jeweils eine mehrstündige Pause der Aufnahmedauer, da der Pulsgurt keine gültigen Werte mehr messen konnte.

- Ein Proband hat während der Untersuchung sein Mobiltelefon so beschädigt, dass ein Ersatzgerät benötigt wurde. Aufgrund der gewählten App konnten jedoch alle bis dahin aufgezeichneten Daten gerettet werden (Daten waren in der Cloud gesichert).
- Die Probanden sind mehrheitlich auf ihren Puls sensibilisiert worden. Vereinzelt begannen sie sich verstärkt mit dem Thema „Pulsabsenkung nach dem Sport“ auseinander zu setzen.
- Zwei Probanden wurden motiviert Sport zu treiben. Vier Wochen nach der Untersuchung wurde nachgefragt, jedoch kam es nicht zu einer Verhaltensänderung (die beiden Probanden machen immer noch keinen Sport).
- Die Probanden verspürten während der Untersuchung eine Druck-Situation, denn sie mussten immer daran denken (auch zu Hause), das Mobiltelefon immer in Bluetooth-Reichweite zu lassen. Zu grosse Distanzen zwischen Pulsgurt und Mobiltelefon führen zu einem Verbindungsunterbruch. Diese führten teilweise auch dazu, dass es über mehrere Stunden keine Aufnahme gab, da die Probanden vergessen hatten das Mobiltelefon in der Nähe zu haben

## 8 Entwurf

Ausgehend von den Ergebnissen der Analysephase wurden unterschiedliche Varianten von Kennzahlensystemen entwickelt.

Folgende zwei werden in den nächsten Unterkapiteln vorgestellt:

- Ein einfaches Kennzahlensystem, welches als Indikator für den Gesundheitszustand dienen soll
- Ein zusammengesetztes Kennzahlensystem, welches als Indikator für chronischen Stress dienen soll.

Die Anforderungen an das Kennzahlensystem und die Daten werden in Kapitel 8.1 erläutert. Die Anforderungen entstanden in mehreren Iterationen der Entwicklung des Kennzahlensystems. Dabei werden nur die beiden Kennzahlensysteme mit dem höchsten Aussage- und Reifegrad dokumentiert. Die ausgeschiedenen Kennzahlensysteme werden im Anhang, Kapitel 13.1 beschrieben.

### 8.1 Allgemeine Anforderungen

Dieses Kapitel beschreibt die Anforderungen an das Kennzahlensystem. Erfahrungen aus den aussortierten Entwürfen sind in die Anforderungen eingeflossen und dokumentiert worden.

#### **IT-Infrastruktur / Messgeräte / Qualitätsanforderungen / Ethik**

Es wird angenommen, dass ein Unternehmen, welches das Kennzahlensystem anwenden möchte, über eine geeignete Infrastruktur verfügt. Das heisst, jeder Mitarbeiter erhält ein eigenes Messgerät, welches den Qualitätsanforderungen der HRV-Analyse bezüglich Abtastrate etc. genügt und es ist eine IT-Infrastruktur vorhanden, die die automatische Übermittlung und Verarbeitung der aufgezeichneten Daten ermöglicht. Zum Beispiel könnten die Daten beim Eintreten in die Firma automatisch über WLAN mit dem Server synchronisiert werden. Bei der Ausgestaltung der IT-Lösung muss zwingend beachtet werden, dass keine Rückschlüsse auf die Mitarbeitenden möglich sein dürfen. Die Daten können Hinweise auf schwere Erkrankungen geben und könnten den Arbeitgeber dazu verleiten, unethische Massnahmen gegen potenziell krankheitsgefährdete oder bereits erkrankte Mitarbeiter einzuleiten. Das Kennzahlensystem-Modell gibt die Logik vor, mit welchen Methoden die Daten verarbeitet werden sollen und welche Interpretationsmöglichkeiten es gibt.

## Anforderungen an die Eingangsdaten

Die Eingangsdaten müssen folgenden Anforderungen aus Tabelle 10 genügen.

Anforderung	Beschreibung
A1: Einsatz von validen Methoden	Die Eingangsdaten für die HRV-Parameter-Berechnung müssen den definierten Qualitätsanforderungen (Einsatz von validierten Methoden, z.B. validierter Artefakt-Detektions-Algorithmus, etc.) entsprechen.
A2: Aufzeichnungsdauer pro Tag	Die Messdaten müssen für die Berechnung des SDNNs mindestens während 20 von 24 Stunden verfügbar sein. Optimal wären Daten über 24 Stunden, damit der zirkadiane Rhythmus (geht über 24h) des Menschen komplett abgedeckt würde. In der Durchführung der Datenerhebung hat sich jedoch gezeigt, dass es sehr viele Verbindungsunterbrüche gegeben hat und deshalb angenommen wird, dass es in der Praxis nicht möglich ist, die Daten über einen längeren Zeitraum ohne Datenverlust aufzuzeichnen ist (siehe Kapitel: 13.1.1).
A3: Aufzeichnungsdauer für Trendberechnung	<p>Die Messdaten müssen über eine längere Messperiode verfügbar sein. Die Veränderungen, welche durch chronischen Stress ausgelöst werden unterliegen einer Zeitdauer, die Monate bis Jahre andauern kann (Wittling &amp; Wittling, 2012: 244). Die Veränderungen unterliegen einer gewissen Volatilität. Unter der Woche bei Anspannung sinkt die Variabilität und am Wochenende in der Erholungsphase steigt die Variabilität wieder (Wittling &amp; Wittling, 2012: 244). Wenn die Erholung am Wochenende nicht mehr ausreicht, dann kommt es zu einer stetigen Niveausenkung der Variabilität, welche es zu erkennen gilt.</p> <p>Ein Versuch das Kennzahlensystem ausgehend von einem kurzzeitigen Trend zwischen zwei Tagen und nicht über eine längere Messperiode zu erheben, ist aufgrund der oben beschriebenen Volatilität verworfen worden (siehe Anhang Kapitel: 13.1.2).</p> <p>Hinweis: Das Alter ist ein Einflussfaktor auf die HRV. Die HRV nimmt im Alter ab (Eller-Berndl, 2015: 143). Deshalb sollte die Messperiode mit Bedacht ausgewählt werden, d.h. bei einer Trendberechnung über Jahre oder gar Jahrzehnte wird man einen negativen Trend erkennen, nur schon dadurch, dass das Alter einen Einfluss auf die HRV hat. Die Messperiode darf jedoch auch nicht zu kurz gewählt, aufgrund der Volatilität des Signals. Die Variabilität ist am Herzfrequenztrend erkennbar (Eller-Berndl, 2015: 15).</p>

**Tabelle 10: Anforderungen an Eingangsdaten des Kennzahlensystems**

## Anforderungen an die Logik des Kennzahlensystems

Die Logik des Kennzahlensystems muss den Anforderungen aus Tabelle 11 genügen.

Anforderung	Beschreibung
L1: Einfach verständlich	Das Kennzahlensystem und seine Logik müssen einfach verständlich sein. Es wird angenommen, dass die Verständlichkeit der Resultate bei einem komplexen Kennzahlensystem leidet, was in der Praxis zu einem Verzicht eines Einsatzes des Kennzahlensystems führen würde.
L2: Verzicht auf Absolut-Wert-Betrachtung und Einflussfaktoren	Das Kennzahlensystem darf nicht auf Absoluten Werten aufbauen und soll möglichst wenige Einflussfaktoren explizit berücksichtigen. Der Grund für diese Anforderung ist, dass die HRV von vielen Einflussfaktoren abhängig ist und die Datenlage zur Interpretation von Absolut Werten sehr dünn gesät ist. Eine Absolut-Wert Betrachtung lässt nur in vereinzelten Fällen eine halbwegs-gesicherte Aussage zu, z.B. wenn bei Patienten nach einem Herzinfarkt der HRV-Parameter SDNN <70ms ist, diese eine 3,2-faches höheres Sterblichkeitsrisiko besitzen (Eller-Berndl, 2015: 30). Die Liste der Einflussfaktoren ist sehr lang, diese explizit in einem Kennzahlensystem abzubilden, würde gegen die Anforderung L1: dass das Kennzahlensystem einfach verständlich sein muss, verstossen.
L3: Betrachtung der Wert-Veränderungen	Deshalb wird die Anforderung L3 aufgestellt, die besagt, dass nur Veränderungen der Werte betrachtet werden dürfen. Vereinfacht gesagt: „eine Reduzierung der HRV, geht mit einem verschlechterten Gesundheitszustand einher und eine Steigerung der HRV, geht mit einem verbesserten Gesundheitszustand der HRV einher“. Der Vorteil ist, dass man keine Aussage über das aktuelle Niveau treffen muss, sondern kann relativ auf die positiven oder negativen Veränderungen der HRV schliessen.

**Tabelle 11: Anforderungen an die Logik des Kennzahlensystems**

## 8.2 Einfaches Kennzahlensystem

Das einfache Kennzahlensystem basiert auf dem HRV-Parameter SDNN, welcher die Gesamtvariabilität einer Person beschreibt. Die Gesamtvariabilität spiegelt die Anpassungsfähigkeit auf sich ändernde, innere und äussere Einflüsse auf den Körper wieder (Böckelmann, 2012: 276). Eine reduzierte Gesamtvariabilität deutet auf eine eingeschränkte Anpassungsfähigkeit hin und eine erhöhte Gesamtvariabilität bedeutet eine gute Anpassungsfähigkeit auf die einwirkenden Einflüsse auf den menschlichen Körper.

### **SDNN als Indikator für den Rückgang der autonomen Gesamtreaktivität (Anpassungsfähigkeit)**

Wittling & Wittling (2012: 259 ff) sind in einer Studie der Frage nachgegangen, wie sich Patienten mit einer chronischen psychosomatischen Symptomatik (aus einer klinischen Einrichtung) von Probanden aus der Allgemeinbevölkerung unterscheiden, für die keine Hinweise auf eine ausgeprägte psychosomatische Symptomatik vorlagen. Das Resultat war, dass bei den chronischen Psychosomatik-Patienten im Vergleich zu der unauffälligen Probandengruppe, eine signifikante Reduzierung der Gesamtvariabilität in den HRV-Parametern SDNN und TP festgestellt werden konnte,

Die Studie konnte zeigen, dass ein Rückgang der autonomen Gesamtreaktivität (geringe TP- und SDNN-Werte) mit den folgenden Verhaltensmerkmalen einhergehen (Wittling & Wittling, 2012: 260):

- Erhöhte Stressaktivität, d.h. eine signifikant höhere Bereitschaft auf belastende Umwelt Ereignisse mit psychischem Stress zu reagieren, verbunden mit einer verringerten Distanzierungsfähigkeit und einer geringeren Inanspruchnahme sozialer Unterstützung (Wittling & Wittling, 2012: 260).
- Eine hochsignifikante erhöhte Anzahl körperlicher Beschwerden (Wittling & Wittling, 2012: 261).
- Einen signifikant erhöhten Symptomatik-Score in den Skalen Depressivität, Zwanghaftigkeit, Ängstlichkeit, soziale Unsicherheit und paranoides Denken (Misstrauen, Minderwertigkeitsgefühle) (Wittling & Wittling, 2012: 261).
- Eine geringere Lebenszufriedenheit (Wittling & Wittling, 2012: 261).

Hinweis: Psychosomatische Krankheiten gehören zu den am häufigsten vorkommenden Krankheitsformen in der heutigen Gesellschaft (Wittling & Wittling, 2012: 259). Die Krankheiten werden häufig durch chronischen Stress verursacht, stellen jedoch selbst auch eine chronische Stressquelle dar (Wittling & Wittling, 2012: 259).

## **Zusammenhang der Gesamtvariabilität, Gesundheitszustand und Arbeitsleistung**

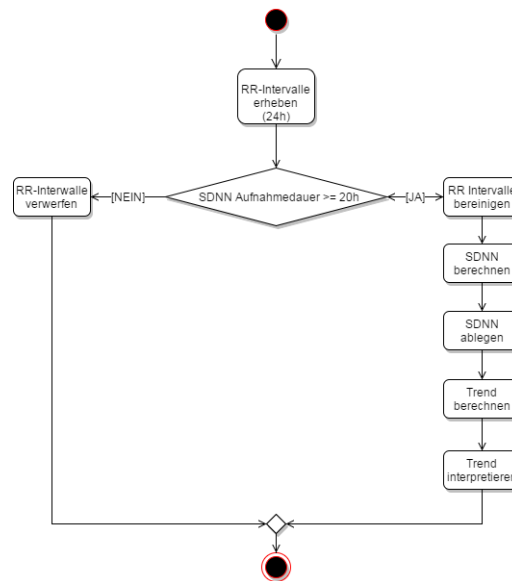
Eine ausgeprägte HRV (hohe Gesamtvariabilität) zeigt sich bei einem guten Gesundheitszustand und Wohlbefinden (Böckelmann, 2012: 276). Daraus wird abgeleitet, dass eine niedrige HRV (niedrige Gesamtvariabilität) einen schlechteren Gesundheitszustand darstellt.

Unter der Annahme, dass gesunde und sich wohl führende Mitarbeiter mehr Arbeit verrichten (höhere Arbeitsleistung) können als kranke Mitarbeiter (reduzierte Arbeitsleistung), kann die theoretische Arbeitsleistung des Unternehmens berechnet werden. Diese ist die Summe des maximal möglichen verrichteten Arbeitsvolumens in einer bestimmten Arbeitsqualität jedes einzelnen Mitarbeitenden im Unternehmen (Wikipedia, 2017). Ist der Mitarbeitende nicht bei vollen Kräften (nicht Gesund und nicht im vollen Wohlbefinden) sinkt die individuelle theoretische Arbeitsleistung. Es besteht nur die Möglichkeit eine qualitative Aussage zu treffen und zwar ob die theoretische Arbeitsleistung steigt oder sinkt. Eine quantitative Aussage zur Beschreibung der Änderung der theoretischen Arbeitsleistung lässt sich aufgrund des nicht linearen Zusammenhangs zwischen Gesundheitszustand einer Person und deren theoretischer Arbeitsleistung nicht treffen.

Die Gesamtvariabilität wird durch den HRV-Parameter SDNN repräsentiert, somit kann ein Zusammenhang zwischen einer Veränderung in der SDNN und in der Veränderung des theoretischen verrichteten Arbeitsvolumens festgestellt werden. Eine Steigung der SDNN führt zu einem theoretischen höheren verrichteten Arbeitsvolumen und eine Senkung der SDNN führt zu einer Reduktion des theoretisch verrichteten Arbeitsvolumens. Dabei ist es nur möglich Veränderungen der SDNN zu beschreiben. Absolute Aussagen, über die Höhe der SDNN sind nicht möglich, z.B. der Wert X SDNN entspricht einem theoretischen verrichteten Arbeitsvolumen von Y.

### **8.2.1 Modell des einfachen Kennzahlensystems**

Jeder Mitarbeiter hat vom Unternehmen ein Aufzeichnungsgerät erhalten, welches fortlaufend die Daten an den Server sendet, welcher die Verarbeitung vornimmt. An den Wochenenden werden die Daten auf dem Aufzeichnungsgerät zwischengespeichert und erst beim nächsten Firmeneintritt synchronisiert. Das Modell des einfachen Kennzahlensystems wurde in der Abbildung 23 veranschaulicht. Dabei wird jeden Tag um dieselbe Uhrzeit der Trend für jeden einzelnen Mitarbeitenden berechnet.



**Abbildung 23: Bestimmung des Trends eines Mitarbeiters (einfaches Kennzahlensystem)**

Die Trendberechnung (siehe: Abbildung 23) besteht aus verschiedenen Schritten. Im ersten Schritt werden die Daten nach einem Tag (24h) auf Vollständigkeit analysiert. Die Vollständigkeit ist gegeben, wenn mindestens während 20 Stunden die RR-Intervalle aufgezeichnet wurden, dabei spielt es keine Rolle, ob zwischendurch Unterbrüche stattgefunden haben. Ist die Vollständigkeit nicht gegeben, werden die RR-Intervalle verworfen und es entsteht für diesen Tag eine Datenlücke. Ist die Vollständigkeit gegeben, werden die Daten korrigiert (Artefaktdektion und Artefaktbereinigung) und auf ihre Qualität geprüft (Normalverteilung und Artefaktgehalt). Aufzeichnungen, die nicht-normalverteilt sind oder die einen Artefaktbefall von über 5% besitzen werden ausgeschlossen. Aus den bereinigten Daten wird die SDNN berechnet und diese im nächsten Schritt abgelegt. So entsteht über die Zeit für jeden Tag ein SDNN-Wert für jeden Mitarbeiter. Diese SDNN-Zeitreihe ist die Grundlage für eine Trend-Analyse. Mittels linearer Regression (es wird eine Gerade durch die Zeitreihe gelegt), kann der Trend (entspricht der Steigung der Geraden) für jeden Mitarbeiter abgelesen werden. Die Interpretation der Daten erfolgt dabei über den Trend. Der Trend gibt Auskunft, ob sich die Variabilität verbessert (positive Steigung der Trendgeraden) oder ob sie sich verschlechtert (negative Steigung der Trendgeraden).

Daraus lassen sich zwei Kennzahlen ableiten:

- Anzahl positiver Trends: Es werden die Anzahl Mitarbeiter gezählt, welche einen positiven Trend vorweisen. Das bedeutet, dass diese Mitarbeiter mehr (theoretische) Arbeitsleistung verrichten können.

- Anzahl negativer Trends: Es werden die Anzahl Mitarbeiter gezählt, welche einen negativen Trend vorweisen. Das bedeutet, dass diese Mitarbeiter weniger (theoretische) Arbeitsleistung verrichten können.

## 8.2.2 Anwendung der erhobenen Testdaten auf das Modell

Die Anwendung der erhobenen Daten erfolgt anhand der Schritte aus Modell aus Abbildung 23:

- RR-Intervalle erheben (24h)
- Prüfen der RR-Intervalle auf die Aufnahmedauer (mindestens 20h)
- RR-Intervalle bereinigen
- SDNN berechnen
- SDNN ablegen
- Trend berechnen
- Trend interpretieren

### RR-Intervalle erheben (24h)

Die Probanden mussten während 15 Tagen über 24h mittels Pulsgurten die Daten aufnehmen (siehe: Tabelle 12). Die Tabelle enthält für jeden Tag die Aufnahmedauer in Stunden für die Probanden. Grün hervorgehoben sind die Messdaten, welche eine Aufnahmedauer von >20h besitzen.

	A	B	C	D	E	F	G
Tag 0	16.0	21.2	0.0	18.9	18.2	23.1	20.6
Tag 1	19.0	18.3	0.0	19.4	18.7	20.1	15.2
Tag 2	20.8	15.0	0.0	21.8	20.6	17.6	21.1
Tag 3	22.5	19.1	10.6	21.1	22.4	22.3	17.1
Tag 4	21.2	15.1	16.6	22.1	13.2	21.1	11.5
Tag 5	22.2	14.9	20.9	20.2	10.8	21.2	16.0
Tag 6	21.3	18.1	21.0	20.8	22.3	14.3	7.5
Tag 7	20.6	18.6	14.4	21.8	21.1	22.9	22.0
Tag 8	20.8	12.9	10.5	19.2	15.9	17.3	23.1
Tag 9	23.0	18.4	6.5	22.3	20.5	18.6	18.5
Tag 10	21.3	16.4	12.7	19.4	20.7	16.8	20.8
Tag 11	22.6	12.3	8.8	22.8	17.5	14.0	22.9
Tag 12	21.7	17.3	15.2	19.6	20.5	17.2	21.9
Tag 13	20.3	17.7	6.3	20.7	17.1	16.4	19.7
Tag 14	21.3	10.7	16.3	20.4	20.3	19.4	19.0
Ø Dauer [h]	21.0	16.4	10.7	20.7	18.6	18.8	18.5
Gültige [#]	13	1	2	10	8	6	7

**Tabelle 12: Auswertung der Datenaufzeichnung**

Die Probanden A-G wurden anonymisiert, entsprechen jedoch der gleichen Probandenbezeichnung wie in der subjektiv wahrgenommenen Stressauswertung (siehe: Tabelle 8). Die mittlere Tagesaufzeichnung variiert zwischen knapp 10h und 21h.

Hinweis: Im Kapitel 7.3 Durchführung der Datenerhebung im Abschnitt Beobachtungen sind die Gründe im Detail erläutert, weshalb die Aufnahmen in der Dauer sehr stark variieren. Bei



den Probanden B & C könnte auch ein medizinischer Grund der Auslöser für die kurzen Aufnahmedauern sein. In diesem Fall würde man das EKG-Signal sichten, um der Ursache auf den Grund gehen zu können.

### Prüfen der RR-Intervalle auf die Tagesdauer (mind. 20h)

Die Prüfung ergab, dass nur 47 der 105 (7 Probanden \* 15 Tage = 105 Aufzeichnungen) Aufnahmen eine Länge von 20h oder mehr hatten. Die restlichen 58 Aufzeichnungen, welche eine Aufnahmedauer von <20h hatten, wurden von der Analyse ausgeschlossen.

### RR-Intervalle bereinigen

Die Artefakte in den RR-Intervallen wurden mit der Software ARTiiFACT (2013) detektiert und korrigiert. Im nächsten Schritt wurden die RR-Intervalle auf ihren Artefaktgehalt und auf ihre Verteilung geprüft. Zugelassen zur SDNN Berechnung wurden nur Aufzeichnungen, welche einen Artefaktgehalt von <5% besaßen und normalverteilt waren.

### SDNN berechnen

Aus den zugelassenen RR-Intervallen wurde für jeden Tag (Tag beginnt um 00:00 und endet um 23:59) und jeden Probanden einzeln die SDNN [ms] berechnet (siehe: Tabelle 13).

	Wochentag	A	B	C	D	E	F	G
Tag 0	Di		96.6				177.1	188.9
Tag 1	Mi						198.4	
Tag 2	Do	120.5			131.9	147.7		225.5
Tag 3	Fr	121.5			186.3	139.1	176.9	
Tag 4	Sa	140.5			180.6		112.9	
Tag 5	So	117.3		128.7	175.5		157.9	
Tag 6	Mo	118.1		118.4	173.5	203.8		
Tag 7	Di	122.3			197.5	200.9	160.0	200.5
Tag 8	Mi	106.3						207.7
Tag 9	Do	119.2			175.8	140.9		
Tag 10	Fr	114.5			0.0	165.1		155.3
Tag 11	Sa	139.0			170.7			152.8
Tag 12	So	108.1				164.0		163.2
Tag 13	Mo	121.6			158.6			
Tag 14	Di	106.0			174.3	201.2		
Ø SDNN [ms]		119.6	96.6	123.6	156.8	170.4	163.9	184.8

**Tabelle 13: Berechnung der SDNN**

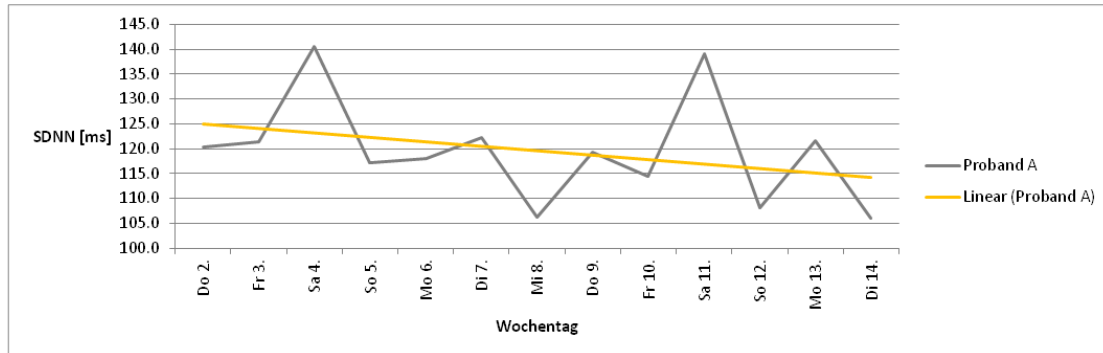
Die Lücken in der Tabelle zeigen, welche SDNN-Werte von der Trend-Analyse ausgeschlossen wurden.

### SDNN ablegen

Die SDNN-Werte werden abgelegt. Im Fall des Artefakts werden die Werte in Dateien auf dem Filesystem oder in einer Datenbank abgelegt.

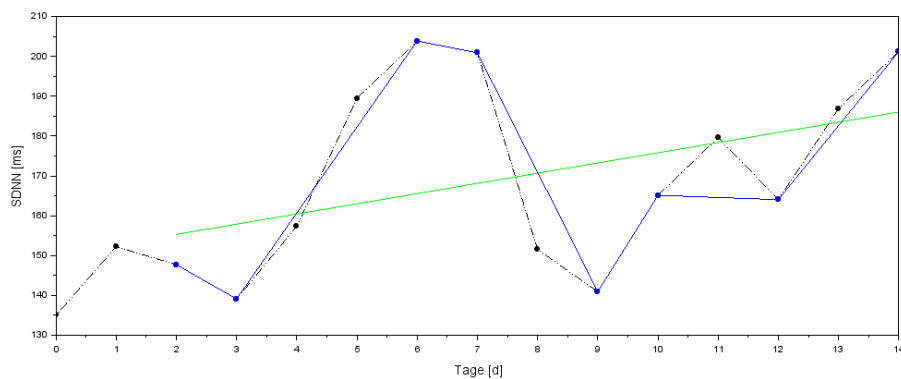
## Trend berechnen

Ausgehend von den Daten aus Tabelle 13 werden die linearen Trends (mittels linearer Regression) für jeden Probanden berechnet.



**Abbildung 24: Linearer Trend von Proband A (SDNN)**

Die Trendlinie von Proband A ist in Abbildung 24 ersichtlich. Auf den ersten Blick gut zu erkennen sind die beiden Spitzen an den Samstagen. Dies deutet auf eine gute Erholung am Samstag hin. Am Sonntag sinkt die Variabilität jedoch bereits wieder auf Freitags-Niveau. Insgesamt zeigt der Trend jedoch ins Negative, was auf eine dauerhafte Anspannung des Probanden während der Messperiode hindeutet.



**Abbildung 25: Linearer Trend von Proband E (SDNN)**

Die Abbildung 25 zeigt die Berechnungsbasis für Proband E. Die Trendlinie (grün) besitzt einen positiven Trend. In Schwarz sind die Original-SDNN-Daten und in Blau die zugelassenen SDNN-Daten (besitzen eine Datenbasis von mir als 20h Aufnahme).

Hinweis: Die SDNN-Werte, welche eine Aufzeichnungsdauer von <20h besitzen, wurden für die Trend-Berechnung ausgeschlossen.

## Interpretation des Kennzahlensystems

Die Tabelle 14 zeigt die Auswertung der Probanden. Die Probanden B & C wurden aus der Berechnung ausgeschlossen, da sie zu wenige gültige Werte für eine Trend-Berechnung besitzen. Die Spalte Steigung zeigt die Steigung der Trendlinie, für eine gültige Interpretation darf nur das Vorzeichen berücksichtigt werden. Ein positives Vorzeichen in der Steigung bedeutet eine Steigerung der SDNN (=Gesamtvariabilität) und ein negatives Vorzeichen eine Reduzierung der SDNN (=Gesamtvariabilität).

Zur Erinnerung: Eine positive, sprich eine steigende SDNN deutet auf eine Verbesserung des Gesundheitszustandes und eine negative auf eine Verschlechterung hin. Dabei kann keine quantitative Aussage getroffen werden, wie stark die Verbesserung oder Verschlechterung ist.

Proband	Steigung	SDNN
A	-0.9	Sinkend
B	n.b.	n.b.
C	n.b.	n.b.
D	0.3	Steigend
E	2.6	Steigend
F	-5.6	Sinkend
G	-4.3	Sinkend

**Tabelle 14: Auswertung des einfachen Kennzahlensystems**

Die Probanden A, F & G haben während des Messzeitraumes eine Verschlechterung des Gesundheitszustandes erfahren und die Probanden D & E eine Verbesserung.

Angewendet auf das Kennzahlensystem bedeutet dies: 2 von 7 haben eine Verbesserung erfahren und 3 von 7 eine Verschlechterung. Zwei Personen konnten aufgrund ungenügender Daten nicht in die Beurteilung miteingezogen werden.

## Vergleich Kennzahlensystem vs. Selbsteinschätzung

Als Vergleich mit der Selbsteinschätzung (siehe: Tabelle 8) in Tabelle 15:

Proband	SDNN	subj. Stress-Einschätzung	Übereinstimmung
A	Sinkend	Steigend	Ja
B	n.b.	Steigend	n.b.
C	n.b.	Steigend	n.b.
D	Steigend	Steigend	Nein
E	Steigend	Steigend	Nein
F	Sinkend	Sinkend	Nein
G	Sinkend	Steigend	Ja

**Tabelle 15: SDNN vs. Stress-Selbsteinschätzung**

Der direkte Vergleich zwischen der Trendbestimmung und der subjektiven Stress-Einschätzung der Probanden ist nicht möglich. Die Trendbestimmung bezieht sich auf den Gesundheitszustand (Gesamtvariabilität) und die Probanden mussten ihr eigenes Stressniveau bestimmen. Es besteht ein Zusammenhang zwischen Stress und Gesundheitszustand, jedoch erst, wenn es sich um eine chronische Stressbelastung handelt.

Hinweis: Die subjektive Stress-Einschätzung ist aus Sicht des Stressess formuliert, d.h. eine steigende subjektive Stress-Einschätzung entspricht einer sinkenden Gesamtvariabilität und eine sinkende subjektive Stress-Einschätzung entspricht einer steigenden Gesamtvariabilität.

### 8.2.3 Diskussion

Das Kennzahlensystem basiert auf einem HRV-Parameter. Die Brüder Wittling & Wittling (2012: 259 ff) sind in einer Studie der Frage nachgegangen, wie sich Patienten mit einer chronischen psychosomatischen Symptomatik von der allgemeinen Bevölkerung unterscheiden. Daraus wurde ersichtlich, dass die SDNN (=Gesamtvariabilität) den signifikantesten Unterschied zwischen den zwei Probandengruppen darstellt. Die Verständlichkeit ist aufgrund der einfachen Logik der Kennzahl gegeben, jedoch ist die Kennzahl nur ein vages Indiz für eine Stressbelastung und beschreibt eher den Gesundheitszustand und das Wohlbefinden (Böckelmann, 2012: 276). Denn unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die HRV in Kapitel 5.5, kann eine niedrigere HRV auch ausgelöst werden durch: Fettleibigkeit, Lärm, chronischer Alkoholkonsum, Übertraining, verschiedene Herz-Kreislaufkrankungen, Medikamente, u.v.m.

## 8.3 Zusammengesetztes Kennzahlensystem

Aufbauend auf den Erkenntnissen des einfachen Kennzahlensystems wurde das zusammengesetzte Kennzahlensystem entworfen.

Dieses Kennzahlensystem soll die Auswirkungen von chronischem Stress auf die verschiedenen HRV-Parameter stärker berücksichtigen.

Zur Erinnerung: Die andauernde Stressbelastung kann unter Umständen zu einem Burn-out führen. In der HRV-Analyse gelten die folgenden Symptome als Kennzeichen des Burn-outs (Eller-Berndl, 2015: 234):

- K1: Verringerte Gesamtvariabilität
- K2: Verminderung der Aktivität im HF- und LF-Bereich
- K3: Verlust der Schlafarchitektur
- K4: Mangelnde nächtliche Pulsabsenkung
- K5: Generell erhöhte Pulsrate

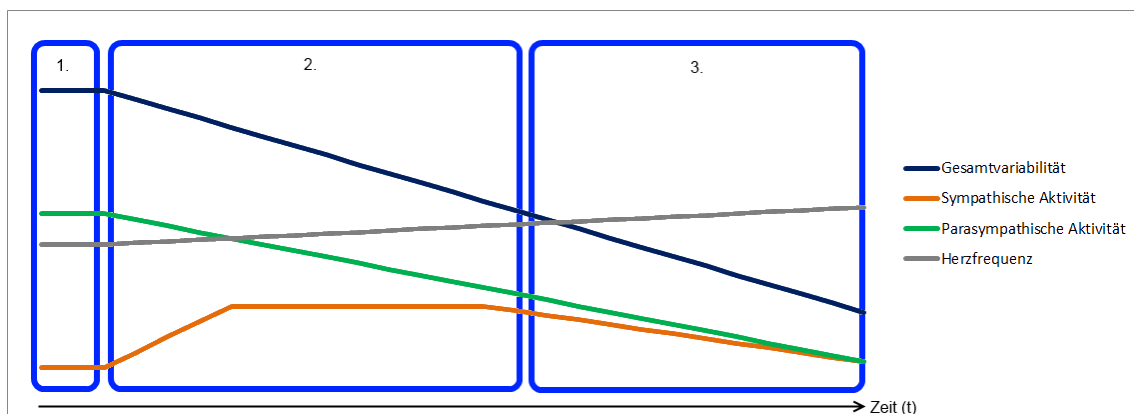
Die oben genannten Kennzeichen wurden detailliert in Kapitel 6 Stress beschrieben. Das Ziel des Kennzahlensystems ist es, diese Kennzeichen mit Methoden aus dem Zeitbereich abzubilden:

- SDNN: Der HRV-Parameter SDNN bildet die Gesamtvariabilität ab (erfüllt K1)
- RMSSD: Der HRV-Parameter RMSSD ist gleichzusetzen mit dem Parameter HF aus dem Frequenzbereich (siehe dazu: Tabelle 7) und ist auch ein stabiles Mass für den Parasymphathikus (Erfüllt K2 teilweise, für den HRV-Parameter LF gibt es im Zeitbereich kein adäquater Repräsentant).
- Herzfrequenz (HFreq): Der Verlust der Schlafarchitektur und die mangelnde nächtliche Pulsabsenkung führen zu einer Erhöhung der Herzfrequenz (erfüllt K3, K4 & K5).

Kritik/Diskussion: Der HRV-Parameter LF (Vorgabe K2) wird im Kennzahlensystem nicht direkt berücksichtigt. Zur Erinnerung: der HRV-Parameter LF gehört zu den Methoden aus dem Frequenzbereich und ist ein Mass für die sympathische und parasymphathische Aktivität. Die Total Power ist die Summe aus ULF, VLF, LF & HF und spiegelt die Gesamtvariabilität im Frequenzbereich wieder. Für das Abbilden der Gesamtvariabilität wurde der HRV-Parameter SDNN (SDNN ist ein gleichwertiger Repräsentant der Total Power, siehe Tabelle 7) verwendet, somit wird die Reduktion auf den LF-Parameter indirekt über die Gesamtvariabilität (SDNN-Parameter) berücksichtigt.

## Stadienhafter Verlauf Gesamt-HRV, Sympathikus, Parasympathikus & Herzfrequenz

Zum verbesserten Verständnis wurden die Stadien der chronischen Stressbelastung in Abbildung 26 stark vereinfacht dargestellt. Die Niveaus der Signale (Gesamt-HRV, sympathische- & parasympathische Aktivität und mittlere Herzfrequenz) stehen nicht in Relation zu einander und müssen deshalb isoliert für jedes Signal betrachtet werden. In der Grafik wird angedeutet, wie sich die Signale über die Zeit (Monate oder Jahre - bei jedem Menschen unterschiedlich) in den verschiedenen Phasen verändern.



**Abbildung 26: Chronische Stressbelastung und die Wirkung auf Gesamt-HRV, Sympathikus, Parasympathikus & Herzfrequenz**

Die chronische Stressbelastung kann in die drei Phasen unterteilt werden (Eller-Berndl, 2015: 219):

1. Vorphase: In der Vorphase sind die Pegel der Signale stabil und einer natürlichen Variabilität unterworfen.
2. Widerstandsphase: In der chronischen Stressbelastungsphase kommt es zu einem sympathischen Anstieg und einem langsamen Absinken der Gesamt-HRV und der parasympathischen Aktivität.
3. Erschöpfungsphase (Burn-out): In der Erschöpfungsphase kommt es zu einem erneuten Absinken der sympathischen & parasympathischen Aktivität und der Gesamt-HRV und zu einem leichten Anstieg der mittleren Herzfrequenz.

### Logik des zusammengesetzten Kennzahlensystems

Die chronische Stressbelastung kann zu einem Burn-out führen. Ausgehend von den Kennzeichen K1-K5 wurden HRV-Parameter ausgewählt, welche die Charakteristik der chronischen Stressbelastung erkennen sollen.

Wenn die folgenden Bedingungen B1-B3 über einen längeren Zeitraum (Wochen, Monate, teilweise auch Jahre) erfüllt sind, kann das auf eine chronische Stressbelastung oder Burn-out hindeuten:

- B1: Sinkendes SDNN (24h): Die Gesamtvariabilität sinkt (siehe: K1).
- B2: Sinkende RMSSD (24h): Die HF sinkt (siehe: K2).
- B3: Steigende mittlere Herzfrequenz (24h): Die Herzfrequenz steigt (siehe: K3-K5). Da es sich gezeigt hat, dass die Messdaten nicht jeden Tag für die gesamten 24h verfügbar sind, wurde als Ersatzwert die mittlere Herzfrequenz bestimmt. Steigen die Anzahl Herzschläge über einen Zeitraum X, so steigt auch die mittlere Herzfrequenz für den gleichen Zeitraum. Da nicht für jeden Tag die gleiche Dauer für das Zählen der Herzschläge verfügbar ist, wurde die mittlere Herzfrequenz als Ersatzparameter ausserwählt, damit eine Trendbestimmung überhaupt möglich ist.

### **Zusammenhang von Stress und Arbeitsleistung**

Die Folge von Stress ist u.a. das Absinken der Arbeitsleistung (Stadler, 2006: 4). Kurzfristig kann der Leistungseinbruch kompensiert werden, auf lange Sicht ist jedoch mit Leistungseinbussen zu rechnen (Stadler, 2006: 4).

Ausgehend vom idealen Unternehmen, welches eine theoretische Gesamtarbeitsleistung, bestehend aus der Summe aller theoretischen, individuellen Arbeitsleistungen seiner Mitarbeitenden besitzt, kann bei einer chronischen (dauerhaften) Stressbelastung seiner Mitarbeitenden die theoretische Gesamtarbeitsleistung des Unternehmens sinken. Umgekehrt gilt auch, dass wenn die Mitarbeitenden einer geringeren chronischen Stressbelastung ausgesetzt sind, dass die theoretische Gesamtarbeitsleistung des Unternehmens wieder steigt. Es ist nur möglich die beiden qualitativen Aussagen auf die Gesamtarbeitsleistung des Unternehmens zu treffen, da Stress sich nicht linear zur Arbeitsleistung verhält. Wie viel Stress braucht es um die individuelle Arbeitsleistung um 5% zu senken? Diese Frage kann heute nicht quantitativ beantwortet werden.

Hinweis: Irgendwann wird eine Sättigung eintreffen. Was die Arbeitsleistung und das Stressniveau betrifft, gibt es eine individuelle Unter- und Obergrenze.

### 8.3.1 Modell des zusammengesetzten Kennzahlensystems

Es gelten die gleichen Voraussetzungen wie für das einfache Kennzahlensystem (siehe: Kapitel 8.2.1).

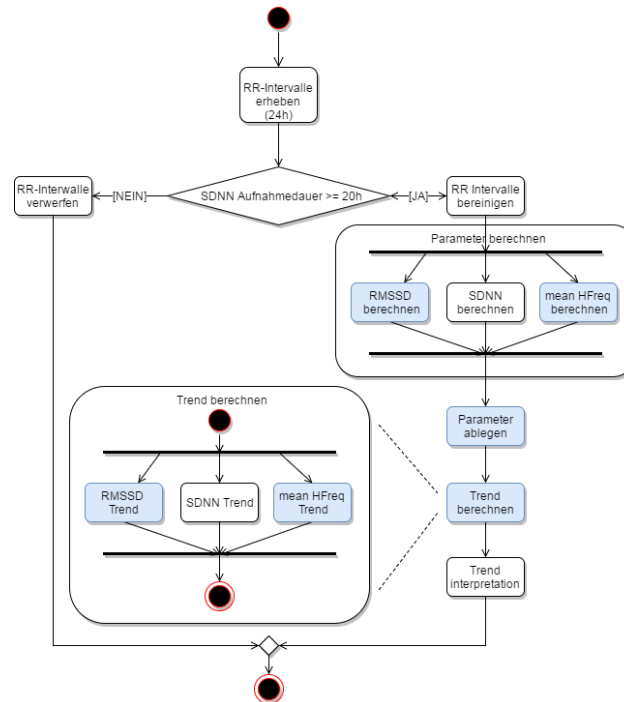


Abbildung 27: Bestimmung des Trends eines Mitarbeiters (zusammengesetztes Kennzahlensystem)

Die Abbildung 27 beschreibt die Vorgehensweise für die Berechnung des zusammengesetzten Kennzahlensystems. Für die präzisere Bestimmung des chronischen Stresses wurde das einfache Kennzahlensystem (siehe: Abbildung 23) um zwei weitere HRV-Parameter erweitert: RMSSD und die mittlere Herzfrequenz (beide Änderungen in Blau hervorgehoben in Abbildung 27). Angepasst werden mussten auch die Schritte „Parameter ablegen“ und „Trend berechnen“. Neu müssen zwei weitere HRV-Parameter abgelegt werden, welche für die Trendbestimmung notwendig sind. Um von einem chronischen Stress-Trend sprechen zu können, müssen die Bedingungen B1-B3 [sinkende SDNN==WAHR] UND [sinkende RMSSD==WAHR] UND [steigende mittlere HFreq==WAHR] gleichzeitig erfüllt sein.

### 8.3.2 Anwendung der erhobenen Testdaten auf das Modell

Die Anwendung der erhobenen Daten erfolgt anhand der Schritte aus dem Modell der Abbildung 23:

- RR-Intervalle erheben (24h)
- Prüfen der RR-Intervalle auf die Aufnahmedauer (mind. 20h)
- RR-Intervalle bereinigen



- Parameter (SDNN, RMSSD & mittlere HFreq) berechnen
- Parameter (SDNN, RMSSD & mittlere HFreq) ablegen
- Trends berechnen.
- Trend interpretieren

Für die ersten drei Schritte: RR-Intervalle erheben (24h), Prüfen der RR-Intervalle auf die Tagesdauer (mind. 20h) und RR-Intervalle bereinigen, wird auf das Kapitel 8.1 verwiesen, da es sich um die gleichen Schritte handelt und somit auch die gleichen Resultate ergeben.

### Parameter (SDNN, RMSSD & mittlere HFreq) berechnen

In diesem Schritt wurden die HRV-Parameter SDNN, RMSSD & die mittlere Herzfrequenz über einen Tag (von 00:00 bis 23:59) (siehe: Abbildung 28) berechnet.

Wochentag	A	B	C	D	E	F	G
Tag 0	Di	96.6				177.1	188.9
Tag 1	Mi					198.4	
Tag 2	Do	120.5		131.9	147.7		225.5
Tag 3	Fr	121.5		188.3	139.1	176.9	
Tag 4	Sa	140.5		190.6		112.9	
Tag 5	So	117.3	128.7	175.5		157.9	
Tag 6	Mo	118.1	118.4	173.5	203.8		
Tag 7	Di	122.3		197.5	200.9	160.0	200.5
Tag 8	Mi	106.3					207.7
Tag 9	Do	119.2		175.8	140.9		
Tag 10	Fr	114.5		0.0	185.1		155.3
Tag 11	Sa	139.0		170.7			152.8
Tag 12	So	108.1			164.0		163.2
Tag 13	Mo	121.6		158.6			
Tag 14	Di	106.0		174.3	201.2		
Ø SDNN [ms]	119.6	96.6	123.6	156.8	170.4	163.9	184.8

Wochentag	A	B	C	D	E	F	G
Tag 0	Di 0			18.8		35.6	55.7
Tag 1	Mi 1					31.7	
Tag 2	Do 2	27.4			37.6	39.0	41.3
Tag 3	Fr 3	28.9			53.0	42.1	30.3
Tag 4	Sa 4	26.5			39.7		30.7
Tag 5	So 5	24.1	18.9		41.6		42.2
Tag 6	Mo 6	29.2	17.6	51.4	40.0		
Tag 7	Di 7	23.6		52.2	35.2	37.2	49.8
Tag 8	Mi 8	27.2					49.7
Tag 9	Do 9	31.6		44.1	34.6		
Tag 10	Fr 10	31.7		51.4	39.4		35.6
Tag 11	Sa 11	26.0		40.9			37.1
Tag 12	So 12	25.8			56.7		39.6
Tag 13	Mo 13	27.9		40.8			
Tag 14	Di 14	28.8			44.8	45.2	
Ø RMSSD [ms]	27.6	18.8	18.0	45.2	41.6	34.6	44.1

Wochentag	A	B	C	D	E	F	G	
Tag 0	Di 0						79.5	71.9
Tag 1	Mi 1		83.8					79.0
Tag 2	Do 2	75.6			64.9	65.7		76.4
Tag 3	Fr 3	73.9			64.0	64.1		80.4
Tag 4	Sa 4	77.1			66.6			75.5
Tag 5	So 5	74.9		79.3	65.5			68.2
Tag 6	Mo 6	78.0	82.3		61.9		63.8	
Tag 7	Di 7	81.3			60.8	70.9	72.1	68.6
Tag 8	Mi 8	75.5						69.1
Tag 9	Do 9	73.7			61.8	66.4		
Tag 10	Fr 10	71.6			64.4	64.0		76.1
Tag 11	Sa 11	77.5			67.3			80.6
Tag 12	So 12	73.2					56.3	79.1
Tag 13	Mo 13	73.7			65.4			
Tag 14	Di 14	73.5			61.7	61.3		
Ø meanHFreq [BPM]	75.2	83.8	80.9	64.0	64.3	74.3	74.5	

Abbildung 28: SDNN, RMSSD & mittlere Herzfrequenz über einen Tag

Gut ersichtlich sind wieder die vielen Lücken in den Daten, da wieder nur Einträge berücksichtigt wurden, die eine Aufzeichnungsdauer von mindestens 20h vorweisen konnten.

### Parameter (SDNN, RMSSD & mittlere HFreq) ablegen

Die berechneten HRV-Parameter-Werte, werden auf dem Filesystem abgelegt.

### Trends berechnen.

In diesem Schritt werden die Trends für jeden der HRV-Parameter SDNN, RMSSD & mittlere Herzfrequenz berechnet.

Hinweis: Wie bereits im einfachen Kennzahlensystem werden nur die Daten berücksichtigt, welche eine Aufzeichnungsdauer von mindestens 20h hatten. Ebenfalls wurde wieder eine lineare Regressions-Gerade zur Trendbestimmung verwendet.

### Trend interpretieren

Wie bereits Eingangs des Kapitels erwähnt, besteht kein linearer Zusammenhang zwischen Arbeitsleistung und Stress. Deshalb dürfen wieder nur die Vorzeichen der Trend-Geraden zur Interpretation herangezogen werden. In Tabelle 16 sind die Aussagen für jeden Probanden zusammengefasst worden.

Proband	SDNN	RMSSD	meanHFreq	chron.Stress
A	Sinkend	Steigend	Sinkend	Nein
B	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
C	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
D	Steigend	Sinkend	Sinkend	Nein
E	Steigend	Steigend	Sinkend	Nein
F	Sinkend	Steigend	Sinkend	Nein
G	Sinkend	Sinkend	Steigend	Ja

**Tabelle 16: Auswertung des zusammengesetzten Kennzahlensystems**

Zur Erinnerung: Damit man von chronischem Stress sprechen kann, müssen die drei Bedingungen B1-B3 erfüllt. Das heisst, die SDNN und RMSSD müssen beide einen negativen Trend aufweisen und gleichzeitig muss die mittlere Herzfrequenz einen positiven Trend aufweisen. Einzig Proband G erfüllt diese drei Bedingungen. Die Kennzahl lautet somit, einer von sieben Probanden zeigt eine Tendenz, chronischem Stress ausgesetzt zu sein oder in einer Verhältniszahl ausgedrückt  $\frac{1}{7} = 0.143$ .

## 9 Validierung

In diesem Kapitel werden die beiden Kennzahlensysteme, welche im vorangegangenen Kapitel Entwurf beschrieben wurden einer Validierung unterzogen. Als Prüfkriterien dienen die Anforderungen aus den Anforderungsquellen, welche im Kapitel 7.1 beschrieben wurden:

- Design Science, Methoden der HRV und Stressmedizin
- Forschungsfrage
- Exemplarische Erhebung

### 9.1 Design Science

Die Design Science ist ein Problemlösungsprozess (Hevner et al., 2004: 82). Die Forschungsfrage hat identifiziert, dass kein Kennzahlensystem existiert, mit welchem die chronische Stressbelastung einer Personengruppe mit einer Kennzahl beschrieben werden kann. Zur Prüfung der Anforderungen an die Design Science wird der siebenteilige Forderungskatalog von Hevner et al. (2004: 83) herangezogen. Dieser beschreibt, welchen Ansprüchen in wissenschaftlicher Hinsicht die Forschungsarbeiten aus der Design Science zu genügen haben.

Die Einhaltung folgender Kriterien werden von Hevner et al. (2004: 83) gefordert:

- Design als Artefakt: Design Science muss ein innovatives Artefakt in Form eines Konstrukts, einem Modell, einer Methode oder einer Instanz produzieren (Hevner et al., 2004: 83).
- Relevanz des Problems: Das Ziel der Design Science ist es eine technologie-basierte Lösung für wichtige und relevante Business-Probleme zu schaffen (Hevner et al., 2004: 83).
- Design-Evaluation: Nutzen, Qualität und Effektivität von einem Artefakt muss mittels rigorosen Evaluierungsmethoden gezeigt werden (Hevner et al., 2004: 83).
- Wissenschaftlicher Beitrag: Die Design Science muss klare und nachvollziehbare Beiträge in den folgenden Bereichen der Forschung leisten: Artefaktentwicklung, Grundlagen der gestaltungsorientierten Wissenschaft und Methoden (Hevner et al., 2004: 83).
- Rigorosität: In der Anwendung der Design Science müssen rigorose Forschungsmethoden für die Entwicklung und Evaluation der Artefakte angewandt werden (Hevner et al., 2004: 83).
- Suchprozess: Die Design Science setzt sich für die Entwicklung von effektiven Lösungen ein (Hevner et al., 2004: 83).
- Kommunikation der Ergebnisse: Die Ergebnisse der Design Science-Forschung sollen zielgruppenverständlich kommuniziert werden, sowohl für technisch-, als auch für management-orientierte Anspruchsgruppen (Hevner et al., 2004: 83).

## **Design als Artefakt**

Als Artefakte wurden zwei Kennzahlensysteme entwickelt, die als Modell und als halbautomatische Software-Lösung vorliegen. Die halbautomatische Lösung dient lediglich der semantischen Überprüfung der erstellten Modelle. Das Modell muss in die IT-Applikations-Architektur eines Unternehmens integriert werden.

## **Relevanz des Problems**

Der DAK (2016) hat aufgezeigt, dass die krankheitsbedingten Ausfälle aufgrund psychischer Erkrankungen in den letzten Jahren stark angestiegen sind. Krankheitsbedingte Ausfälle verursachen bei den Unternehmen Kosten. Das Ziel ist es, den Unternehmen ein Instrument zur Seite zu stellen, um Ausfälle aufgrund chronischer Stressbelastung zu verringern.

## **Design-Evaluation**

In Kapitel 3.2.1 Forschungsziele wurde definiert, dass das Kennzahlensystem keiner fundierten empirischen Beurteilung unterzogen werden soll. Es erfolgte lediglich eine Prüfung (Validierung) des Kennzahlensystems durch die Einspeisung der erhobenen Testdaten der Probanden. Aus Sicht der Praktikabilität muss angemerkt werden, dass die Probanden den Tragekomfort des eingesetzten Pulsgurtes als eher störend empfanden. Die Aufzeichnungsdauer war in der Erhebung ungenügend, da es sehr viele Unterbrüche gab.

## **Wissenschaftlicher Beitrag**

Die Forschungslücke ist, dass kein Kennzahlensystem existiert, mit welchem die chronische Stressbelastung anhand der HRV-Methoden angegeben werden kann. Durch die Entwicklung des zusammengesetzten Kennzahlensystems besteht nun die Möglichkeit eine Aussage zu treffen, wie viele Personen im Unternehmen eine Tendenz zu einer chronischen Stressbelastung aufweisen.

## **Rigorosität**

Bei der Entwicklung des Artefaktes wurden etablierte Methoden aus der Forschung verwendet. Mittels deduktivem Ansatz wurde aus etablierten Methoden der HRV und der Stressmedizin auf das Kennzahlensystem geschlossen.

## Suchprozess

Die erarbeitete Lösung kann unter Zuhilfenahme, der von der Stressmedizin empfohlenen HRV-Parameter, eine Tendenz der chronischen Stressbelastung der Mitarbeitenden im Unternehmen feststellen.

## Kommunikation der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden dem Erstbetreuer und dem Zweitbetreuer kommuniziert und eine Publikation wird geprüft.

## 9.2 Herzfrequenzvariabilität

### Forderung nach Standards

Um eine Vergleichbarkeit der Studien zu ermöglichen, fordert Peltola (2012: 8) eine detaillierte Dokumentation der eingesetzten Methoden bei der HRV-Analyse. Die Arbeit hat die verwendeten Methoden offengelegt. Für die Artefakt-Detektion wurde die Software ARTiiFACT (2013) mit dem Algorithmus von Berntson et al. (1990) und der Artefakt-Korrektur mit der kubischen Spline Interpolation eingesetzt. Zur Prüfung der Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet. Für die Berechnung der HRV-Parameter (SDNN & RMSSD) kamen die ursprünglichen Definitionen von Malik et al. (1996) zur Anwendung. Die Berechnungen wurden mithilfe der Software Scilab (2017) durchgeführt.

## 9.3 Forschungsfrage

Die Arbeit hat sich mit der folgenden Forschungsfrage auseinandergesetzt:

**FF0:** „Wie muss ein Kennzahlensystem aus Unternehmenssicht definiert sein, um die chronische Stressbelastung in einem Unternehmen zuverlässig beschreiben zu können?“

Ein Kennzahlensystem zur Bestimmung der chronischen Stressbelastung konnte gefunden werden. Das zusammengesetzte Kennzahlensystem kann bestimmen, wie viele Mitarbeitende im Unternehmen eine Tendenz zu chronischem Stress besitzen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Trends der Gesamtvariabilität (Gesundheitszustand und Wohlbefinden), der RMSSD (Mass für die Beschreibung der parasympathischen Aktivität) und der mittleren Herzfrequenz anhand des Kennzahlensystems auszuwerten.

Die Anforderungen, welche in Kapitel 2.3.3 gestellt wurden, konnten erfüllt werden:

- **Kennzahlensystem:** Zur Entwicklung des Kennzahlensystems wurden nur valide Methoden der HRV-Analyse eingesetzt. Hinweis: Um die Qualität der Ergebnisse zu verbessern sollten Aufnahmen über 24h für die Analyse zur Verfügung stehen.
- **Unternehmenssicht:** Die entwickelte Lösung ist praktikabel, jedoch muss die Aufzeichnungsdauer und der Tragekomfort der Aufzeichnungsgeräte verbessert werden. Das Unternehmen muss das Kennzahlensystem-Modell in seine IT-Architektur einbetten und muss die Um Systeme und die Aufzeichnungsgeräte zur Verfügung stellen.
- **Chronische Stressbelastung:** Das zusammengesetzte Kennzahlensystem kann eine Tendenz für eine chronische Stressbelastung der Mitarbeitenden detektieren und durch die Angabe der Anzahl betroffener Mitarbeitenden, eine quantitative Aussage machen.
- **Zuverlässigkeit:** Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist gegeben. Die Berechnungen bei gleichen Eingangswerten ergeben immer die gleichen Ausgangswerte. Die Subjektivität der Mitarbeitenden wird im Kennzahlensystem nicht berücksichtigt. Die Kennzahlensysteme sind vollständig von Messdaten abhängig und benötigen keine menschliche Interaktion.

### 9.3.1 Weitere Fragen

Neben der Forschungsfrage gab es zwei weitere Fragen, die während der Arbeit untersucht wurden:

**WF0:** „Wie könnte eine Lösung in der Zukunft aussehen?“

**WF1:** „Mit welchen Messverfahren kann die Herzfrequenzvariabilität, neben dem bereits eingesetzten EKG, analysiert werden?“

Damit eine flächendeckende Erfassung der HRV in einer Unternehmung möglich ist, braucht es Aufzeichnungsgeräte, welche eine verlässliche Datenaufzeichnung ermöglichen und einen hohen Tragekomfort aufweisen können. Die Smartwatches scheinen alles zu bieten (vor allem den Tragekomfort), was für eine HRV-Analyse notwendig wäre, aber die Genauigkeit scheint mit der Erfassung über die PPG-Sensoren (Photoplethysmogram), auch bekannt als Pulse Rating Variability, (noch) nicht akkurat genug zu sein (Pinheiro et al., 2016). Pinheiro (2016: 2945) betonen, dass sich die Sensoren in den letzten Jahren stark verbessert haben, aber nicht in jedem Fall präzise genug arbeiten. Nichtsdestotrotz scheinen Smartwatches auf dem Vormarsch zu sein, gemäss IDC (2015) wurde prognostiziert, dass für das Jahr 2016 20,1 Mio. und das Jahr 2020 54,6 Mio. Smartwatches verkauft werden. Auch wenn es nur Prognosen sind, es scheint eine grosse Erwartungshaltung gegenüber den Smartwatches zu geben.

Unter der Annahme, dass sich die Technologien im Bereich der PPG so rasant weiterentwickeln, kann davon ausgegangen werden, dass in den nächsten Jahren eine valide HRV-Analyse mit einer Smartwatch und mit Hilfe der PPG-Technologie möglich sein wird. Mit den Smartwatches ist es bereits heute möglich, Bewegungen aufgrund der integrierten Sensoren zu erkennen. Diese Fähigkeit könnte helfen, bewegungsintensive Zeitpunkte in der Datenaufzeichnung besser zu berücksichtigen. Diese Messdaten könnten dann aus der HRV-Analyse ausgeschlossen werden (Reimer et al., 2017: 3599). Diese Sensoren können auch Aufschluss über die körperlichen Aktivitäten geben. Dies würde helfen, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu verbessern.

## 9.4 Evaluation der Kennzahlensysteme

Das einfache Kennzahlensystem wurde in Kapitel 8.2.3 ausführlich durchleuchtet. Darauf aufbauen entstand das zusammengesetzte Kennzahlensystem.

Hinweis: Die teilautomatisierte Implementierung des Kennzahlensystems dient nur dazu, die Semantik des Kennzahlensystems zu überprüfen.

Den Kennzahlensystemen unterlagen folgende Anforderungen:

- A1: Einsatz von validen Methoden
- A2: Aufzeichnungsdauer pro Tag
- A3: Aufzeichnungsdauer für die Trendberechnung
- L1: Einfache Verständlichkeit
- L2: Verzicht auf Absolut-Wert-Betrachtung und Einflussfaktoren
- L3: Betrachtung der Wert-Veränderungen

Die beiden Kennzahlensysteme konnten alle Anforderungen erfüllen. Aus Sicht des Autors ist die Verständlichkeit der Kennzahlensysteme gegeben.

### Kritische Auseinandersetzung

Das zusammengesetzte Kennzahlensystem wurde mit einem Testdaten-Satz für ein Unternehmen getestet. Um die Ergebnisse zu bestätigen, braucht es weitere Tests mit verschiedenen Testdaten. Unter anderem wäre eine Überprüfung mit Daten von Probanden, bei denen eine chronische Stressbelastung von einer Fachperson diagnostiziert wurde, nötig. Damit könnte die Erkennungsrate des zusammengesetzten Kennzahlensystems festgelegt werden.

Die Messdauer war mit 15 Tagen, nicht zu Letzt wegen der schlechten Datenqualität, zu kurz. Aufgrund der Volatilität der Daten, vor allem an den Wochenenden, braucht es mindestens eine

14-tätige lückenlose Datenaufzeichnung. Es muss auch weiter untersucht werden, was die optimale Messdauer ist, um eine valide Aussage über die chronische Stressbelastung treffen zu können.

Die Aufzeichnungsdauer wurde aus Praktikabilitätsgründen (siehe: 13.1.1) kürzer als 24h gewählt. Um die Vorgaben der HRV-Analyse zu 100% zu erfüllen, müssen die Daten über die gesamten 24h vorliegen. Die Hersteller der Aufnahmegeräte sind aufgefordert, ihre Geräte stabiler gegen Unterbrüche und mit einem höheren Tragekomfort zu entwickeln.

Die Grösse der zu untersuchenden Gruppen muss untersucht werden. Bei grossen Gruppen ist es schwierig, Massnahmen einzuleiten, die dann auch bei den betroffenen Personen ankommen. Bereits bei einem mittelständischen Unternehmen mit mehr als 200 Mitarbeitenden wäre es sinnvoll, die Gruppen nach Abteilung zu gruppieren. So können Massnahmen gezielt für diese Gruppen eingeleitet werden. Wenn zum Beispiel Montagemitarbeitende in Tag- und Nachtschichten seit Monaten Überzeit leisten, macht es Sinn, dass diese Gruppe isoliert im Kennzahlensystem abgebildet ist, damit eine Aussage über ihre chronische Stressbelastung gemacht werden kann. Andernfalls ist es nur möglich unternehmensweite Massnahmen anzuordnen und zu hoffen, dass die Betroffenen profitieren können.

Für die präzisere Erkennung der chronischen Stressbelastung sind weitere HRV-Parameter nötig (siehe: Abbildung 26). Diesbezüglich ist ein valides HRV-Mass zur Bestimmung der Sympathikusaktivierung zu nennen, das in Zukunft erforscht werden sollte.

Durch das Ausmessen der Mitarbeiter wird ihr Verhalten beeinflusst. Man muss sich immer vor Augen führen, welche Anreize geschaffen werden und wie diese von den Mitarbeitern umgesetzt werden. Dies sollte in einer breitangelegten Studie überprüft werden. Es gab während der Erhebung Verhaltensänderungen der Mitarbeiter. Negative Einflüsse konnten - bis auf die Diskussionen mit der Ehefrau betreffend der aktivierten Funkverbindung im Schlafzimmer - keine festgestellt werden –

Die Kennzahlensysteme entfalten ihren vollständigen Nutzen erst, wenn sie in einem Unternehmen eingebettet werden. Erst wenn der gesamte Regelkreis aktiviert werden konnte, kann der Nutzen für eine Unternehmung bestätigt werden. Mit Regelkreis ist gemeint, dass das Management aufgrund der Resultate der Kennzahlensysteme Massnahmen ergreift und nach einer gewissen Dauer, die Messungen erneut durchführt, um zu sehen, ob die Massnahmen gefruchtet haben – eine Art „health benefit controlling“.

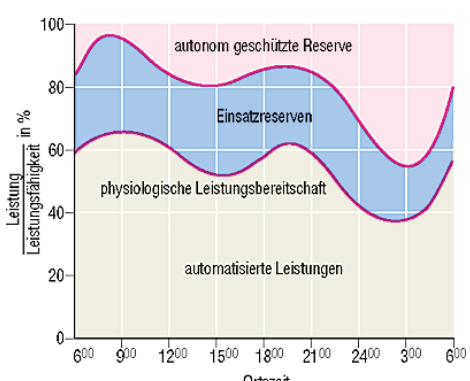


## 10 Schlusswort

Die Arbeit konnte ein einfaches und ein zusammengesetztes Kennzahlensystem entwickeln. Das einfache Kennzahlensystem quantifiziert, wie viele Mitarbeitende sich in einem guten Gesundheitszustand befinden. Das heisst, wie anpassungsfähig sie auf neue äussere und innere Einflüsse reagieren können. Mit dem zusammengesetzten Kennzahlensystem ist es möglich die Tendenz der chronischen Belastung (anhand der HRV-Parameter: SDNN, RMSSD und Herzfrequenz) der Mitarbeitenden anhand der HRV-Analyse zu erkennen. Weiter bietet es die Möglichkeit, die Anzahl der betroffenen Mitarbeitenden zu quantifizieren. Die Kennzahlensysteme brauchen keine menschlichen Eingaben und arbeiten vollständig objektiv. Eine Kalibrierung des Systems durch den Träger ist nicht notwendig, da es auf der Veränderung der HRV-Parameter basiert und nicht mit Absolut-Werten arbeitet.

Die Arbeit hat aufgezeigt, dass aus der Kombination von bereits bestehenden Technologien und Methoden einfache Kennzahlensysteme entwickelt werden können. Diese Kennzahlensysteme können für Unternehmen von grossem Nutzen sein, da Aussagen über den aktuellen Stresslevel der Mitarbeitenden gemacht werden können, worauf geeignete Massnahmen abgeleitet und umgesetzt werden können. Bevor ein potenzielles Kennzahlensystem in die Struktur von Unternehmen implementiert werden kann, sind weitere Abklärungen nötig. So müsste das Kennzahlensystem noch mit weiteren Daten getestet werden, die optimale Messperiode für eine Trendbestimmung und die optimale Gruppengrösse definiert werden.

# 11 Glossar

Begriff	Beschreibung
Autonomes Nervensystem (ANS)	„Teil des Nervensystems, das unbewusst arbeitet und alle wesentlichen Funktionsabläufe im menschlichen Organismus steuert. Reguliert, moduliert, koordiniert die Funktionen der Organe usw. Man untergliedert das autonome Nervensystem nach funktionellen und anatomischen Gesichtspunkten in sympathisches, parasympathisches und enterisches Nervensystem (ENS). Die „Kernkompetenz“ des ANS liegt in der Aufrechterhaltung der Homöodynamik des Gesamtsystems. Permanente Anpassung und Koordination erlauben ein Höchstmaß an bedarfsgerechtem Pendeln zwischen Leistung (Sympathikusanteil des ANS) und Erholung (Parasympathikusanteil des ANS)“ (Lohninger, 2017: 402).
Artefakt	„Kunstprodukt; absichtlich oder unabsichtlich herbeigeführte.“ (Roche, 2003)
Arrhythmie	„Störung einer rhythmischen Tätigkeit; i.e.S. die Störung der regelmäßigen Herzschlagfolge bei Reizbildungs- oder Reizleitungsstörung, z.B. Extra-Systolen.“ (Roche, 2003)
Baroflex	„Veränderung der Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Blutdruck. (Bortfeldt & Hoos, 2016: 35)“. Bei einem erhöhten Blutdruck, wird die Herzfrequenz gesenkt und somit auch der Blutdruck. Umgekehrt führt eine Blutdruckabsenkung zu einer Herzfrequenzsteigerung (Bortfeldt & Hoos, 2016: 36).
Elektrokardiogramm (Herzstromkurve)	„Das vom Elektrokardiographen aufgezeichnete Kurvenbild (zeitlicher Verlauf) der bioelektrischen Potentiale bzw. Potentialdifferenzen, die bei der Erregungsausbreitung u. -rückbildung im Herzen entstehen.“ (Roche, 2003).
Kardial	„Das Herz betreffend, herzbedingt (= kardiogen)“ (Roche, 2003).
Kardiovaskulär	„Herz u. Gefässe (Herz-Kreislauf-System) betreffend.“ (Roche, 2003).
Parasympathikus	„Einer der drei Teile des autonomen Nervensystems (ANS), auch als Vagus oder „Ruhenerve“ bezeichnet. Verlagert in Richtung Trophik, der Regeneration und des Aufbaus körpereigener Reserven. Sorgt für Ruhe, Erholung, Schonung, unterstützt Heilung“ (Lohninger, 2017: 409).
Physiologie	„Wissenschaft, die sich mit den Lebensvorgängen, den funktionellen Vorgängen im Organismus befasst“ (Duden)
Tachykardie	„(griech.) Anhaltend beschleunigter Puls über 100 Schläge pro Minute, ist bei körperlicher Anstrengung als normal zu betrachten“ (Lohninger, 2017: 414).
Sympathikus	„Einer der drei Teile des autonomen Nervensystems (ANS), auch als „Leistungsnerv“ bezeichnet. Bewirkt eine Leistungssteigerung des Organismus. Steht für Kampf/Flucht. Steigert u. a. Herzaktivität, Blutdruck, Durchblutung der Muskulatur, Glykolyse, Stoffwechsel“ (Lohninger, 2017: 414).
Vegetativ (autonom)	„Nicht dem Willen unterliegend; unbewusst wirkend, ablaufend. Z.B. das vegetative Nervensystem“ (Duden)
Vegetatives (autonomes) Nervensystem	„Es regelt unbewusste u. vom Willen weitgehend unabhängige innere Lebensvorgänge (Aufrechterhaltung der Homöostase) u. deren Anpassung an die Erfordernisse der Umwelt“ (Roche, 2003)
Zirkadianer Rhythmus	<p>„Tagesperiodik der Leistungsbereitschaft (Roche, 2003)</p> 

## 12 Verzeichnisse

### 12.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifikation von Arbeitsüberforderung, Burn-out und Krankheit (Berger et al., 2012: 1366)	7
Abbildung 2: Vorgehensmodell zur Konzeption von Forschungsdesigns (Braun & Esswein, 2006: 163)	13
Abbildung 3: Zusammenwirken des konstruktivistischen und behavioristischen Ansatzes in der WI in Anlehnung an Mertens (2015) und Hevner (2004: 75 ff)	14
Abbildung 4: Abhängigkeiten im Forschungsdesign (Becker et al., 2003: 5)	16
Abbildung 5: Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik (Wilde & Hess, 2006: 284)	16
Abbildung 6: UML Diagramm der Master Thesis	18
Abbildung 7: Prozessschritte bei der HRV-Analyse (Malik et al., 1996: 365)	21
Abbildung 8: EKG-Signal von einem normalen Herzschlag (Helvete, 2014)	23
Abbildung 9: Elektrophysiologie des Herzens (Tarvainen et al., 2017: 9)	24
Abbildung 10: Ausschnitt aus dem EKG Signal – der QRS Komplex (Häggström, 2014)	25
Abbildung 11: RR Intervall im EKG Signal (in Anlehnung an: Madhero88, 2010)	25
Abbildung 12: Das RR Tachogramm	26
Abbildung 13: RR Tachogramm mit Missing und Additional Beats	27
Abbildung 14: Lineare & kubische Interpolation der Artefakte	29
Abbildung 15: Pulskurve (Autonom Health, 2017)	37
Abbildung 16: Spektrogramm (Autonom Health, 2017)	38
Abbildung 17: State-of-the-Art der Prozessschritte der HRV	40
Abbildung 18: LF- und HF-Band in Anlehnung an Autonom Health (2017)	44
Abbildung 19: Schlafstadien über die Zeit (Schlafgut, 2013)	45
Abbildung 20: Anforderungsquellen an das zu entwickelnde Kennzahlensystem	47
Abbildung 21: Übersicht der Master-Thesis Durchführungsparameter	48
Abbildung 22: Zusammenfassung der gewählten Durchführungsparameter	53
Abbildung 23: Bestimmung des Trends eines Mitarbeiters (einfaches Kennzahlensystem)	63

Abbildung 24: Linearer Trend von Proband A (SDNN)	66
Abbildung 25: Linearer Trend von Proband E (SDNN)	66
Abbildung 26: Chronische Stressbelastung und die Wirkung auf Gesamt-HRV, Sympathikus, Parasympathikus & Herzfrequenz	70
Abbildung 27: Bestimmung des Trends eines Mitarbeiters (zusammengesetztes Kennzahlensystem)	72
Abbildung 28: SDNN, RMSSD & mittlere Herzfrequenz über einen Tag	73
Abbildung 29: Variabilitäts-Index Chart	91
Abbildung 30: Differenzen zum Vortag als Chart (Proband A)	93

## 12.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitbezogene Parameter der HRV-Analyse (Sammito et al., 2014: 15) .....	32
Tabelle 2: Frequenzbezogene Parameter der HRV-Analyse (Sammito et al., 2014: 16–17).....	33
Tabelle 3: Nicht-lineare Parameter der HRV-Analyse (Sammito et al., 2014: 17–18).....	33
Tabelle 4: Normwerte der zeitbezogenen Parameter (Messdauer 24h) (Malik et al., 1996: 380)35	
Tabelle 5: Normwerte der frequenzbezogenen Parameter (liegend, Messdauer 5min) (Malik et al., 1996: 380) .....	35
Tabelle 6: Farbskala Spektrogramm (Lohninger, 2017: 405) .....	39
Tabelle 7: Vergleichbare Parameter aus dem Zeit- und Frequenzbereich (Bortfeldt & Hoos, 2016: 36) .....	39
Tabelle 8: PSQ-Punktezahl der Probanden .....	56
Tabelle 9: Interpretation der PSQ-Punktezahl (Kocalevent et al., 2007: 75) .....	57
Tabelle 10: Anforderungen an Eingangsdaten des Kennzahlensystems .....	60
Tabelle 11: Anforderungen an die Logik des Kennzahlensystems .....	60
Tabelle 12: Auswertung der Datenaufzeichnung .....	64
Tabelle 13: Berechnung der SDNN .....	65
Tabelle 14: Auswertung des einfachen Kennzahlensystems .....	67
Tabelle 15: SDNN vs. Stress-Selbsteinschätzung.....	68
Tabelle 16: Auswertung des zusammengesetzten Kennzahlensystems .....	74
Tabelle 17: Wertetabelle Variabilitäts-Index .....	91
Tabelle 18: Trendbestimmung pro Tag .....	92

## 12.3 Literaturverzeichnis

- Altini, M. (2013, Dezember 1). Heart Rate Variability for Training. Abgerufen 7. Mai 2017, von <http://www.marcoaltini.com/2/post/2013/12/heart-rate-variability.html>
- Annunzio, G., Häne, D., Murati, A., & Pfister, F. (2016). Zeitreihen – nicht nur in der Energiewirtschaft (nicht publiziert). ZHAW School of Management and Law.
- ARTiiFACT. (2013). ARTiiFact - A tool for heart rate artifact processing and heart rate variability analysis. Abgerufen 7. Mai 2017, von <http://www.artiifact.de/>
- Autonom Health. (2017). Start - Autonom Health. Abgerufen 2. Mai 2017, von <https://www.autonomhealth.com/>
- Barbieri, R., & Brown, E. N. (2006). Correction of Erroneous and Ectopic Beats Using a Point Process Adaptive Algorithm (3373–3376). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.260325>
- Becker, J. (2010). Prozess der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: ein Plädoyer für Rigor und Relevanz*, 13–17.
- Becker, J., Holten, R., Knackstedt, R., & Niehaves, B. (2003). *Forschungsmethodische Positionierung in der Wirtschaftsinformatik – epistemologische, ontologische und linguistische Leitfragen* (No. 93). Münster: Westfälische Wilhelms-Universität Münster: Institut für Wirtschaftsinformatik.
- Berger, M., Schneller, C., & Maier, W. (2012). Arbeit, psychische Erkrankungen und Burn-out: Konzepte und Entwicklungen in Diagnostik, Prävention und Therapie. *Der Nervenarzt*, 83(11), 1364–1372. <http://doi.org/10.1007/s00115-012-3582-x>
- Berntson, G. G., Quigley, K. S., Jang, J. F., & Boysen, S. T. (1990). An Approach to Artifact Identification: Application to Heart Period Data. *Psychophysiology*, 27(5), 586–598. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1990.tb01982.x>
- Böckelmann, I. (2012). Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) — praktische Relevanz. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 62(5), 275–279. <http://doi.org/10.1007/BF03346164>
- Bortfeldt, S., & Hoos, O. (2016). Botschaft zwischen den Herzschlägen. *Deutsche Heilpraktiker-Zeitschrift*, 11(02), 34–40. <http://doi.org/10.1055/s-0036-1582149>
- Braun, R., & Esswein, W. (2006). Eine Methode zur Konzeption von Forschungsdesigns in der konzeptionellen Modellierungsforschung. *Data Warehousing*, 143–172.

- Braunmiller, H., & Westenfelder, N. (2015, Dezember 15). Stress – Messdaten lügen nicht. Schweizer Radio und Fernsehen SRF. Abgerufen von <https://www.srf.ch/sendungen/puls/koerper/stress-messdaten-luegen-nicht>
- Citi, L., Brown, E. N., & Barbieri, R. (2012). A Real-Time Automated Point-Process Method for the Detection and Correction of Erroneous and Ectopic Heartbeats. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(10), 2828–2837. <http://doi.org/10.1109/TBME.2012.2211356>
- DAK. (2016, März). Arbeitsunfähigkeitstage aufgrund psychischer Erkrankungen in Deutschland nach Geschlecht in den Jahren 1997 bis 2015. Abgerufen 19. November 2016, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/254194/umfrage/au-tage-aufgrund-psychischer-erkrankungen-in-deutschland-nach-geschlecht/>
- EliteHRV. (2016). Elite HRV - Heart Rate Variability. Abgerufen 6. Mai 2017, von <https://elitehrv.com/>
- Eller-Berndl, D. (2015). *Herzratenvariabilität*. Wien: Verlagshaus der Ärzte.
- Fliege, H., Rose, M., Arck, P., Levenstein, S., & Klapp, B. F. (2001). Validierung des “Perceived Stress Questionnaire“ (PSQ) an einer deutschen Stichprobe. *Diagnostica*, 47(3), 142–152. <http://doi.org/10.1026//0012-1924.47.3.142>
- Friedrichs, D., Peter, B., Pfister, E., Böse, B., & Böckelmann, I. (2009). Ergebnisse einer Herz-Kreislauf-Präventionstudie bei Angestellten einer Großstadtverwaltung. *Das Gesundheitswesen*, 71(02), e1–e9. <http://doi.org/10.1055/s-0028-1087181>
- Giles, D., Draper, N., & Neil, W. (2016). Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 116(3), 563–571. <http://doi.org/10.1007/s00421-015-3303-9>
- Häggsström, M. (2014). QRS Komplex - Medical gallery of Mikael Häggsström 2014. In *Wikipedia*. Abgerufen von [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=QRS\\_complex&oldid=757365290](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=QRS_complex&oldid=757365290)
- Hamilton, P. S., & Tompkins, W. J. (1986). Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-33(12), 1157–1165. <http://doi.org/10.1109/TBME.1986.325695>
- Haurand, C., Ullrich, H., & Weniger, M. (2015). *Stressmedizin: Beratung, vorbeugung, behandlung*. Abgerufen von <http://site.ebrary.com/id/11015045>
- Helvete, D. H. H. van. (2014). *Das normale EKG und seine Anteile*. Abgerufen von [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EKG\\_Complex\\_en.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EKG_Complex_en.svg)

- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105.
- Hoos, O., Gläser, S., & Sommer, H.-M. (2006). Untersuchung zur Ursache von Artefakten in der mobilen Erfassung der Herzfrequenzvariabilität bei Laufbelastungen. Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft (Hrsg.) (Bd. 162, 188–196). Hamburg: Czwalina.
- IDC. (2015). Prognose zum Absatz von Smartwatches weltweit in den Jahren 2016 und 2020 (in Millionen Stück). In Statista - Das Statistik-Portal. Abgerufen 19. Mai 2017, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/500483/umfrage/prognose-zum-weltweiten-absatz-von-smartwatches/>
- Kaufmann, T., Sütterlin, S., Schulz, S. M., & Vögele, C. (2011). ARTiiFACT: a tool for heart rate artifact processing and heart rate variability analysis. *Behavior Research Methods*, 43(4), 1161–1170. <http://doi.org/10.3758/s13428-011-0107-7>
- Kocalevent, R.-D., Levenstein, S., Fliege, H., Schmid, G., Hinz, A., Brähler, E., & Klapp, B. F. (2007). Contribution to the construct validity of the Perceived Stress Questionnaire from a population-based survey. *Journal of Psychosomatic Research*, 63(1), 71–81. <http://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2007.02.010>
- Levenstein, S., Prantera, C., Varvo, V., Scribano, M. L., Berto, E., Luzi, C., & Andreoli, A. (1993). Development of the perceived stress questionnaire: A new tool for psychosomatic research. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(1), 19–32. [http://doi.org/10.1016/0022-3999\(93\)90120-5](http://doi.org/10.1016/0022-3999(93)90120-5)
- Lohninger, A. (2017). *Herzratenvariabilität das HRV-Praxis-Lehrbuch* (1. Auflage). Wien: Facultas.
- Loimaala, Sievänen, Laukkanen, Pärkkä, Vuori, & Huikuri. (1999). Accuracy of a novel real-time microprocessor QRS detector for heart rate variability assessment. *Clinical Physiology*, 19(1), 84–88. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2281.1999.00152.x>
- Madhero88. (2010). *ECG Signal*. Abgerufen von [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tachycardia\\_ECG\\_paper.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tachycardia_ECG_paper.svg)
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <http://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
- Mertens, P. (2015, Juni). Wirtschaftsinformatik — Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. Abgerufen 14. November 2016, von <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/uebergreifendes/Disziplinen%20der%20WI/Wirtschaftsinformatik>



- Mockenhaupt, J. (2009). Herzfrequenzvariabilität als Indikator mentaler Anspannung. In C. Zacharias, K. W. ter Horst, K.-U. Witt, V. Sommer, M. Ant, U. Essmann, & L. Mühlheims (Hrsg.), *Forschungsspitzen und Spitzenforschung* (353–363). Heidelberg: Physica. Abgerufen von [http://link.springer.com/10.1007/978-3-7908-2127-7\\_31](http://link.springer.com/10.1007/978-3-7908-2127-7_31)
- NIST/SEMATECH. (2012, April). Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit Test - NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. Abgerufen 1. Mai 2017, von <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>
- Österle, H., Winter, R., & Brenner, W. (Hrsg.). (2010). *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: ein Plädoyer für Rigor und Relevanz*. Nürnberg: Infowerk.
- Peltola, M. A. (2012). Role of editing of R–R intervals in the analysis of heart rate variability. *Frontiers in Physiology*, 3. <http://doi.org/10.3389/fphys.2012.00148>
- Pfister, E. A., Böckelmann, I., Seibt, R., Stoll, R., & Weippert, M. (2007). Arbeitsmedizinische Bedeutung der Herzschlagfrequenzvariabilität. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 57(6), 158–166. <http://doi.org/10.1007/BF03349119>
- Piechulla, W. (2001). Psychophysiologie I: Herzratenindikatoren. Universität Regensburg. Abgerufen von <http://www.walterpiechulla.de/seminarPapers/Herzratenindikatoren.pdf>
- Pinheiro, N., Couceiro, R., Henriques, J., Muehlsteff, J., Quintal, I., Goncalves, L., & Carvalho, P. (2016). Can PPG be used for HRV analysis? (2945–2949). IEEE. <http://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591347>
- Pohl, K. (2008). *Requirements Engineering: Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. Heidelberg: dpunkt.
- Polar. (2015, Februar). H6 and H7 Heart rate sensors - Polar Developers. Abgerufen 6. Mai 2017, von [https://developer.polar.com/wiki/H6\\_and\\_H7\\_Heart\\_rate\\_sensors](https://developer.polar.com/wiki/H6_and_H7_Heart_rate_sensors)
- Reimer, U., Laurenzi, E., Maier, E., & Ulmer, T. (2017). Mobile Stress Recognition and Relaxation Support with SmartCoping: User-Adaptive Interpretation of Physiological Stress Parameters (3597–3606). Gehalten auf der HICSS-50, Hawaii.
- Roche. (2003). Roche Lexikon Medizin. Abgerufen 10. November 2016, von <http://www.roche.de/lexikon/index.htm?userInput=Suche%20im%20Roche%20Lexikon&loc=www.roche.de>
- Sammito, S., & Böckelmann, I. (2015). Analyse der Herzfrequenzvariabilität: Mathematische Basis und praktische Anwendung. *Herz*, 40(S1), 76–84. <http://doi.org/10.1007/s00059-014-4145-7>

Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klussmann, A., Weippert, M., & Böckelmann, I. (2014). AWMF Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. <http://doi.org/10.13140/2.1.5052.7684>

Schlafgut. (2013). *Deutsch: Hypnogramm - ein Schlafzyklus*. Abgerufen von [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hypro\\_zyklus\\_1\\_de\\_103.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hypro_zyklus_1_de_103.svg)

Scilab. (2017). Home - Scilab. Abgerufen 19. Mai 2017, von <http://www.scilab.org/>

Stadler, P. (2006). *Psychische Belastungen am Arbeitsplatz – Ursachen, Folgen und Handlungsfelder der Prävention (1–9)*. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.

Tarvainen, M. P., Lipponen, J., Niskanen, J.-P., & Ranta-aho, P. O. (2017, Januar 24). Kubios HRV (ver. 3.0) USER'S GUIDE. Kubios. Abgerufen von [http://www.kubios.com/downloads/Kubios\\_HRV\\_Users\\_Guide.pdf](http://www.kubios.com/downloads/Kubios_HRV_Users_Guide.pdf)

Vincent, J. (2017, Februar 16). 99.6 percent of new smartphones run Android or iOS. Abgerufen 6. Mai 2017, von <https://www.theverge.com/2017/2/16/14634656/android-ios-market-share-blackberry-2016>

Wikipedia. (2017, März 29). Arbeitsleistung. In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Arbeitsleistung&oldid=164052223>

Wilde, T., & Hess, T. (2006). *Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik: Überblick und Portfoliobildung*. Arbeitspapiere des Instituts für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, LMU München.

Wittling, W., & Wittling, R. A. (2012). *Herzschlagvariabilität: Frühwarnsystem, Stress- und Fitnessindikator*. Heilbad Heiligenstadt: Eichsfeld.

## 13 Anhang

### 13.1 Ausgeschiedene Kennzahlensysteme

In den Kapiteln 8.2 und 8.3 wurden das einfache Kennzahlensysteme und zusammengesetzte Kennzahlensystem vorgestellt. In diesem Kapitel werden die Ansätze, die während der Entwicklung der Kennzahlensysteme nicht weiter verfolgt wurden, beschrieben.

#### 13.1.1 Variabilitäts-Index

In der ersten Vision der Kennzahlensysteme wollte man anhand eines Variabilitäts-Index das Kennzahlensystem aufbauen. Ausgehend von der Tages-SDNN (Gesamtvariabilität) der Probanden A-G wollte man die Summe der SDNN aller Probanden pro Tag (siehe: Tabelle 17) als Gesamtwert nehmen und diesen über die Zeit analysieren (siehe: Abbildung 29).

Wochentag	Di 0.	Mi 1.	Do 2.	Fr 3.	Sa 4.	So 5.	Mo 6.	Di 7.	Mi 8.	Do 9.	Fr 10.	Sa 11.	So 12.	Mo 13.	Di 14.
<b>A</b>	83.2	114.0	120.5	121.5	140.5	117.3	118.1	122.3	106.3	119.2	114.5	139.0	108.1	121.6	106.0
<b>B</b>	96.6	131.5	87.1	103.8	142.2	132.4	116.6	128.1	114.3	106.8	97.6	102.3	121.1	123.2	98.6
<b>C</b>	0.0	0.0	0.0	96.0	106.7	128.7	118.4	80.9	111.6	77.0	93.0	75.0	111.4	116.3	88.7
<b>D</b>	171.3	197.9	131.9	186.3	180.6	175.5	173.5	197.5	190.4	175.8	173.4	170.7	176.3	158.6	174.3
<b>E</b>	135.0	152.2	147.7	139.1	157.4	189.5	203.8	200.9	151.5	140.9	165.1	179.6	164.0	186.9	201.2
<b>F</b>	177.1	198.4	140.7	176.9	112.9	157.9	130.1	160.0	123.8	151.4	115.6	140.4	112.3	132.7	149.7
<b>G</b>	188.9	190.1	225.5	143.6	157.1	197.3	169.8	200.5	207.7	191.5	155.3	152.8	163.2	203.0	202.0
<b>Σ SDNN</b>	852.1	984.1	853.3	967.3	997.5	1098.6	1030.4	1090.3	1005.8	962.7	914.5	959.9	956.5	1042.3	1020.5

Tabelle 17: Wertetabelle Variabilitäts-Index

Das Chart in Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der Tagessumme der SDNN der einzelnen Probanden.

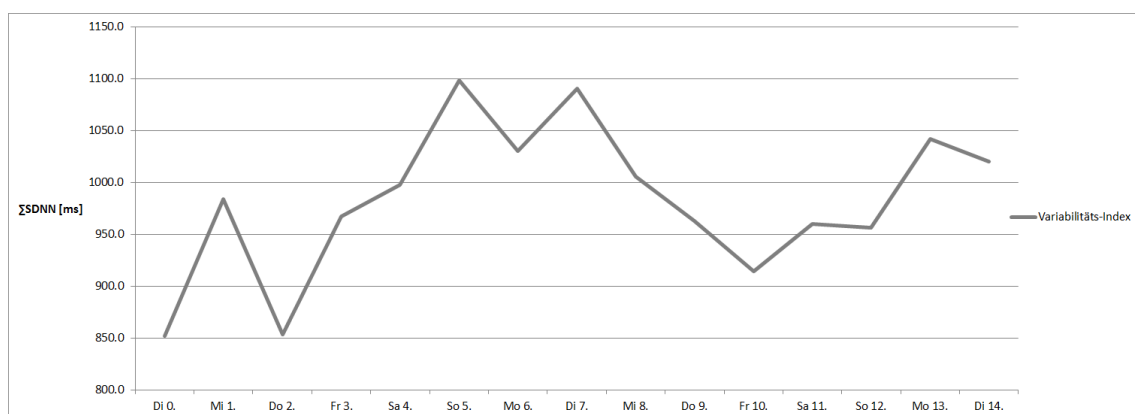


Abbildung 29: Variabilitäts-Index Chart

#### Diskussion/Kritik

Bei der Evaluierung des Kennzahlensystems wurde festgestellt, dass es gegen die Grundsätze der HRV Methoden verstösst. Die HRV-Methoden können nur individuell auf eine Person be-

zogen werden. Die Bildung der Summe über alle Mitarbeiter würde zu einer Verwässerung der individuellen Ergebnisse führen.

Zur Veranschaulichung: Probanden C-G würden die gleiche individuelle HRV am Tag X-1 und X vorweisen. Proband A würde am Tag X eine Zunahme der HRV um 10ms erfahren und Probanden B eine Abnahme um 10ms. Durch die Summenbildung würden die Veränderungen nicht abgebildet, da es das gleiche Endresultat wie am Tag X-1 ergeben würde.

Das grösste Problem war jedoch, dass die Werte nicht über 24h für jeden Probanden verfügbar waren. Deshalb wurde die Anforderung A2: Aufzeichnungsdauer pro Tag eingeführt. Diese besagt, dass die Tages-SDNN in die Berechnungen nur einfließen darf, wenn mindestens 20h Aufnahmedauer für den jeweiligen Tag existiert. Diese Einschränkung wurde aus Praktikabilitätsgründen eingeführt, weil ansonsten zu wenige Testdaten für die Validierung des Kennzahlensystem-Modells zur Verfügung standen.

### 13.1.2 Trendbestimmung pro Tag

Die Trendbestimmung pro Tag wurde entwickelt mit dem Ziel, die Änderungsgeschwindigkeit der SDNN bestimmen zu können. Die Analogie sollte aus den Formeln der Physik entstehen. Die erste Ableitung des Weges nach der Zeit entspricht der Geschwindigkeit und die zweite Ableitung des Weges nach Zeit entspricht der Beschleunigung. Die Idee dahinter war, dass man hätte auf die Beschleunigung der SDNN schliessen können. Daraus hätte man schliessen können, dass sich die Änderungen der SDNN einer Person stärker oder weniger stark verändern über die Tage und so Aussagen zur Anspannung machen können.

Die Tabelle 18 zeigt für Proband A die gemessenen Tages-SDNN-Werte, die Differenz zwischen dem aktuellen Tag und den vorangehenden und ob sich um eine positive Änderung oder negative Änderung handelt.

Wochentag	A	Differenz	Trend
Di 0.	83.2		
Mi 1.	114.0	30.9	1
Do 2.	120.5	6.4	1
Fr 3.	121.5	1.0	1
Sa 4.	140.5	19.1	1
So 5.	117.3	-23.3	-1
Mo 6.	118.1	0.9	1
Di 7.	122.3	4.2	1
Mi 8.	106.3	-16.1	-1
Do 9.	119.2	13.0	1
Fr 10.	114.5	-4.7	-1
Sa 11.	139.0	24.5	1
So 12.	108.1	-30.9	-1
Mo 13.	121.6	13.5	1
Di 14.	106.0	-15.5	-1

**Tabelle 18: Trendbestimmung pro Tag**

Die jeweiligen Tages-Differenzen in ms wurden in Abbildung 30 illustriert. Gut zu erkennen, dass sich die Werte sehr volatil verhalten.

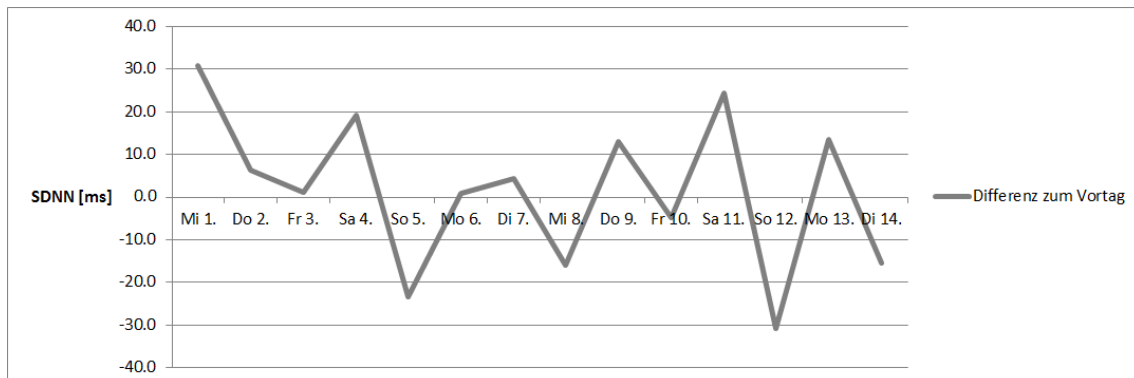


Abbildung 30: Differenzen zum Vortag als Chart (Proband A)

### Diskussion/Kritik

Die Volatilität der Daten wurde unterschätzt. Wie sich herausstellt, variiert die SDNN in Abhängigkeit vom Wochentag. Es hat sich gezeigt, dass die HRV an den Wochenenden ansteigt und dann wieder ab Sonntag/Montag wieder abflacht. Um eine Analogie zu den physikalischen Formeln hätte man die Werte mit Filtern Glätten müssen. Dies hätte zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt (z.B. ein gleitender Mittelwertfilter führt zu einer Tiefpassfilterung der Werte). Aus diesem Grund wurde der Ansatz nicht weiterverfolgt und aus der Erkenntnis, dass die SDNN Schwankungen unterliegt wurde die Anforderung A3: Aufzeichnungsdauer für Trendberechnung in den allgemeinen Anforderungen aus Kapitel 8.1 ergänzt.

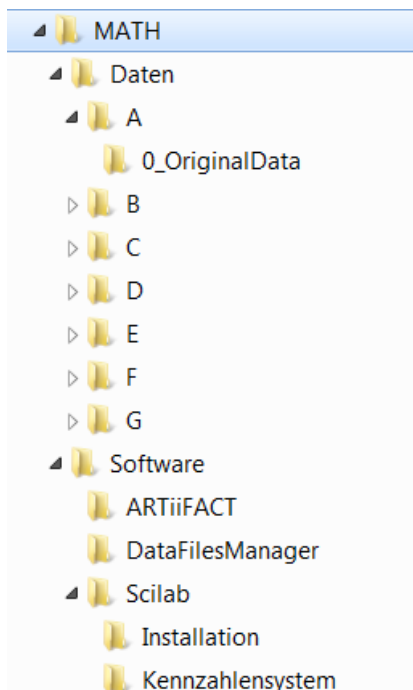
## 13.2 Bedienungsanleitung

Die Bedienungsanleitung zeigt Schrittweise, wie die Implementierung des Kennzahlensystems bedient werden muss.

### 13.2.1 Ordnerstruktur

Die mitgelieferten Daten sind wie folgt strukturiert:

- Daten: Der Ordner Daten enthält alle Daten der Probanden A-G. Jeder Proband hat am Anfang den Ordner: 0\_Originaldata. In diesem Ordner befinden sich alle Aufzeichnungen der EliteHRV App.
- Software: Der Ordner Software enthält die eingesetzte Software, welche benötigt wird um die Implementierung des Kennzahlensystems zu betreiben.
  - ARTiiFACT: Ist die Software, welche eingesetzt wird um die Artefakte zu detektieren & korrigieren und um die Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zu evaluieren.
  - DataFilesManager: Der Ordner DataFilesManager enthält eine Anwendung um aus den vielen einzelnen Dateien eine einzige zu machen.
  - Scilab: Der Ordner Scilab enthält die Installationsdateien für das Programm Scilab und die Scripts um das Kennzahlensystem zu betreiben.



Hinweis: Die Ordnerstruktur darf nur ab dem Wurzelverzeichnis MATH verschoben werden. Die Ordner innerhalb der Struktur müssen genau so bleiben, da die Pfade von den Scripts relativ auf die Ordner zeigen.

## 13.2.2 Installation

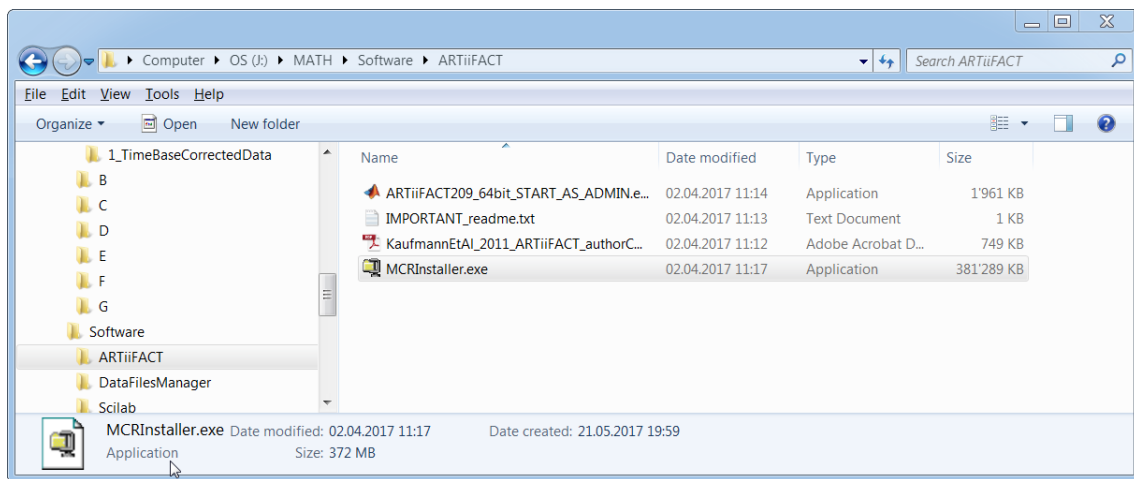
Es wurde Scilab 5.5.2 und Microsoft Visual Studio 2010 als Entwicklungswerkzeuge eingesetzt. Die Installation von Microsoft Visual Studio 2010 ist nicht zwingend erforderlich.

### Scilab

Standardinstallation, einfach durch klicken.

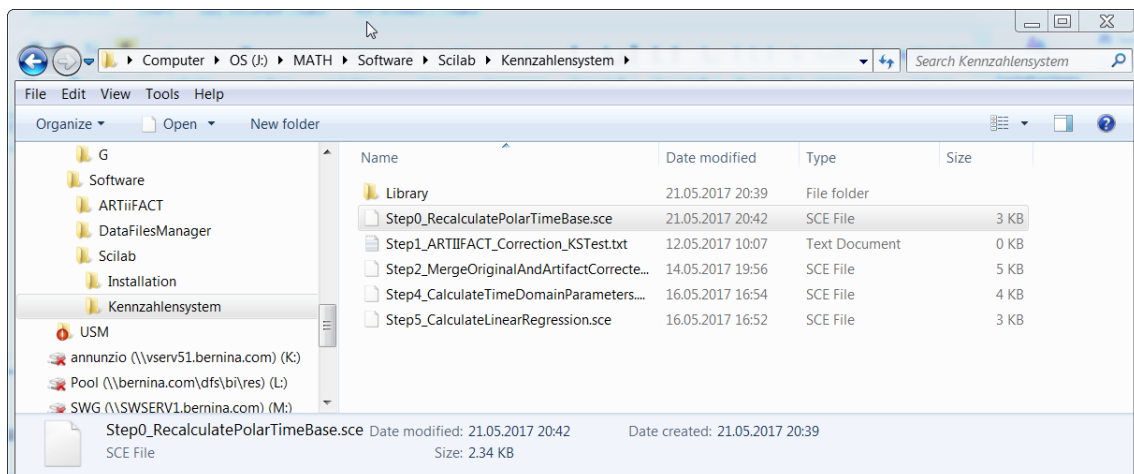
### ARTiiFACT

Die Software ARTiiFACT braucht das Matlab-Redistribution Package: MCRInstaller.exe

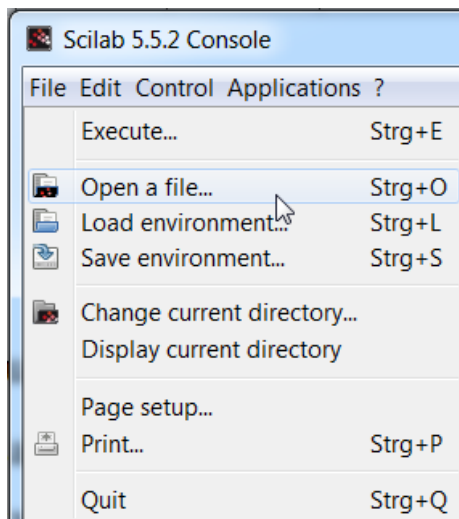


## 13.2.3 Bedienung

Die Scripts zur Ausführung des Kennzahlensystem liegen im Verzeichnis:  $\$MATH\Software\Scilab\Kennzahlensystem$ .



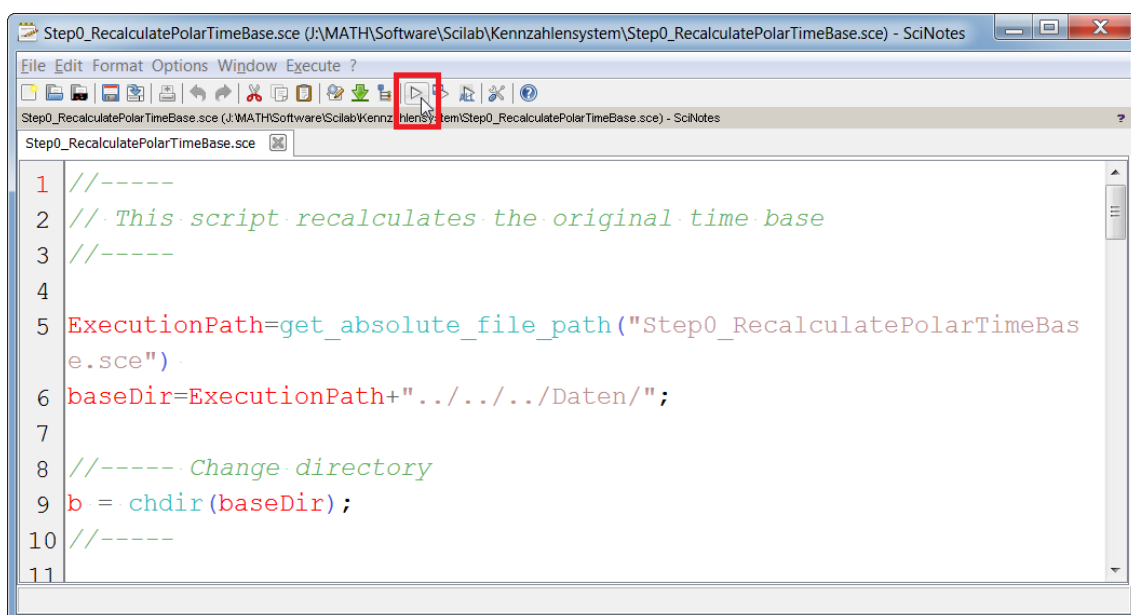
Die Scripts können nach dem Start von Scilab über File > Open a file geöffnet werden.



### Schritt 0

Im Schritt 0 muss das Script: „Step0\_RecalculatePolarTimeBase.sce“ ausgeführt werden. Dieses Script geht alle Daten der Probanden A-G durch und konvertiert die Zeitbasis der Original-Daten aus dem Verzeichnis 0\_OriginalData von 1/1024Sekunde auf 1/1000Sekunden (der Polar H7 Pulsgurt, liefert die Daten mit einer Zeitbasis von 1/1024Sekunde).

Das Script kann ausgeführt werden durch das drücken des Symbols-Play (roter Rand)

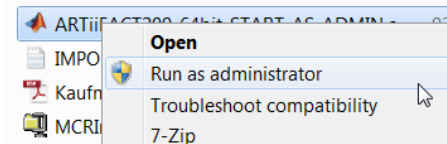


Das Script braucht einige Minuten bis die Daten konvertiert sind. Wenn das Script fertig ist, enthält jeder Ordner der Probanden ein neues Verzeichnis mit dem Namen: „1\_TimeBaseCorrectedData“.



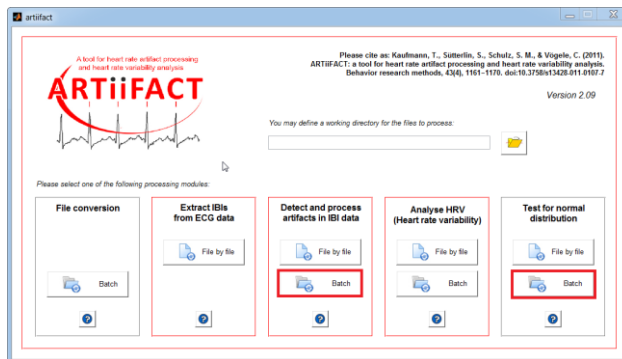
## Schritt 1

Im Schritt 1 muss die Software ARTiiFACT als Administrator gestartet werden. **ACHTUNG:** Das Matlab-Redistribution-Package muss installiert sein! (siehe: 13.2.2).



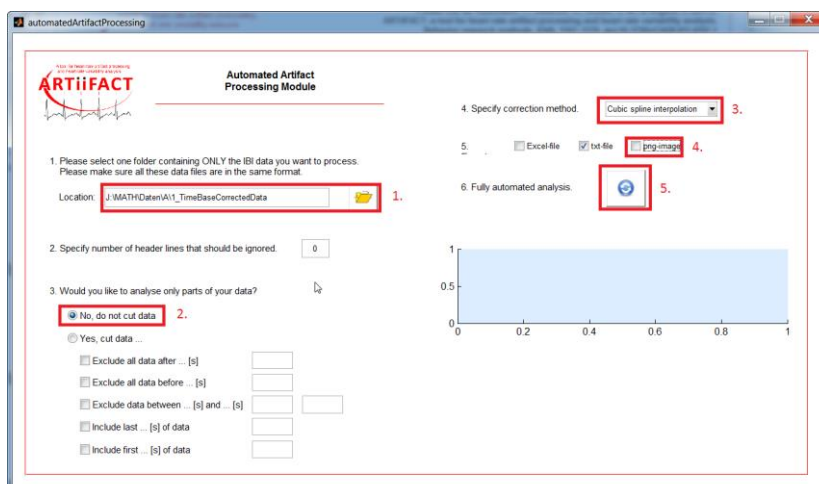
Für jeden Probanden müssen nun von Hand zwei Operationen durchgeführt werden:

- Detect and process artifacts in IBI data -> Batch
- Test for normal distribution -> Batch



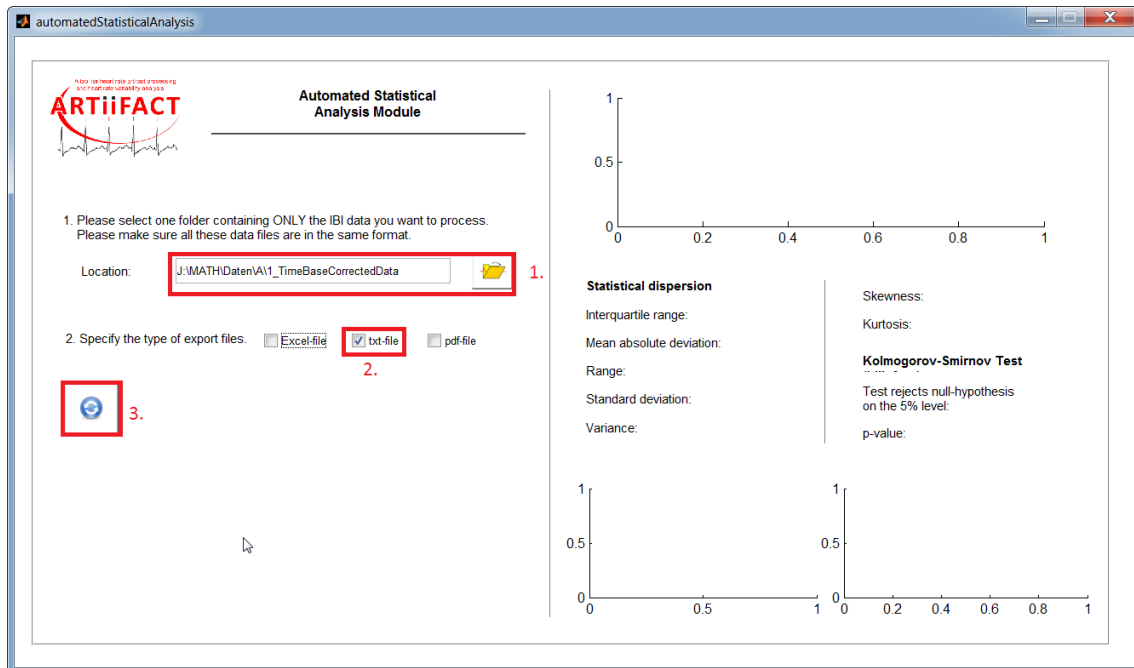
### *Detect and process artifacts in IBI data*

1. Wähle den Ordner 1\_TimeBaseCorrectedData (aus dem Probanden Verzeichnis)
2. Setze „No, do not cut data“
3. Wähle „Cubic Spline Interpolation“
4. Deselektiere: „png-image“ (sonst macht die Software für jeden Eintrag ein Bild)
5. Run Analysis



## Test for normal distribution

1. Wähle den Ordner 1\_TimeBaseCorrectedData (aus dem Probanden Verzeichnis)
2. Wähle nur „txt-file“ an
3. Run Analysis

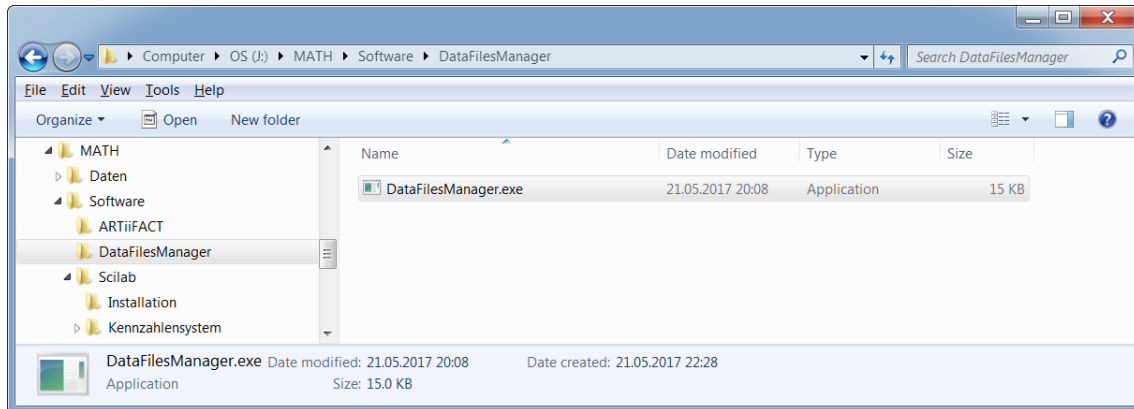


## Schritt 2

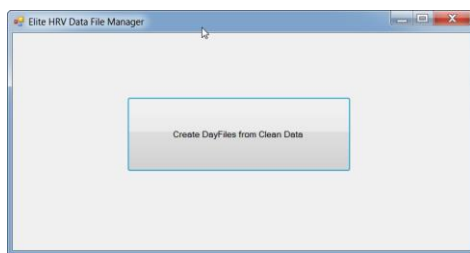
Im Schritt 2 muss das Script: „Step2\_MergeOriginalAndArtifactCorrectedSignal.sce“ ausgeführt werden. Das Script öffnet alle Dateien aus dem Ordner 1\_ TimeBaseCorrectedData und vergleicht die Original Daten mit den korrigierten Daten. Dabei werden diejenigen Daten übernommen, welche Normalverteilt sind und einen Artefaktgehalt von bis max. 5% besitzen. Diejenigen Daten die diese beiden Anforderungen erfüllen werden im Ordner in 2\_CleanData abgelegt.

### Schritt 3

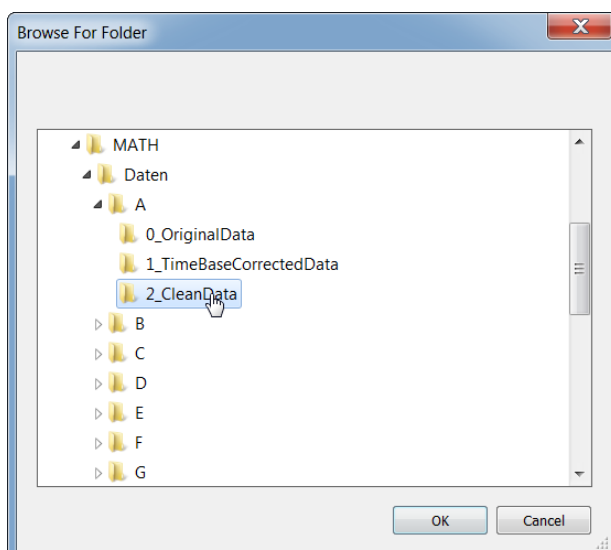
Für den Schritt 3 muss die Software DataFileManager gestartet werden (\$/MATH/Software/DataFileManager/):



Dieser Schritt muss ebenfalls für jeden Probanden einzeln ausgeführt werden.



Im Dialog Fenster muss nun das 2\_CleanData Verzeichnis des Probanden ausgewählt werden. Nachdem alle Files für diesen Tag zusammengeführt wurden, werden diese im 3\_DayData Verzeichnis abgelegt.



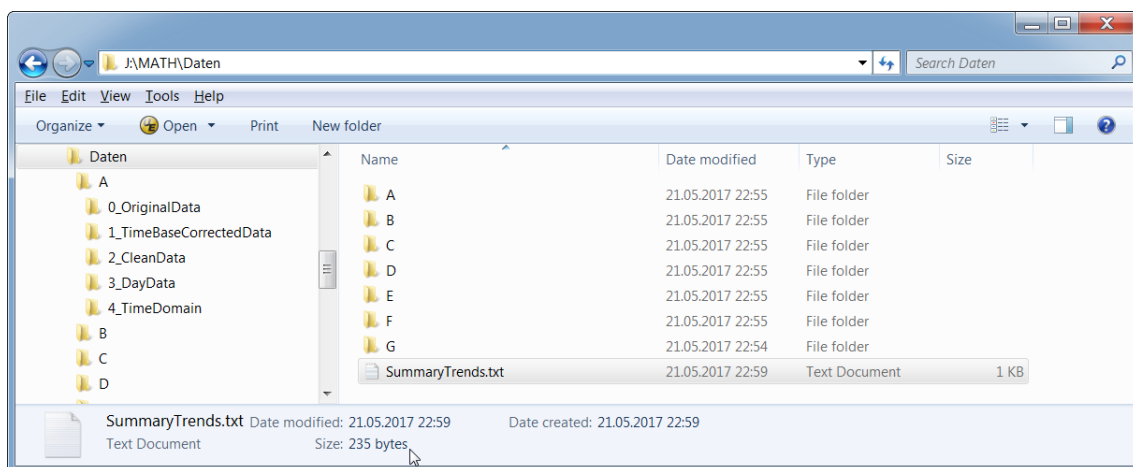
## Schritt 4

Im Schritt 4 muss das Script: „Step4\_CalculateTimeDomainParameters.sce“ ausgeführt werden. In diesem Schritt werden die HRV-Parameter SDNN, RMSSD und mittlere Herzfrequenz berechnet und im Verzeichnis 4\_TimeDomain als Datei SummaryTimeDomain.txt abgelegt.

## Schritt 5

Im Schritt 5 muss das Script: „Step5\_CalculateLinearRegression.sce“ ausgeführt werden. In diesem Schritt wird die Trendanalyse durchgeführt.

Das Resultat der Trendanalyse wird im MATH\Daten Verzeichnis abgelegt in der Datei SummaryTrends.txt.



## Resultate

Die Datei SummaryTrends.txt enthält folgende Informationen:

	SDNN	RMSSD	mean Hfreq	#deleted
G	-4.2761971	-1.1023732	0.439513	10
F	-5.6121553	0.729556	-0.5381517	11
E	2.5593386	0.7456182	-0.4824327	9
D	0.2805572	-0.1405184	-0.0716627	7
C	3.5640105	2.0617509	-1.4366333	13
B	0	0	0	16
A	-0.8826449	0.1062799	-0.2102457	4

Die Steigung der Trends: SDNN, RMSSD und der mittlere Herzfrequenz. Aus diesen kann man entweder die Interpretation für das einfache Kennzahlensystem (SDNN↓) oder das zusammengesetzte Kennzahlensystem (SDNN↓ & RMSSD↓ & meanHF↑) bestimmen.