

**Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen  
Abteilung Innere Medizin VI**

**(Schwerpunkt: Psychosomatische Medizin und Psychotherapie)**

**Ärztlicher Direktor: Professor Dr. S. Zipfel**

**Untersuchung des autonomen Nervensystems bei  
Harvesterfahrern unter Arbeitsbedingungen**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Thomas Michael Mooz**

**aus**

**Villingen-Schwenningen**

**2010**

**Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen**

**Abteilung Innere Medizin VI**

**(Schwerpunkt: Psychosomatische Medizin und Psychotherapie)**

**Ärztlicher Direktor: Professor Dr. S. Zipfel**

**Untersuchung des autonomen Nervensystems bei  
Harvesterfahrern unter Arbeitsbedingungen**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Thomas Michael Mooz**

**aus**

**Villingen-Schwenningen**

**2010**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. Dipl.-Psych. P. Enck

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. H. Franz



# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1	Arbeitsfeld Harvester	7
<b>2.</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1	physiologische Grundlagen	11
2.2	Funktionsprinzip der Messung	12
2.3	Zielsetzung	15
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>17</b>
3.1	Probanden	17
3.2	Vorgehensweise	18
3.3	Erhebungs- und Messinstrumente	19
3.3.1	Feldmessung	19
3.3.1.1	Pulsuhr	19
3.3.1.2	Fragebogenheft	19
3.3.2	Labormessung	20
3.3.2.1	Pulsuhr	20
3.3.2.2	TaskForce-Monitor	20
3.4	Ausführung	22
3.4.1	Feldmessung	22
3.4.2	Labormessung	23
3.4.2.1	RSA	24
3.4.2.2	Stroop	24
3.4.2.3	Valsalva	24
3.4.2.4	Rechentest	25
3.4.2.5	Orthostase-Test	25
3.4.2.6	Ablauf der Testbatterie	26

3.5	Auswertung	27
3.5.1	Zeit-Bereich Parameter	27
3.5.1.1	Herzschlagfrequenz	28
3.5.1.2	Standardabweichung der HF	29
3.5.1.3	RMSSD	30
3.5.2	Frequenz-Bereich Parameter	30
3.5.2.1	LF/HF-Ratio	33
3.5.2	Fragebögen	34
3.5.2.1	Fahrerspezifischer Fragebogen	34
3.5.2.2	Fortlaufender Fragebogen	34
3.5.3	Angestellte Vergleiche	36
3.5.3.1	TaskForce – Suunto	36
3.5.3.2	Individuelle HRV-Muster	37
3.5.3.3	Labor – Feld	38
3.5.3.4	Fragebögen – Pulsuhrdaten	39
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>40</b>
4.1	TaskForce – Suunto	40
4.2	Individuelle HRV-Muster	41
4.3	Labor – Feld	45
4.3.1	Zeit-Bereich Parameter	45
4.3.1.1	HF und Standardabweichung	46
4.3.1.2	RMSSD	47
4.3.1.3	Gesamtbetrachtung	48
4.3.1.4	T-Test	49
4.3.2	Frequenz-Bereich Parameter	52
4.3.2.1	Prozentuale Werte	52
4.3.2.2	Absolute Werte und LF/HF-Ratio	54
4.3.2.3	T-Test	55
4.3.3	Resümee der Ergebnisse aus 4.3.1 und 4.3.2	56

4.4	Fragebögen	57
4.4.1	Fahrerspezifischer Fragebogen	57
4.4.2	Fortlaufender Fragebogen	57
4.5	Fragebögen – Pulsuhrdaten	60
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>61</b>
5.1	HRV als alleiniger Indikator einer Stressbelastung	61
5.2	Einflussfaktoren auf die HRV	62
5.3	VLF, LF und HF –Verhalten unter Anstrengung und Stress	62
5.4	LF/HF-Ratio –Maßstab der vegetativen Balance	63
5.5	RMSSD und Standardabweichung	65
5.6	Reflexion der Zielsetzung	65
5.6.1	Fragestellung 1	66
5.6.2	Fragestellung 2	68
5.7	Stichprobe	72
<b>6.</b>	<b>Ausblick: Zukünftige Verfahren</b>	<b>73</b>
6.1	Erhebung der Beanspruchung anhand der Herzratenvariabilität	73
6.2	Erhebung der Beanspruchung anhand subjektiver Empfindung	73
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>74</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	<b>78</b>
9.1	Fahrerspezifischer Fragebogen	78
9.2	Fortlaufender Fragebogen (Bogen 1)	80
<b>10.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>81</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Arbeitsfeld Harvester

In der vorgelegten Arbeit wurde die psychische Beanspruchung von Harvesterfahrern im Feld untersucht. Als Kennwerte wurden verschiedene Parameter des Herzkreislaufsystems herangezogen. Dazu wurde mittels eines ambulanten Systems die Herzrate der Fahrer während X-Stunden kontinuierlich aufgezeichnet und später offline ausgewertet. Die Fahrer wurden vorab in einer Labormessung unter kontrollierten Bedingungen verschiedenen bereits validierten kardiovaskulären Stressoren ausgesetzt. Ergänzend wurde die subjektiv empfundene psychische Beanspruchung während der Arbeit mit Hilfe von Fragebögen erfasst, die anhand von Multiple-Choice-Fragen die wahrgenommenen mentalen Beanspruchungen bestimmen sollten.

Harvesterfahrer sind Fahrzeugführer so genannter Holzvollerntemaschinen (siehe Abbildung 1). Diese Art der Holzernte ermöglicht neben der Fällung die direkte Weiterverarbeitung des gefällten Baumes vor Ort. In einem Arbeitsgang wird ein Baum gefällt, entastet und entrindet. Ohne den Arbeitsfluss zu unterbrechen, wird der verbleibende Stamm in passende Längen je nach angestrebter Verwendung zerlegt. Die fertigen und abgelegten Sortimente (=Längen) werden zu einem späteren Zeitpunkt abgeholt.



Abbildung 1: Harvester / Holzvollerntemaschine Foto: Thomas Mooz

Weil die Arbeitsvorgänge ohne Handarbeit ablaufen, bezeichnet man diese auch als "vollmechanisierte" Holzernte. In den europäischen Wäldern, aber auch insbesondere in Deutschland kommen Harvester mehr und mehr zum Einsatz.

Wie bei näherer Betrachtung der Abbildung anhand des Fahrwerks erkennbar ist, zeichnen sich Harvester vor allem durch ihre Geländegängigkeit und ihre variablen Einsatzmöglichkeiten aus. Besonders beeindruckend ist die Wendigkeit in Relation zu der enormen Größe des Fahrzeuges, mit der ein erfahrener Maschinenführer in der Lage ist, sich zwischen den Bäumen zu bewegen. Dies setzt ein überdurchschnittliches feinmotorisches Geschick und ein hohes Konzentrationsniveau zur Steuerung der Maschine mittels Joysticks voraus (Berger 2002; Berger und Köckeis 2005).

Die Steuerung erfolgt mittels, einer für den Laien unübersichtlichen Anzahl an Hebeln und Fußpedalen, die der Fahrer simultan bedient. Die Kontrolle der zu beachtenden Parameter (wie Gefälle, Bewegungen des Greifarms etc.) erfolgt über im Fahrzeug angebrachte Anzeigetafeln und Computermonitore.

Diese Kombination mit der fast zeitgleich zu treffenden Entscheidung über Ausformung und ideales Ablegen der verschiedenen Sortimente stellt hohe Anforderungen dar (Tartarotti 2006).

Der Einsatzschwerpunkt von Holzvollerntern in der Forstwirtschaft liegt in der so genannten Durchforstung von Waldbeständen. Bei einer Durchforstung werden Bäume gefällt, die andere Bäume mit einer guten Veranlagung in ihrem Wachstum behindern. Durch eine entsprechende Bereinigung können die verbleibenden Bäume besser wachsen, denn sie erhalten mehr Raum für ihre Kronen und Wurzeln. Der Wald wird insgesamt widerstandsfähiger gegen Stürme und andere Schadensereignisse.

Die Aufarbeitung von Sturmholz ist ein zusätzliches Einsatzgebiet von Harvestern. In Deutschland wurden sie erstmals in großem Umfang zur Aufarbeitung der anders nicht zu bewältigenden Windwürfe durch die Orkantiefs „Vivian“ (26. Februar 1990), „Wiebke“ (1. März 1990), „Lothar“ (26. Dezember 1999) und „Kyrill“ (18. Januar 2007) eingesetzt. Vor allem nach den Windwürfen in den Jahren 1990 und 1999 stieg die Anzahl von Forstunternehmen stark an (Brogt und Kutzschenbach 2006).

Um dem Ziel der Durchforstung, den Wald in seinem Wachstum zu unterstützen, gerecht zu werden, muss sich ein Harvesterfahrer mit seiner Maschine sehr umsichtig in der meist engen, stark bepflanzten Umgebung bewegen, damit nicht mehr Schäden an umliegenden Bäumen angerichtet werden, als der Nutzen der eigentlichen Durchforstung beträgt. Daneben muss der Fahrer auch möglichst effektiv, d.h. schnell arbeiten, da er nicht selten nach Leistung bezahlt wird. Dabei ist sich der Fahrer stets bewusst, dass Schäden an umliegenden Bäumen von einer Kontrollperson (z.B. Privatbesitzer des Waldbestandes) aufgenommen werden, die zu Abschlägen in der Vergütung führen können.

Zur Differenzierung zwischen relevanten und nicht relevanten Schäden ist forstwirtschaftliches Verständnis unerlässlich. Allein durch das Eigengewicht eines Harvesters entstehen im weichen Waldboden Fahrspuren und Verwerfungen mit bis zu einem Meter Tiefe. Auch aus bodenkundlicher Sicht ist dies nicht gänzlich unbedenklich (Schack-Kirchner und Hildebrand 1994).

Nach Berger ist es durch die Mechanisierung der Arbeitssysteme in der Holzernte zwar zu einer Entlastung von schwerer körperlicher Arbeit gekommen, dafür seien neue Belastungs- und Beanspruchungsformen, wie psychische Belastungen oder Stress, in den Vordergrund getreten (Berger 2003).

Wissenswert ist außerdem, dass die heutzutage zum Einsatz kommenden Harvester in Hanglagen bis zu 75% Gefälle eingesetzt werden. Die Anforderungen an Fahrzeuglenker sind im Laufe der Entwicklung des Berufsbildes entsprechend gestiegen.

Die Arbeit in forstlichen Dienstleistungsunternehmen findet im Kontext kleinster und kleiner Unternehmen statt. Der Konkurrenzdruck ist hoch (Westermayer 2002). Besonders nach der Beendigung der Aufarbeitung des Holzes der Stürme von 1999 spitzte sich die wirtschaftliche Situation der Forstunternehmen durch das sinkende Arbeitsvolumen zu. Es ergab sich ein Kapazitätsüberhang durch die große Anzahl von hochmechanisierten Holzerntemaschinen, der den bestehenden Konkurrenzdruck erhöhte (Brogt und Kutzschenbach 2006).

Vor allem der Trend der Ausgliederung von Produktions- oder Dienstleistungen an externe Anbieter führt zur gesteigerten Selbstverantwortung der Beschäftigten in der Wald- und Forstwirtschaft. In vielen Bundesländern wird jetzt die Lösung gewählt, keine eigenen staatlichen Forstmaschinen anzuschaffen, sondern das Risiko der Maschinenauslastung auf einen neu zu schaffenden Dienstleistungsmarkt auszulagern, wo es zum zentralen Moment der Arbeit wird (Westermayer 2006).

Hohe Verantwortung für die teuren Maschinen und Termindruck gehören damit zum Berufsalltag (Tartarotti 2006; 2008). In einer Fragebogenerhebung unter österreichischen Harvesterfahrern gaben 81% der Befragten an, unter Termindruck zu arbeiten (Berger 2002).

Sullman und Kirk stellten schon 1998 dar, dass die Beanspruchung eines Harvesterfahrers mit der Beanspruchung eines F-16 Kampffjetpiloten bei Start und Landung vergleichbar sei (Sullman und Kirk 1998).

In einer angelegten Studie der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg in Kooperation mit dem Universitätsklinikum Tübingen ist eine weitreichende Untersuchung zur Beanspruchung von Harvesterfahrern und ihrer arbeitsmedizinischen Folgen geplant. Unter Zuhilfenahme hohen technischen Aufwandes sollen beanspruchungsangepasste Arbeitsgestaltungsmodelle entwickelt werden. Neben den in der vorliegenden Arbeit ermittelten Parametern des Herzkreislaufsystems sind u.a. auch die Bestimmung des Säuregehaltes sowie der Temperatur des Magendarm-Traktes zur differenzierteren Beurteilung psychischen Stresses vorgesehen.

Die vorliegende Arbeit unterscheidet sich in diesem Punkt wesentlich von dem gerade genannten Projekt. Ziel war es nicht mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln eine umfassende Beanspruchungsanalyse zu erhalten, sondern unter dem Gesichtspunkt der derzeitigen Diskussion zur Kosteneffizienz im Gesundheitssystem eine Methode für die Beanspruchungsanalyse zu entwickeln, die „gut und günstig“ auf breiter Basis anwendbar ist.

## **2. Grundlagen**

### **2.1 Physiologische Grundlagen**

Die Beanspruchung eines Menschen lässt sich anhand physiologischer Vorgänge (wie z.B. Schwankungen der Herzfrequenz oder des Blutdrucks) beschreiben. Gesteuert werden diese Prozesse durch das Nervensystem des Körpers.

Das Nervensystem wird unterteilt in einen willkürlichen (somatisch) und einen unwillkürlichen (vegetativ) Anteil. Das somatische Nervensystem dient der bewussten Körperwahrnehmung und Körpersteuerung. Das vegetative Nervensystem dient der unbewussten Steuerung der inneren Organe. Eine wichtige Aufgabe des vegetativen Nervensystems besteht in der Einflussnahme auf die Herzleistung. Das Herz schlägt autonom mit 60 bis 80 Schlägen pro Minute und wirft 5 Liter Blut innerhalb einer Minute aus. Das vegetative Nervensystem wirkt nun modulierend auf die Leistung des schlagenden Herzens. Auf diese Weise kann das Herz durch Erhöhung bzw. Erniedrigung der Herzfrequenz sowie durch Steigerung bzw. Senkung der Schlagkraft seine Leistung an veränderte Bedingungen situationsgerecht anpassen. Dies ermöglicht eine adäquate Blutversorgung des Körpers in unterschiedlichen Belastungssituationen.

Das vegetative Nervensystem bedient sich zweier Arme um auf die inneren Organe einzuwirken und dadurch in ihrer Aktivität zu beeinflussen. Der eine Arm, der so genannte Sympathikus dient dem vegetativen Nervensystem, um den gesamten Organismus in einer potentiellen Gefahrensituation in Bereitschaft zu versetzen. Über den zweiten Arm, den Parasympathikus vermittelt das vegetative Nervensystem in Situationen, in denen keine Gefahr droht, eine regenerative Organaktivität, die darauf bedacht ist, Reserven zu schonen und Ressourcen aufzubauen.

Die durchgeführten Belastungstests im Kreislaulabor untersuchen die wechselseitige Balance der beiden Teile des vegetativen Nervensystems anhand des Herzkreislaufsystems. Durch wechselseitige Untersuchungsbedingungen sind diese unterschiedlich stark aktiv.

Durch gezielte Interventionen ist es möglich das sympathische oder das parasympathische System gesondert zu aktivieren. Das parasympathische System vermittelt überwiegend reflektorische Veränderungen der Herzfrequenz auf entsprechende afferente Signale der arteriellen Barorezeptoren und des respiratorischen Systems, während das sympathische System vor allem für Veränderungen der Herzfrequenz auf physischen und mentalen Stress hin verantwortlich ist (Ziemssen, Süß et al. 2002).

Der Parasympathikus vermittelt eine schnelle Abnahme der Herzfrequenz, wohingegen eine Frequenzsteigerung kraft des Sympathikus erst verzögert auftritt. Dennoch steigt in der initialen Phase einer mentalen Beanspruchung die Herzfrequenz zügig an. Dies ist auf eine Drosselung parasympathischer Innervierung zurückzuführen (Akselrod, Gordon et al. 1981; Eckberg 1997; Pumplra, Howorka et al. 2002).

Die durchgeführte Herzrhythmusanalyse ermöglicht neben der Erfassung des allgemeinen Aktivitätsgrades (anhand der Herzfrequenz), eine spezifischere Auftrennung in Anteile parasympathischer und sympathischer Aktivität.

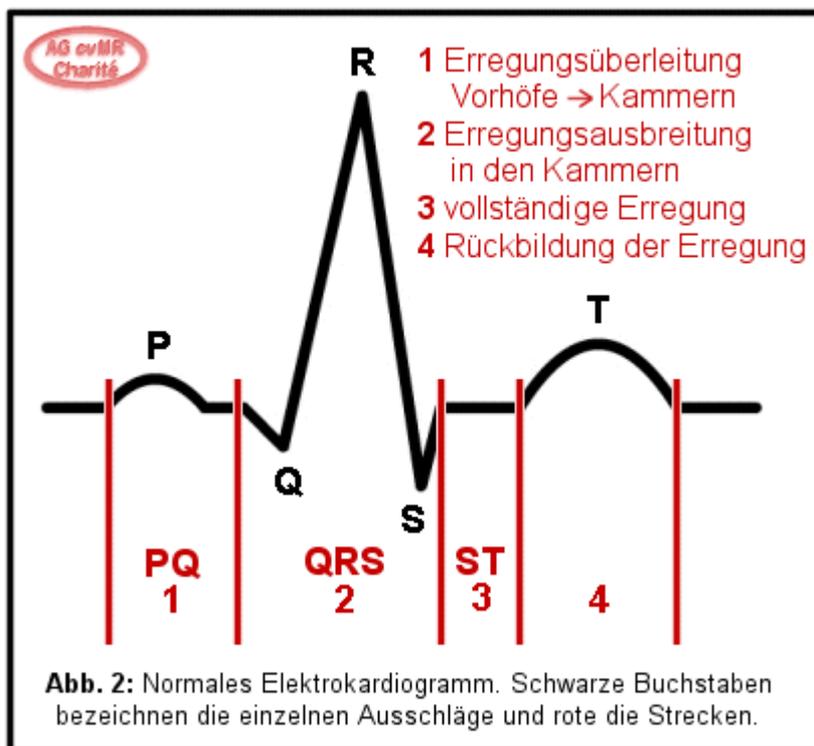
## **2.2 Funktionsprinzip der Messung**

Die Herzfrequenz ist unter mehreren Messgrößen, wie Blutdruck, Hautleitfähigkeit (veränderbar durch vermehrte bzw. verminderte Schweißsekretion), die Höhe der Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin im Blut, ein besonders gut geeigneter Parameter für die Beurteilung des Aktivitätszustandes / der Beanspruchung des Kreislaufs. Ihre messtechnisch relativ problemarme Zugänglichkeit ermöglicht neben der Erfassung unter stationären Bedingungen auch die Anwendung im ambulanten Bereich, z.B. am arbeitenden Menschen an seinem Arbeitsplatz.

Die Herzfrequenz ist definiert als Zahl der Herzschläge pro Minute, bestimmt durch die Anzahl der entsprechenden Aktionspotentiale (elektrische Erregung des Herzens), die jeweils einen Herzschlag auslösen. Erfasst wird die Herzfrequenz mit Hilfe eines Elektrokardiogramms (EKG).

Jeder Pumpfunktion des Herzens geht eine elektrische Erregung voraus, die über das herzeigene Erregungsleitungssystem zu den Muskelzellen läuft. Diese elektrischen Potentialänderungen am Herzen kann man an der Körperoberfläche mit einem EKG ableiten.

Der Erregungsverlauf am Herzen wird zeitlich aufgetragen. Daraus ergibt sich ein typisches Bild, das in Abbildung 2 dargestellt ist.



**Abb. 2:** Normales Elektrokardiogramm. Schwarze Buchstaben bezeichnen die einzelnen Ausschläge und rote die Strecken.

**Abbildung 2: Charakteristische Kennwerte des EKG** Graphik: Charité –Campus Virchow Klinikum

Die P-Welle entspricht der Erregung der Vorhöfe.

Der Komplex aus QRS entspricht der Erregung der Herzkammern.

Die T-Welle spiegelt die Erregungsrückbildung wider.

Um die Herzfrequenz zu ermitteln wird der größte Ausschlag, die R-Zacke, detektiert. Aus den zeitlichen Abständen der aufeinander folgenden R-Zacken lässt sie sich bestimmen.

Die momentane Herzschlagfrequenz ist unter keinen Bedingungen zeitlich völlig konstant, was als Herzratenvariabilität (HRV) bezeichnet wird. Die Erfassung der Herzratenvariabilität ist zentraler Aspekt dieser Studie. Sie leitet sich direkt aus dem Herzschlag ab.

Die HRV ist eine Reflexion der Einflusskraft des vegetativen Nervensystems auf das Herz. Von ihr lässt sich auf die vegetative / autonome Balance des Organismus (sympathische Aktivität versus parasympathische Aktivität) schließen. Parasympathikuseinfluss zeigt sich in einer Zunahme der Unregelmäßigkeiten, während der Sympathikus eine geringere Varianz in der Herzschlagfolge bewirkt (Curic, Männer et al. 2008). Da das vegetative Nervensystem situationsabhängig unterschiedlich stark sympathisch oder parasympathisch innerviert, spiegelt die HRV somit die Fähigkeit des Organismus wider, sich an Gefahrensituationen anzupassen und sich von den Auswirkungen des entstandenen Stresses anschließend wieder zu erholen (van Amelsvoort, Schouten et al. 2000; Hottenrott, Hoos et al. 2006).

Stress wird allgemein als Ergebnis aus einem tatsächlichen oder wahrgenommenen Ungleichgewicht zwischen den aus einer Situation resultierenden Anforderungen bzw. Belastungen und der Einschätzung, diese mit den verfügbaren Ressourcen nicht bewältigen zu können, verstanden (Ulich 1998). In Gegenwart eines Stressors muss der Körper mit einer passenden Antwort reagieren. Diese Kampf- oder Fluchtantwort erfolgt in Form von erhöhtem Puls und Blutdruck. Dies ist notwendig, um situationsgerecht agieren zu können. Probleme entstehen, wenn oft auf diese Weise reagiert oder dem Körper keine Möglichkeit gegeben wird, zwischen den Herausforderungen zur Ruhe zu kommen. Das Resultat ist ein durchweg erhöhter Puls mit einer verringerten Herzratenvariabilität.

Im Umkehrschluss lässt sich aus einer konstant verringerten HRV auf eine gestörte Balance zwischen Parasympathikus und Sympathikus schließen (Horsten, Ericson et al. 1999).

Eine hohe Variabilität in der Herzrate ist dagegen Zeichen einer guten Adaptierbarkeit mit gut funktionierenden autonomen Kontrollmechanismen (Pumprla, Howorka et al. 2002).

In Laboruntersuchungen wurde eine klare Assoziation zwischen der HRV und mentalem Stress beschrieben (Sloan, Shapiro et al. 1994; Myrtek, Weber et al. 1996). Die Messung HRV bietet demnach eine Methode, die Fähigkeit eines Menschen Stress zu bewältigen, darzustellen (Curic, Männer et al. 2008).

Nach Pfister eignet sich die Herzrhythmusanalyse mit der Bestimmung der Herzratenvariabilität aus diesem Grund für die Fragestellung nach Beanspruchungsanalysen an Arbeitsplätzen mit vorrangig psychischen Belastungen im Rahmen arbeits- bzw. psychophysiologischer Untersuchungen (Pfister, Böckelmann et al. 2007).

## **1.2 Zielsetzung:**

Die vorliegende Arbeit sollte untersuchen, ob es möglich ist, die genannte Beanspruchung unter realen Arbeitsbedingungen zu erfassen, ausschließlich unter Verwendung von Messmethoden, welche nur eines geringen finanziellen, technischen und organisatorischen Aufwands bedürfen.

Aus dieser Zielsetzung heraus ergaben sich folgende Fragestellungen:

1. Ist es möglich mit Hilfe einer handelsüblichen Pulsuhr die Arbeitsbelastung anhand kardiovaskulärer Parameter während der regulären Arbeit in einem Harvester zuverlässig zu messen, ohne den Arbeiter in der gewohnten Ausführung seiner Tätigkeit zu behindern?
2. Wie lässt sich die subjektiv empfundene Beanspruchung möglichst zeitnah, d.h. parallel zur Arbeit erfragen ohne den Arbeiter in seinem Arbeitsablauf wesentlich zu stören?

Um der generellen Zielsetzung einer möglichst im Hintergrund ablaufenden Messung gerecht zu werden, mussten die verwendeten Überwachungssysteme so kompakt wie möglich sein, weshalb entschieden wurde eine handelsübliche Pulsuhr, wie sie im Sport verwendet wird, einzusetzen. Die Entscheidung fiel auf die Pulsuhr T6 der Firma Suunto, die mit zwei Komponenten (Armbanduhr + Brustgurt) den Arbeiter nicht wesentlich behindern sollte.

Ein Arbeitstag der Probanden betrug ca. 10 Stunden. Der interne Speicher verfügt über eine Kapazität von 100.000 Messzeitpunkten. Bei einer mittleren Herzfrequenz von bis zu 160 Schlägen pro Minute war eine Arbeitszeit abdeckende Erfassung gewährleistet.

Die laufende Messung sollte die Probanden über den gesamten Zeitraum nicht weiter beschäftigen. Sie waren angehalten wie gewohnt ihrer regulären Arbeit nachzugehen.

Vor der eigentlichen Messung wurde jeder Harvesterfahrer im Kreislaulabor der Psychosomatik Tübingen nach einem standardisierten Protokoll verschiedenen Stress auslösenden Belastungstests, die in der kardiovaskulären Funktionsdiagnostik routinemäßig eingesetzt werden und bei einem gesunden Probanden validierte Reaktionen des Körpers auslösen (Ziemssen, Süss et al. 2002; 2003), unterzogen.

Die Überwachung der kardiovaskulären Parameter erfolgte parallel mit dem stationär etablierten Task-Force Monitor und der für die Messung im Harvester vorgesehenen Suunto T6. Die Genauigkeit der Suunto Pulsuhr konnte in diesem Zusammenhang überprüft werden.

Der Vergleich dieser parallel erzielten Messwerte (siehe Auswertung 3.5.3; „TaskForce-Suunto“) ergab, dass die Suunto-Pulsuhr zumindest unter Laborbedingungen verlässliche Messwerte lieferte, weshalb sie unter Feldbedingungen, d.h. begleitend zu der regulären Arbeit im Harvester eingesetzt wurde.

Um eine möglichst ganzheitliche Vorstellung der Beanspruchung zu erlangen und die zweite Fragestellung zu beantworten, sollten die EKG-Daten der Pulsuhr durch subjektive Aussagen der Harvesterfahrer ergänzt werden. Die Fahrer waren angehalten während ihrer Arbeit in regelmäßigen Abständen einen kurzen Fragebogen auszufüllen, der die Selbstempfundene Beanspruchung der Probanden prüfte.

Befragungen der Arbeitenden sind nahe liegend, da sie ihre eigene Arbeitstätigkeit sicherlich am besten kennen. Sie sind damit unerlässlich, wenn es um die subjektive Einschätzung der Arbeit durch die Arbeitenden geht (Dunckel 1999).

Die gemachten Angaben der Probanden auf den Fragebögen wurden gemeinsam mit den ermittelten Werten des HRV-Device betrachtet sowie zeitlich einander zugeordnet. Ziel war es festzustellen, ob Schwankungen in der subjektiven Beanspruchung eine entsprechende Repräsentation in der objektiven Herzratenvariabilität erfuhren bzw. ob im Umkehrschluss Schwankungen in der HRV durch die Fragebögen erfasst werden konnten.

Für die Durchführung der Befragung wurde ein Fragebogenheft entwickelt. Dieses setzt sich aus 21 Einzelbögen zusammen. Jeder Bogen bestand aus denselben Fragen. Die Probanden waren angehalten, die einzelnen Fragebögen in

halbstündigen Abständen nacheinander auszufüllen. Jeder Fragebogen bestand aus neun Multiple-Choice-Fragen bezogen auf die vorangegangene halbe Stunde.

Ziel dieses Vorgehens war, über den kompletten Arbeitstag eine lückenlose Dokumentation der psychischen Beanspruchung, wie sie die Probanden selbst empfunden haben, zu erhalten.

Die Anzahl der Fragen eines jeden Bogens wurde auf neun begrenzt. Damit beträgt der Zeitaufwand für den Probanden deutlich weniger als eine Minute um einen Bogen auszufüllen. Dadurch sollte gewährleistet sein, dass der Arbeitsablauf nicht wesentlich gestört wird.

Das Heft wurde im kompakten DIN A5 Format entworfen, um eine praktikable Handhabung zu ermöglichen.

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Probanden**

Es wurden fünf Probanden für die Untersuchung herangezogen. Bei allen Probanden handelt es sich um aktiv im Beruf stehende Harvesterfahrer. Die Probanden waren zwischen 28 und 47 Jahre alt. Bei keinem der ausschließlich männlichen Teilnehmer war eine kardiovaskuläre oder andersartige chronische Vorerkrankung bekannt. Des Weiteren gaben alle Probanden auf Nachfrage an, derzeit keine Medikamente einzunehmen und auch bisher nicht regelmäßig Medikamente eingenommen zu haben.

## 3.2 Vorgehensweise

Grundlage der Studie sind zwei separate Messungen je Proband, eine Messung im Kreislauflabor sowie eine Messung im „Feld“, d.h. bei seiner täglichen Arbeit.

Die Labormessungen wurden den Feldmessungen voraus im Kreislauflabor der Psychosomatik durchgeführt.

Die durchgeführten Messungen im Labor dienten zum ersten der Evaluierung der Messgenauigkeit der Suunto-Pulsuhr unter Laborbedingungen. Aus diesem Grund erfolgte im Labor eine duale Aufzeichnung mit der Suunto-Pulsuhr und dem stationär etablierten Messsystem. Die Messung mit beiden Instrumenten erfolgte zeitgleich, um einen direkten Vergleich der Messwerte zu ermöglichen.

Zum zweiten ließ sich durch die Laborversuche im Vorfeld feststellen, ob einer der Probanden ein pathologisches Verhalten bezüglich der von uns beobachteten Herzratenvariabilität aufwies.

Die Herzratenvariabilität sinkt neben anderem mit zunehmendem Alter (O'Brien, O'Hare et al. 1986; Ewing, Neilson et al. 1991; Agelink, Malessa et al. 2001). Ebenso sinkt die Herzratenvariabilität mit zunehmendem BMI (Laederach-Hofmann, Mussgay et al. 2000; M. A. Fraley 2005; Felber Dietrich, Schindler et al. 2006). Da die HRV die Fähigkeit des Organismus widerspiegelt sich an Stresssituationen anzupassen und in den Laborversuchen der Proband gezielt unterschiedlichen Stresssituationen ausgesetzt wurde, ließ sich ein standardisiertes individuelles HRV-Muster für jeden Probanden erstellen. Die HRV-Muster ermöglichten einen intra-individuellen Vergleich um der Problematik der inter-individuellen Unterschiede gerecht zu werden.

Dies ist besonders unter dem Gesichtspunkt einer eingeschränkten Probandenzahl von Bedeutung (Pfister, Böckelmann et al. 2007) und war damit in der vorliegenden Arbeit interessant.

### **3.3 Erhebungs- und Messinstrumente**

#### **3.3.1 Feldmessung**

##### **3.3.1.1 Pulsuhr**

Die Pulsuhr T6 der Firma Suunto (Preis 400 Euro; Anschaffungsdatum 2006), wurde verwendet. Sie soll stellvertretend als Low-Cost-HRV Device für andere Pulsuhren im entsprechenden Preissegment stehen.

Die Pulsuhr leitet die elektrischen Potentialänderungen des Herzens an der Körperoberfläche über einen Brustgurt ab. Sie speichert in chronologischer Reihenfolge die Abstände aufeinander folgender Herzschläge in ms während des Zeitraums der kompletten Aufzeichnung. Abhängig von der Herzschlagfrequenz ergeben sich X Messdaten pro Minute. In der vorliegenden Arbeit wurden die Daten jeweils einer Minute zu einem Mittelwert zusammengefasst. Bei einer 10-stündigen Aufzeichnung über den kompletten Arbeitstag erhielt man 600 Mittelwerte.

##### **3.3.1.2 Fragebogenheft**

Jedem Fahrer wurde ein Heft mit 21 Fragebögen vor Beginn der Messung überreicht. Die gestellten Fragen setzten sich aus Fragen des „Perceived Stress Questionnaire“ zusammen.

Der Perceived Stress Questionnaire (PSQ) wurde 1993 von Levenstein entwickelt, um die Erfassung psychischer Belastungen durch die Arbeit zu standardisieren (Levenstein, Prantera et al. 1993). Er wird in verschiedensten Arbeitspsychologischen Studien in stets leicht abgeänderter Form bis heute eingesetzt (Bergdahl und Bergdahl 2002; Sanz-Carrillo, García-Campayo et al. 2002; Fliege, Rose et al. 2005; Ross, Zeller et al. 2005; Chaudhury, Goel et al. 2006; Tomei, Rosati et al. 2006).

Unter psychischen Belastungen ist die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse zu verstehen, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken. Psychische Einwirkungen können sowohl mentaler Art sein (bezogen auf Wahrnehmung, Gedächtnis und Denken) als auch emotionaler / sozialer Art (bezogen auf Gefühle und das Verhalten). Beispiele für mentale Belastungsfaktoren sind Arbeitsaufgaben hoher Komplexität oder Tätigkeiten, die sehr konzentriert ausgeführt werden müssen. Eher emotional-sozial belastend können Gruppenklima, Auseinandersetzungen mit Vorgesetzten oder ein hohes Arbeitsspektrum sein (Stolzenburg 2004).

In der vorliegenden Studie wurden Fragen aus dem Levensteiner‘ PSQ übernommen, die die momentane Verfassung, ausschließlich hervorgerufen durch aktuelle Anforderungen des untersuchten Arbeitstages, erheben. Fragen, die Allgemeinaspekte wie Arbeitszufriedenheit oder Zukunftsperspektiven betreffen, wurden aussortiert.

Die übernommenen Fragen deckten sowohl mentale Aspekte („wie fit“ fühlt sich der Proband) wie auch emotionale Aspekte (Empfindungen und Befürchtungen) ab.

### **3.3.2 Labormessung**

#### **3.3.2.1 Pulsuhr**

Dieselbe Pulsuhr, die im Feld Anwendung finden sollte, wurde dem Probanden im Labor für eine parallele Aufzeichnung mit der stationär etablierten Messvorrichtung angelegt.

#### **3.3.2.2 Task Force-Monitor**

Im Kreislaulabor der Psychosomatik ist das computergestützte nichtinvasive Messsystem Task Force® Monitor 3040 i der Firma CNSystems ([www.cnsystems.at](http://www.cnsystems.at)) für die Untersuchung des Herzkreislaufsystems etabliert.

Zu den Komponenten des Task Force Monitors gehören:

Ableitung der elektrischen Potentialänderung des Herzens mittels EKG

Es wurde ein 3 Kanal-Elektrokardiogramm abgeleitet. Die Ableitung erfolgte mittels vier Elektroden. Dies ermöglichte die Ermittlung der Herzrate und der Herzratenvariabilität repräsentiert durch die Veränderlichkeit der RR-Intervalle. Jedes gemessene RR-Intervall lässt sich einem bestimmten Zeitpunkt während der Labormessung zuordnen.

Blutdruckmessung über zwei separate Blutdruckmanschetten

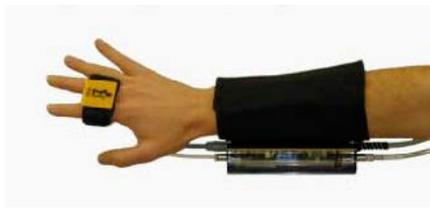
Es wurde zusätzlich intermittierend sowie kontinuierlich der Blutdruck der Probanden aufgenommen. Diese Messung diente der Kontrolle der Kreislaufstabilität und damit der Sicherheit der Probanden, da die einzelnen Tests unterschiedlich stark belastend auf das kardiovaskuläre System wirken.

Oszillometrische Blutdruckmanschette

Die oszillometrische Blutdruckmessung erfolgte mittels einer Oberarmblutdruckmanschette links.

Kontinuierliches Blutdruckmessgerät

Die kontinuierliche Blutdruckmessung erfolgte mittels einer Fingerblutdruckmanschette an der rechten Hand. Auf Abbildung 3 ist das korrekte Anlegen der Manschette dargestellt.



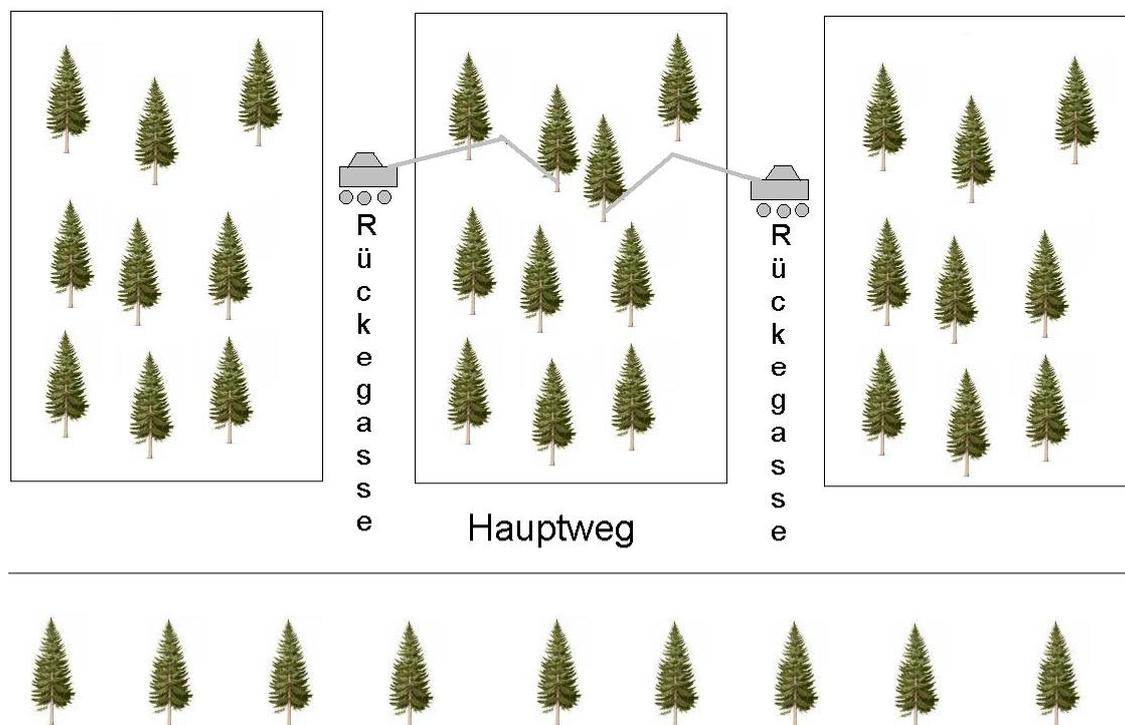
**Abbildung 3: Fingerblutdruckmanschette des TaskForce® Monitors**

Die Benutzeroberfläche der Software des TaskForce-Monitors gestattet eine laufende Kontrolle der Vitalparameter des Probanden. Anhand EKG-Signal, Herzfrequenz-, oszillometrischer und kontinuierlicher Blutdruckanzeige ist eine sichere Überwachung des Probanden gewährleistet.

## 3.4 Ausführung

### 3.4.1 Feldmessung

Die Harvesterfahrer gingen während der Feldmessung ihrer regulären Arbeit nach. Zur Durchforstung eines Waldstückes fährt der Harvesterfahrer sog. Rückegassen entlang. Von einer Rückegasse ausgehend steuert der Fahrer einen Kranarm in den Wald hinein. Rückegassen sind in einem Abstand von 30 Metern angelegt. Ein Kranarm hat eine Reichweite von 15 Metern. Bei größerem Abstand müssen die in der Mitte stehenden Bäume von Hand gefällt werden. Abbildung 4 demonstriert das Arbeitsfeld eines Harvesterfahrers.



**Abbildung 4:**  
**Vereinfachte Darstellung des Arbeitsfeldes einer Durchforstung**    **Graphik: Thomas Mooz**

Zu Beginn der Feldmessung besprach der Versuchsdurchführer mit dem Harvesterfahrer das Ausfüllen des Fragebogenheftes. Er legte ihm den Brustgurt und die Pulsuhr an, um die Messung zu starten.

Der Harvesterfahrer setzte während der Arbeit jede Stunde eine Markierung an einen Baum. Der Versuchsleiter konnte anhand der Markierungen den Weg des Harvesters

nachvollziehen. Der Versuchsleiter notierte die entstandenen Schäden an umstehenden Bäumen, die nicht gefällt wurden.

Am Ende der Arbeit nahm der Versuchsleiter das ausgefüllte Fragebogenheft sowie die Pulsuhr wieder an sich.

### **3.4.2 Labormessung**

Zur Durchführung der Laboruntersuchungen befand sich der Proband in liegender Position. Hierfür stand eine Untersuchungsliege zur Verfügung. Während den kompletten Untersuchungen waren zwei Laborangehörige anwesend. Einer der Laborangehörigen übernahm die Kommunikation mit dem Probanden, währenddessen der zweite Untersucher für den korrekten Ablauf der Messung und die Funktion der Messinstrumente Sorge trug. Die durchgeführten Tests sind Teil einer standardisierten Testbatterie mit festgelegter Reihenfolge. Sie gehen auf Clarke, Ewing und Campbell zurück, die 1979 durch spezifische Tests bei Diabetikern beeinträchtigte autonome Reaktionen nachwiesen (Clarke, Ewing et al. 1979). Mittlerweile sind diese Untersuchungen von diversen Autoren beschrieben und in den Empfehlungen zur Routinediagnostik enthalten (Ziemssen, Süß et al. 2002; Hilz und Dütsch 2005).

Es wurden fünf Untersuchungen aufeinander folgend durchgeführt. Zwischen zwei Untersuchungen befand sich immer eine mindestens dreiminütige Ruhephase. Diese Ruhephase ist wichtig, damit die zu beobachtenden und zu beurteilenden Veränderungen aus der Herzrhythmusanalyse allein als Effekt des verwendeten Störreizes verstanden werden können, sowie eine Aussage über die Erholungsfähigkeit des Herzens möglich ist. Das Grundprinzip der autonomen Funktionsdiagnostik kann demzufolge in einer Sequenz von Entspannung – Belastung – Erholung gesehen werden (Ziemssen, Süß et al. 2002; 2003).

### **3.4.2.1 RSA –Abhängigkeit der HF von der Respiration**

Im ersten Test musste der Proband 1 min lang metronomisch atmen. Das entspricht 6 Atemzyklen pro Minute. Eine Computeranzeige gab den Atemrhythmus vor.

Unter metronomischer Atmung werden parasympathische Efferenzen zum Herzen stimuliert. Die Herzfrequenz sinkt.

Die Herzfrequenz fluktuiert zusätzlich innerhalb eines Atemzyklus. Bei Inspiration steigt die Herzfrequenz, bei Expiration sinkt die Herzfrequenz. Die Abhängigkeit der Herzfrequenz von der Respiration wird als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet. Die RSA wird vor allem durch die wechselnde Aktivität des Nervus Vagus (Parasympathikus) vermittelt. Dieser Test dient somit der Ermittlung der parasympathischen Efferenzen zum Herzen.

### **3.4.2.2 Stroop-Test als kognitive Belastung**

Im zweiten Test wurde dem Probanden ein Blatt Papier vorgezeigt. Auf diesem standen in unterschiedlicher Abfolge die Wörter „schwarz“, „rot“, „grün“, „gelb“ und „blau“ in den entsprechenden Farben gedruckt. Der Proband hatte die Aufgabe die Farben zu nennen in der die Wörter gedruckt sind. Nach 3 min Pause wurde dem Probanden eine zweite Tafel gezeigt, bei der die angegebenen Farben nicht mit der Druckfarbe übereinstimmten. Der Proband musste wie im ersten Fall die Druckfarbe und nicht das Geschriebene nennen.

Die Ausführung stellt für den Probanden eine mentale Beanspruchung dar, was zu einer Aktivitätsminderung des parasympathischen Systems führt und sich in einer Herzfrequenzsteigerung äußert.

Die zweite Tafel stellt eine ungleich höhere Beanspruchung an den Probanden, da unbewusst im Gehirn die Lesefunktion aktiviert wird. Ein Mensch, der lesen kann, kann diesen Prozess nicht unterdrücken. Es erfordert stetige Anstrengung nicht das Gelesene zu nennen (Fauvel, Bernard et al. 1996).

### **3.4.2.3 Valsalva –Verringerung des venösen Rückstroms**

Im dritten Test musste der Proband gegen erhöhten Widerstand ausatmen. Er blies in ein Kunststoffröhrchen, das mit einem Druckmesser ausgestattet war. Der Proband musste 15 sec lang einen „Puste“-Druck von 40mmHg aufrechterhalten.

Der Proband spannt durch das Pusten die Atemmuskulatur und Bauchmuskulatur an. Der Druck im Thoraxraum erhöht sich dabei. Das bewirkt eine Verringerung des venösen Rückstromes zum Herzen. Das Herz kann weniger Blut auswerfen.

In den Gefäßwänden der Hauptschlagader befinden sich Druckrezeptoren (=Barorezeptoren). Die Barorezeptoren registrieren den Abfall des Blutdrucks und vermitteln eine Zunahme der Herzfrequenz, um einen konstanten Blutdruck aufrechtzuerhalten. Dieses sog. Valsalva-Manöver erlaubt eine Beurteilung der sympathischen Baroreflex-Funktion.

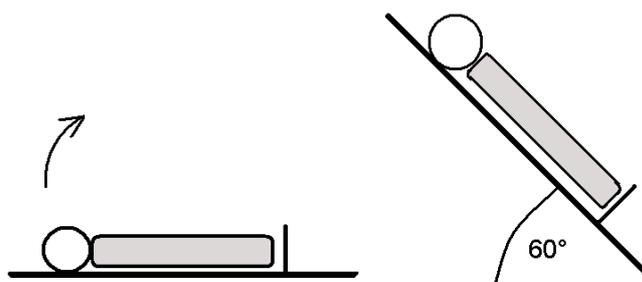
#### **3.4.2.4 Rechentest als kognitive Belastung**

Im vierten Test musste der Proband beginnend bei 1000 in 7-er Schritten subtrahieren. Der Untersucher stoppte nach 2 min. Die Anzahl der Fehler wurde notiert.

Dieser Test stellt, wie auch der Stroop-Test, eine mentale Beanspruchung dar, was in einer Reduzierung parasympathischer Aktivität mündet.

#### **3.4.2.5 Orthostase-Test –Verringerung des venösen Rückstroms**

Für den fünften Test wurde der Proband auf der Untersuchungs-liege, die mittels Elektromotor ein stufenloses Kippen nach vorne ermöglicht (=Kipptischfunktion; siehe Abbildung 5) angegurtet und ausgehend von der Horizontalen in 60° Schräglage gebracht. In dieser Position verweilte der Proband drei Minuten. Anschließend wurde die Liege wieder in die Ausgangslage zurückgefahren.



**Abbildung 5: Skizze Darstellung Kipptisch und Lagewechsel für den Orthostase Test**

Bei veränderter Körperlage „versackt“ das Blut in der unteren Körperhälfte. Das bewirkt einen Abfall des Blutdrucks. Die Barorezeptoren in der Hauptschlagader sorgen für einen konstanten Druck. Der Orthostase-Versuch macht (analog zum Valsalva-Manöver) eine Beurteilung des sympathisch vermittelten Baroreflexes möglich. Zusätzlich ermöglicht der Orthostase-Versuch eine Beurteilung des parasympathisch-kardialen Systems. In der initialen Phase der Orthostase-Belastung werden parasympathische Efferenzen zum Herzen gehemmt. Die Herzfrequenz steigt an (konträr dem Effekt unter metronomischer Atmung).

### 3.4.2.6 Ablauf der Testbatterie

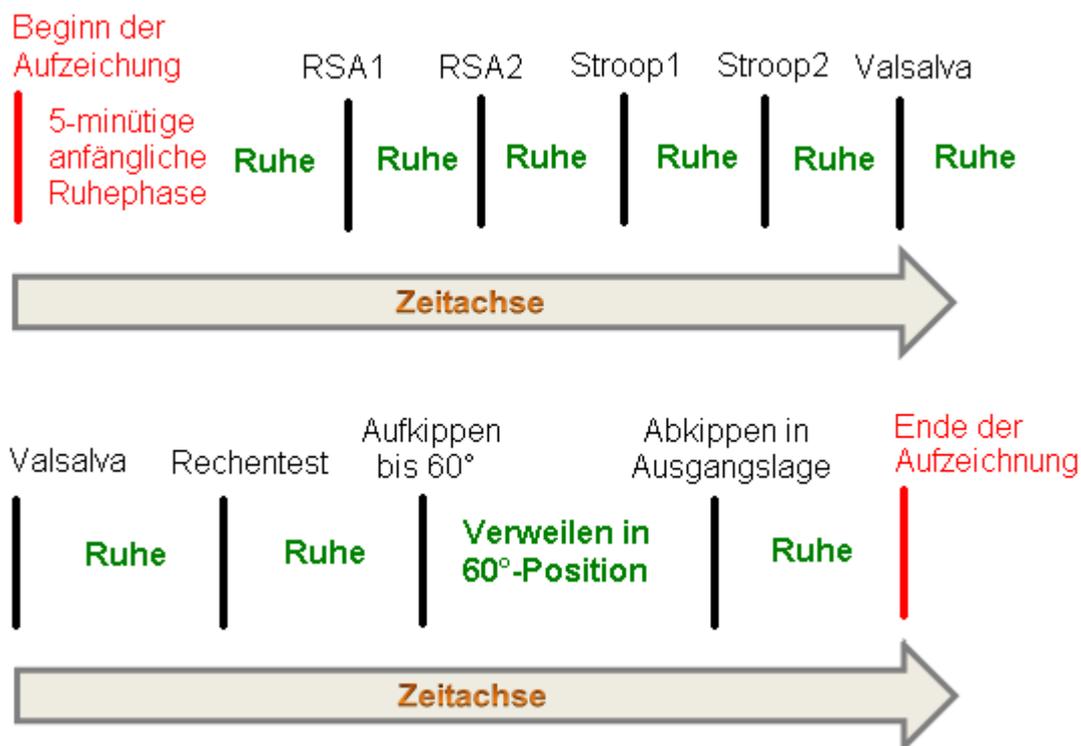


Abbildung 6: Schematischer Ablauf der Testdurchführung im Labor

Die Aufzeichnung beginnt, sobald der Proband an die notwendigen Geräte angeschlossen ist. Nach fünf Minuten ruhigem Liegen startet die eigentliche Messung. Beginnend mit der ersten Ruhephase (grün) gehen die gewonnenen Daten in die Auswertung ein. Die Ruhephasen werden durch die Interventionen (=durchgeführte Testungen) getrennt. Vor sowie nach jeder Intervention befindet sich eine Ruhephase.

## 3.5 Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programms HRV-Analysis (Version 1.1 SP1), das über die University of Kuopio, Finnland kostenfrei zum Download zur Verfügung stand (Karjalainen 2002).

Das Programm ermöglicht die Analyse der Herzratenvariabilität (=HRV). Die Herzratenvariabilität gibt die Schwankungen in den Abständen aufeinander folgender R-Zacken an. Der Abstand zwischen zwei R-Zacken wird als Herzratenintervall (=HRI) bezeichnet. Er wird in Millisekunden angegeben. Der mittlere Abstand zwischen zwei R-Zacken wird „Normal-to-Normal Intervall“ (=NN) genannt. Das Herzratenintervall ist umgekehrt proportional zur Herzfrequenz, die in Anzahl R-Zacken pro Minute (=Beats Per Minute, BPM) angegeben wird.

Zur Auswertung stehen verschiedene Parameter zur Verfügung. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zeitlich basierten Parametern (Angabe in Zeiteinheiten) und frequenzbasierten Parametern (Angabe in Amplitude bzw. Kraft).

### 3.5.1.2 Zeit-Bereich Parameter

Die Zeitparameter (Time-Domain Parameter) leiten sich sämtlich direkt aus dem Abstand zweier Herzschläge, dem RR-Intervall ab. Hierzu gehören:

- Herzrate angegeben in Beats per Minute (1/min)
- Standardabweichung (STD) der Herzrate in 1/min  
(STD = Maß für die Streuung der einzelnen Werte nach oben und unten um ihren Mittelwert, hier die mittlere Anzahl der Herzschläge / Minute)
- mittlere Dauer eines RR-Intervalls in ms
- Standardabweichung der RRI-Dauer in ms
- Root of mean squared successive differences (RMSSD) in ms  
= Quadratwurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Differenzen aufeinander folgender RR-Intervalle.

Die Herzrate in 1/min und die Dauer eines RR-Intervalls in ms sind direkt ineinander überführbar. Die Betrachtung beider Parameter erbringt infolgedessen keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn. In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Betrachtung anhand der Herzschlagfrequenz in 1/min.

Folgende drei Zeit-Bereichs Parameter sind somit in die Betrachtung eingeflossen:

1. Herzschlagfrequenz in Herzschlägen pro Minute
2. Standardabweichung der Herzschlagfrequenz
3. RMSSD

Die betrachteten Parameter werden im Folgenden näher erläutert.

### **3.5.1.1 Herzschlagfrequenz**

Als einfachster Parameter dient die Herzschlagfrequenz (HF), die die Herzschläge pro Minute (Beats per Minute; BPM) in 1/min angibt. Allgemein lässt sich bei Erregung (Sympathikusaktivierung) eine erhöhte Herzschlagfrequenz und bei Entspannung (überwiegend parasympathische Aktivität) eine verminderte Herzschlagfrequenz messen.

Wird ein Mensch aus der Ruhe einer Stresssituation ausgesetzt kann das gesunde Herz durch schnelles Erhöhen der Schlagfrequenz der neuen Anforderung gerecht werden. Befindet sich der Mensch dauerhaft in einer Stresssituation (psychische Belastungen wie anhaltender Leistungsdruck oder Termindruck) schlägt das Herz dauerhaft mit einer erhöhten Frequenz.

Der Ermittlung der BPM liegt die Messung der einzelnen Abstände zweier aufeinander folgender Herzschläge (RR-Intervall) zugrunde. Die Größe eines RR-Intervalls gemessen in ms lässt zu jedem Zeitpunkt auf die momentane Herzschlagfrequenz schließen. Für die Betrachtung wurde für jede Minute aus den so ermittelten Herzschlagfrequenzen ein Mittelwert gebildet.

### **3.5.1.2 Standardabweichung der Herzschlagfrequenz**

Die Herzschlagfrequenz unterliegt Schwankungen, die sich als Abweichungen von der mittleren Schlagfrequenz registrieren lassen und zu einer Streuung der Messwerte führen. Die Streuung um den Mittelwert lässt sich mit der Standardabweichung (STD) beschreiben. Zu jedem gebildeten Mittelwert von HF lässt sich eine STD bestimmen. Die STD wird in derselben Einheit angegeben wie die Herzschlagfrequenz selbst (1/min).

Die Höhe der Abweichung vom Mittelwert symbolisiert Unregelmäßigkeiten im Herzschlag. Viele Unregelmäßigkeiten bedeuten, dass das Herz in der Lage ist, schnell auf sich ändernde Bedingungen zu reagieren, indem es kurzfristig schneller oder langsamer schlägt.

Durch Variierung der Schlagfrequenz wird also die Herzleistung den veränderten Anforderungen angepasst. Ausgehend von einem „Basisschlagniveau“ kann die Schlagfrequenz nach oben oder nach unten ausgelenkt werden.

Muss das Herz über einen fortwährenden Zeitraum mit erhöhter Frequenz schlagen, steigt das Basisniveau auf ein höheres Grundlevel („Das Herz ist im Stress“). Ausgehend von dieser erhöhten Basis tut sich das Herz schwerer, flexibel zu reagieren und damit kurzfristig seine Leistung zu variieren. In der Folge „stagniert“ die Herzfrequenz auf einem allgemein hohen Niveau.

Um von diesem erhöhten Niveau wieder „runterzukommen“, bedarf es einer entsprechend länger währenden Erholungsphase.

In der Diagnostik weist somit eine geringe Varianz in der Herzschlagfolge auf eine fortwährende Anspannung hin. Unregelmäßigkeiten in der Herzschlagfolge lassen dahingehend auf ein „gesundes“ Verhältnis aus Anspannung und Entspannung schließen (Curic, Männer et al. 2008).

### **3.5.1.3 RMSSD**

Dritter direkt vom Herzschlag abhängiger Parameter ist der sogenannte RMSSD-Wert (RMSSD = Root of mean squared of successive differences).

Um diesen Wert zu bestimmen, wird die Differenz von zwei aufeinander folgenden RR-Intervallen (ein RR-Intervall entspricht der Zeit in ms zwischen zwei R-Zacken im EKG; die R-Zacke entspricht dem Moment des Herzschlages) ermittelt. Anschließend wird diese Differenz quadriert. Von allen aufeinander folgenden RR-Intervallen innerhalb einer Minute wird auf diese Weise die Differenz berechnet und anschließend quadriert. Von allen quadrierten Differenzen wird der Mittelwert gebildet, von dem schließlich die Quadratwurzel gezogen wird.

Dieser Wert ist wie die Standardabweichung ein Maß für die Unregelmäßigkeit in der Herzschlagfolge. Der RMSSD wird in ms angegeben. Er ist ein Maß für kurzfristige, schnelle Änderungen des Herzschlages.

Ein hoher Wert spricht wie die Standardabweichung für vermehrte Unregelmäßigkeiten im Herzschlag und damit für Aktivität des Parasympathikus, ein niedriger Wert spricht umgekehrt für Aktivität des Sympathikus.

Je höher dieser Wert, desto entspannter ist der Mensch (Curic, Männer et al. 2008).

## **3.5.2 Frequenz-Bereich Parameter**

Frequenzbasierte Parameter (Frequency-Domain Parameter) beruhen auf der Annahme, dass die Zeitreihe der Herzfrequenzdaten als eine Schwingung betrachtet werden kann. Schwingungen werden durch ihre Frequenz charakterisiert, die angibt wie oft ein bestimmter Schwingungszustand pro Sekunde durchlaufen wird (Einheit: Hz gemessen in 1/s).

Die Berechnung der frequenzbasierten Parameter mit Hilfe des Computerprogramms HRV-Analysis erfolgt auf Basis der Theorie der sogenannten Fourieranalyse, benannt nach Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830).

Aus der allgemeinen Funktion der Fourieranalyse (Vries 1996) leitet sich ihre mathematische Repräsentation die Fast-Fourier-Transformation (FFT) ab. Diese stellt eine rechnerische Methode, die die Zerlegung komplexer Signale mit unbekannter Charakteristik in eine Summe von Sinusschwingungen mit bekannten Eigenschaften ermöglicht. Die Eigenschaften werden hierbei durch die Parameter Frequenz (Wie oft passiert etwas pro Sekunde?) und Amplitude (Wie stark ist eine bestimmte Frequenz in dem untersuchten Signal vertreten?) charakterisiert.

Die Herzfrequenz stellt ein komplexes Signal dar, die aus vielen „Unterfrequenzen“ besteht. Mit der Fast-Fourier-Transformation lassen sich diese bestimmen.

Die beiden Äste des vegetativen Nervensystems, Sympathikus und Parasympathikus, wirken mit jeweils typischen Frequenzen auf die Herzfrequenz ein (Akselrod, Gordon et al. 1981).

Nach den Empfehlungen der American Heart Association anhand der Guidelines der Task Force der europäischen Gesellschaft für Kardiologie (Electrophysiology 1996) werden fünf Frequenzbereiche unterschieden, die unterschiedlich Rückschlüsse auf sympathische bzw. parasymphatische Innervation zulassen. Tabelle 1 gibt hierzu einen Überblick.

**Tabelle 1: Übersicht Unterscheidung Frequenzbereiche**

**Die Frequenzen werden anhand ihrer Größe in fünf Gruppen (Frequenzbänder) zusammengefasst. Ihre Entstehung (Spalte ganz rechts) lässt auf entsprechende vegetative Aktivität folgern.**

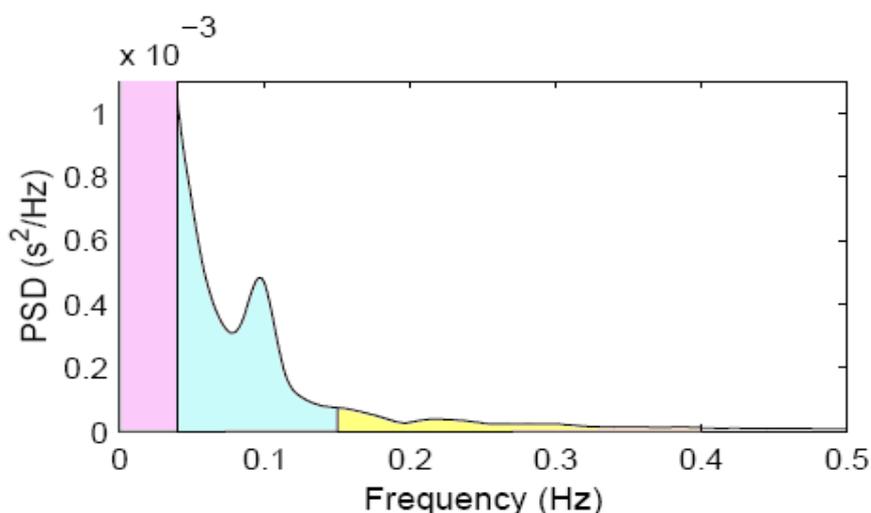
Frequenzbereich	Bezeichnung	Abk.	Physiologische Komponente
0,0001-0,003 Hz	ultra low frequency band	ULF	—
0,0030-0,040 Hz	very low frequency band	<b>VL</b> F	fraglich
0,0400-0,150 Hz	low frequency band	<b>L</b> F	Sympathikus
0,1500-0,400 Hz	high frequency band	<b>H</b> F	Parasympathikus
0,4000-1,000 Hz	ultra high frequency band	UHF	—

Für die einzelnen Parameter lässt sich festhalten:

1. Das LF-Band steht für die Aktivität des Barorezeptorregelkreises, der überwiegend sympathisch aber auch parasympathisch aktiviert wird (Akselrod, Gordon et al. 1981).
2. Im HF-Band erkennt man die parasympathische respiratorische Sinusarrhythmie (Akselrod, Gordon et al. 1981).
3. Die physiologische Erklärung der VLF-Komponente ist weit weniger definiert und die Existenz eines spezifischen physiologisch zuordenbaren Wirkprozesses kann in Frage gestellt werden (Electrophysiology 1996).
4. Nach Pfister (Pfister, Böckelmann et al. 2007) spielt das ULF- und UHF-Band in der Arbeitsphysiologie keine Rolle. Dem folgend sollen diese in der vorliegenden Arbeit keine weitere Beachtung finden.

Um die Stärke der jeweiligen Einflüsse zu ermitteln, berechnet das Programm die spektrale Dichte. Diese gibt an, welcher Anteil der resultierenden Schwingung durch Schwingungen mit bestimmten Frequenzen begründet werden kann.

Die Spektrale Dichte einer bestimmten Frequenz wird als Power-Spectral-Density (=PSD) in der Einheit  $s^2/Hz$  angegeben. Jeder Frequenz der beobachteten Zeitreihe lässt sich eine PSD zuordnen. Siehe hierzu Abbildung 7. Die Kraft (Power) eines kompletten Frequenzbereiches wird in  $ms^2$  angegeben und entspricht der Fläche unterhalb der PSD-Kurve.



**Abbildung 7:** Stärke der unterschiedlichen Frequenzbereiche zu einem bestimmten Zeitpunkt / während einer bestimmten Zeitspanne (hier: RSA der Labormessung, Proband1). Lila = VLF-Bereich, Blau = LF-Bereich, Gelb = HF-Bereich. Erstellt mit dem Program HRV-Analysis.

Die Angabe eines Frequenzbereichs kann in der Einheit der Power, also in  $\text{ms}^2$  erfolgen oder in Prozenträngen. In letzterem Fall, wird das Verhältnis der drei Parameter VLF, LF und HF zueinander betont. Diese Art der Darstellung hat den Vorteil, dass sie verdeutlicht, ob sympathische oder parasympathische Innervation überwiegt. Sie verdeckt allerdings den Effekt auf die absoluten Kräfte. Für eine vollständige Beschreibung sollten daher immer die absoluten Werte ergänzend betrachtet werden (Electrophysiology 1996). Dem soll in dieser Arbeit Rechnung getragen werden. Die Betrachtung der Kraft in  $\text{ms}^2$  folgt der Beschreibung der relativen Werte.

### **3.5.2.1 LF / HF -Ratio**

Das Verhältnis von LF zu HF dient als Kenngröße, ob sympathische oder parasympathische Innervation überwiegt (Hilz und Dütsch 2005). Es bildet den Quotienten aus dem absoluten Wert von LF und dem absoluten Wert von HF. Es ist damit dimensionslos. Der Parameter ist unabhängig von VLF. Das unterscheidet ihn von den relativen Prozentwerten, die sich auf die Gesamtpower beziehen. Diesen Quotienten bezeichnet man als LF/HF-Ratio. Er wird im Zusammenhang mit der Betrachtung der absoluten Werte berechnet.

## **3.5.2 Fragebögen**

### **3.5.2.1 Fahrerspezifischer Fragebogen**

Der Versuchsleiter erhob vorausgegangenen Schlaf, Frühstück sowie Alkohol-, Kaffee- und Zigarettenkonsum der letzten 24 Stunden. Die gemachten Angaben notierte er auf einem „Fahrerspezifischen Fragebogen“, der im Anhang einsehbar ist.

### **3.5.2.2 Fortlaufender Fragebogen**

Jedem Harvesterfahrer wurde vor Beginn der Feldmessung ein Heftchen mit 21 identischen Fragebögen gegeben. Die Fragen setzten sich aus Fragen des „Perceived Stress Questionnaire“ zusammen.

Im Zuge der Feldmessung waren die Harvesterfahrer angehalten jede halbe Stunde die vorgegebenen Fragen zu beantworten. Das bedeutet, dass jeweils der Zeitraum der letzten halben Stunde erfasst wurde. Über den gesamten Zeitraum der Messung (Arbeitstag mit 10Std) ergaben sich 21 Zeitpunkte zu denen die Probanden die Fragen des Fragebogenheftchens beantworten mussten. Die Probanden mussten auf einer 4-stufigen Skala von „fast nie“ bis „meistens“ anzukreuzen wie häufig bestimmte Gefühlszustände in der vorangegangenen halben Stunde auftraten. Daraus ließ sich rückschließen, wie die Probanden die Arbeitsbelastung über den Zeitraum der Messung empfunden hatten.

Den ersten Bogen füllten die Probanden gemeinsam mit dem Versuchsleiter vor Beginn der Arbeit aus.

Im Folgenden sind die gestellten Fragen aufgelistet. Der Fragebogen, wie ihn die Probanden erhielten, befindet sich im Anhang.

1. Sie fühlen sich ausgeruht
2. Sie fürchten, Ihre Ziele nicht erreichen zu können
3. Sie fühlen sich ruhig
4. Sie sind voller Energie
5. Sie fühlen sich angespannt
6. Sie fühlen sich gehetzt
7. Sie fühlen sich sicher und geschützt
8. Sie fühlen sich unter Termindruck
9. Sie fühlen sich mental erschöpft

Für die Auswertung wurden den Aussagen der Fahrer Punktwerte zugeordnet. Die Fahrer hatten bei jeder Frage vier Antwortmöglichkeiten zur Auswahl („fast nie“, „manchmal“, „häufig“ und „meistens“). Die Fragen, die positives Erleben erfassen (Nr.1, 3, 4, 7), wurden mit positiven Punktwerten, die Fragen, die negatives Erleben erfassen (Nr.: 2, 5, 6, 8, 9), mit negativen Punktwerten besetzt. Da die negativ besetzten Fragen überwiegen, wurden die Antworten der positiv belegten entsprechend höher bewertet. Daraus ergibt sich folgendes Wertesystem:

Positiv besetzte Fragen:

„fast nie“	=	1,25 Punkte
„manchmal“	=	2,5 Punkte
„häufig“	=	3,75 Punkte
„meistens“	=	5 Punkte

Dies bedeutet, für jede positiv belegte Frage konnten bis zu 5 Punkte erreicht werden. Da je Fragebogen vier entsprechende Fragen gestellt wurden, konnte der Proband maximal 20 und minimal 5 (Plus-)Punkte erreichen.

Negativ besetzte Fragen:

„fast nie“	=	-1 Punkt
„manchmal“	=	-2 Punkte
„häufig“	=	-3 Punkte
„meistens“	=	-4 Punkte

Diese Punktwertung besagt, dass pro negativ belegter Frage bis zu 4 Minuspunkte erreicht werden konnten. Da je Fragebogen fünf entsprechende Fragen gestellt wurden, konnte der Proband maximal 20 und minimal 5 Minuspunkte erreichen.

Die Plus- und Minuspunkte eines Bogens wurden addiert. Daraus ergibt sich ein mögliches Spektrum von -15 (negativ besetztes Erleben hat deutlich dominiert) bis +15 (fast ausschließlich positives Erleben).

### 3.5.3 Angestellte Vergleiche

#### 3.5.3.1 TaskForce – Suunto

Die parallele Messung der Herzratenvariabilität der Probanden im Labor mit Hilfe des stationär etablierten TaskForce-Monitors und der Suunto T6 stellte den Ausgangspunkt dieser Studie dar. Der Vergleich der jeweils gewonnenen Daten galt als Grundvoraussetzung für die mögliche Verwendung der Suunto-Pulsuhr im Feld. Nachfolgend wurden die zeitgleich ermittelten EKG-Werte verglichen. Geklärt werden musste, ob die Suunto-Pulsuhr unter geregelten Abläufen, wie sie im Kreislaulabor gegeben waren, eine korrekte und störungsfreie Aufzeichnung der Herzratenvariabilität ermöglicht. Als Parameter für diesen Vergleich wurden die Herzschläge pro Minute herangezogen. Das Softwareprogramm des TaskForce-Monitors ermittelt für die Dauer eines Belastungstests bzw. einer Ruhephase den jeweiligen Durchschnittswert der Herzschlagfrequenz.

Somit ergaben sich (für jedes Messsystem separat) 20 Beobachtungseinheiten (jede Beobachtungseinheit entspricht einem durchgeführten Versuch bzw. einer Ruhephase; siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Einteilung in die verschiedenen Beobachtungseinheiten**

Versuchsnummer/ Beobachtungseinheit	Versuchsbezeichnung	Versuchsnummer/ Beobachtungseinheit	Versuchsbezeichnung
1	Beginn*	11	Valsalva1
2	Ruhe1	12	Ruhe6
3	RSA1	13	Valsalva2
4	Ruhe2	14	Ruhe7
5	RSA2	15	Rechnen
6	Ruhe3	16	Ruhe8
7	Stroop1	17	Kipp_auf
8	Ruhe4	18	Kipp_60
9	Stroop2	19	Kipp_ab
10	Ruhe5	20	Ruhe9

\*Der Beginn der Aufzeichnung wurde nicht in die Betrachtung miteinbezogen, da kontrollierte Bedingungen erst mit Beginn der ersten Ruhephase möglich sind.

### 3.5.3.2 Individuelle HRV-Muster

Es wurde von jedem Probanden ein individuelles HRV-Muster unter standardisierten Bedingungen im Zuge der Labormessung erstellt. Herangezogen wurden die Daten der Suunto-Pulsuhr ausgewertet mit HRV-Analysis. Man erhält einen intra-individuellen Vergleichsmaßstab bezüglich der HRV-Antwort als Reaktion auf wechselnde Belastungen. Das HRV-Muster spiegelt die Fähigkeit wieder sich an Gefahrensituationen anzupassen und anschließend wieder zu erholen (van Amelsvoort, Schouten et al. 2000; Hottenrott, Hoos et al. 2006). Eine hohe Variabilität ist Zeichen einer guten Adaptierbarkeit mit gut funktionierenden autonomen Kontrollmechanismen (Pumprla, Howorka et al. 2002). In den Ruhephasen zwischen den durchgeführten Tests sollten sich die Belastungsinduzierten Veränderungen im HRV-Spektrum zurückbilden. Eine verminderte bzw. verzögerte Rückbildung lässt auf eine gestörte Stressverarbeitung schließen. In diesem Fall wäre der betroffene Proband nicht in der Lage sich von entstandenem Stress wieder zu erholen.

Mögliche vorhandene Pathologien der beteiligten Probanden konnten auf diese Weise festgestellt werden.

Für die Erstellung der HRV-Muster wurden mit HRV-Analysis die Frequenzbasierten Parameter VLF, LF und HF errechnet. Je Versuchsbedingung wurde der Mittelwert gebildet. Graphisch aufgetragen lassen sich Schwankungen im HRV-Spektrum zwischen den unterschiedlichen Versuchsbedingungen erkennen.

### 3.5.3.3 Labor – Feld

Es wurde untersucht, ob die Belastungstests im Kreislauflabor ähnliche Reaktionen des Körpers auslösen, wie sie während der Arbeit in einem Harvester entstehen.

Die Analyse erfolgt auf Basis der zeitbasierten Parameter sowie auf Basis der frequenzbasierten Parameter.

Entsprechend der Erstellung der individuellen HRV-Muster der vorangegangenen Betrachtung wurden für diesen Vergleich anhand des Laborablaufs Mittelwerte gebildet. Für jeden Parameter wurde je Versuchsbedingung ein Mittelwert erstellt.

Die Messwerte aus den Feldmessungen wurden minutenweise zusammengefasst. Bei einem 10-stündigen Arbeits- und Messtag ergeben sich je Parameter ca. 600 Mittelwerte, die die Beanspruchung im Tagesverlauf wiedergeben.

Die erstellten Werte aus Feld- und Labormessung wurden für jeden Probanden weiter zusammengefasst. Die Analyse der Felddaten hat gezeigt, dass im Verlauf des Arbeitstages keine wesentlichen Schwankungen vorhanden waren. Die Felddaten wurden deshalb zu einem Mittelwert zusammengeführt. Tabelle 3 gibt einen Überblick über das Prinzip der Zusammenlegung der Labor- und Felddaten.

**Tabelle 3: Zusammenlegung der gewonnenen Daten jedes Probanden in drei Beobachtungseinheiten**

<b>Einheit 1:</b>	<b>Labor-Ruhe:</b> umfasst die Daten aus den Zeitspannen aller Ruhephasen* während der Durchführung der Labormessung.
<b>Einheit 2:</b>	<b>Labor-Aktivität:</b> umfasst die Daten aus den Zeitspannen der einzelnen Versuche der Labormessung: •RSA1+2                      •Kopfrechnen •Stroop1+2                    •Hochkippen des Kipptisches •Valsalva1+2                 •Herunterkippen des Kipptisches
<b>Einheit 3:</b>	<b>Feld:</b> umfasst die Daten aus der kompletten Aufzeichnung während der Messung im Feld.

\*Die Ruhephase innerhalb des Kipptischversuches, in der der Proband in 60°-Position verweilt, wurde nicht verwertet, da sie durch die veränderte Körperstellung des Probanden nicht mit den übrigen Ruhephasen gleichzustellen ist.

### **3.5.3.4 Fragebögen – Pulsuhrdaten**

Die zugrunde liegende Idee dieser Untersuchung war die Zusammenführung der gemessenen Werte aus der Herzratenvariabilität mit den subjektiven Werten, die den Fragebögen zu entnehmen waren.

Die Auswertung der Fragebögen ergab eine Stimmungskurve über den Zeitraum des Arbeitstages, die Auswertung der HRV eine den Arbeitstag abdeckende Beanspruchungsanalyse auf Basis des vegetativen Nervensystems.

Für den Vergleich dieser beiden Kurven wurden die HRV-Daten in halbstündige Einheiten, entsprechend den erfassten Zeitabständen der Fragebögen, zusammengefasst.

Der Stimmungskurve anhand der Fragebögen wurden die Kurven der Zeit-Bereich Parameter und die Kurven der Frequenz-Bereich Parameter gegenübergestellt. Ziel war es festzustellen, ob sich Parallelen im Verlauf der „subjektiven (Fragebogen-) Kurven“ und im Verlauf der „objektiven (HRV-)Kurven“ zeigten. Dies sollte eine Aussage bezüglich der Aussagekraft der Fragebögen ermöglichen.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 TaskForce – Suunto

**Tabelle 4: Mittelwerte der erfassten Herzschlagfrequenzen angegeben in BPM mit den unterschiedlichen Messsystemen.**

Jede Untersuchungsbedingung im Labor nahm eine bestimmte Zeit in Anspruch. Für jede dieser Zeitspannen wurde ein Mittelwert der Herzschlagfrequenz erstellt. Die jeweilige prozentuale Abweichung des Suunto-Wertes gegenüber dem TaskForce-Wert ist angegeben.

Bed.	Proband 1		Proband 2		Proband 3		Proband 4		Proband 5		Abw. in %
	TaskForce	Suunto									
1											
2	69,2	69,14	85,0	84,94	67,7	67,62	66,3	66,18	64,9	64,99	-0,18
3	68,9	68,85	78,8	78,82	64,8	64,79	63,8	63,86	64,8	63,86	+0,09
4	69,2	69,09	85,1	84,88	63,9	63,83	63,0	62,93	62,7	60,64	-0,11
5	66,5	66,42	82,2	82,22	60,3	60,29	64,0	63,86	62,1	61,39	-0,22
6	69,3	69,41	83,1	83,05	62,7	62,55	63,5	62,16	63,2	62,12	-2,11
7	69,6	69,21	82,5	81,72	89,8	88,32	82,5	74,31	70,8	70,46	-9,93
8	68,2	68,15	80,4	80,23	73,8	75,88	64,9	64,47	61,7	59,54	-0,66
9	69,5	69,37	82,5	82,80	73,5	72,36	77,5	77,95	66,6	66,68	+0,58
10	69,3	69,27	78,0	78,12	70,4	70,20	65,4	65,06	59,8	58,86	-0,52
11	78,8	77,13	94,1	89,93	105,9	102,84	75,3	75,12	93,0	94,64	-0,24
12	67,8	67,87	72,3	71,27	65,5	65,82	61,0	61,48	62,8	63,33	+0,79
13	72,8	71,44	97,2	91,81	99,1	95,47	80,8	79,61	**	**	-1,47
14	67,3	67,32	78,9	77,66	71,8	71,65	61,5	59,55	**	**	-3,17
15	78,1	78,04	81,0	82,06	92,4	92,77	78,1	78,13	72,8	76,76	+0,04
16	64,5	64,51	76,7	76,72	73,0	72,90	62,8	62,77	62,2	62,93	-0,05
17	62,5	61,64	73,1	72,17	*	67,17	66,7	63,67	61,7	61,83	-4,54
18	78,5	78,26	86,0	85,51	76,4	76,12	76,6	76,54	81,3	81,25	-0,08
19	69,3	72,51	86,5	86,51	*	70,22	73,2	73,32	72,4	71,66	+0,16
20	64,8	64,62	82,4	82,40	69,2	68,52	64,5	64,52	58,3	58,24	+0,03

\* Fehlerhafte Messung des TaskForce-Monitors, dadurch keine Daten vorhanden. Die entsprechenden Werte der Suunto-Pulsuhr wurden somit ebenfalls nicht berücksichtigt, da kein Referenzwert zur Verfügung stand.

\*\*Versuch nicht durchgeführt, daher keine Daten vorhanden

Die Messwerte der Suunto-Pulsuhr weichen im Mittel um 1,05% gegenüber den Messwerten des TaskForce Monitors ab. Mittels paariger T-Tests wurde für jeden Probanden separat geprüft, ob signifikante Unterschiede in den Messwerten vorhanden sind. Die Angabe der P-Werte sind Tabelle 5 zu entnehmen. Gemäß allgemeiner Konvention wurde ein Signifikanz-Niveau von 0,05 gefordert.

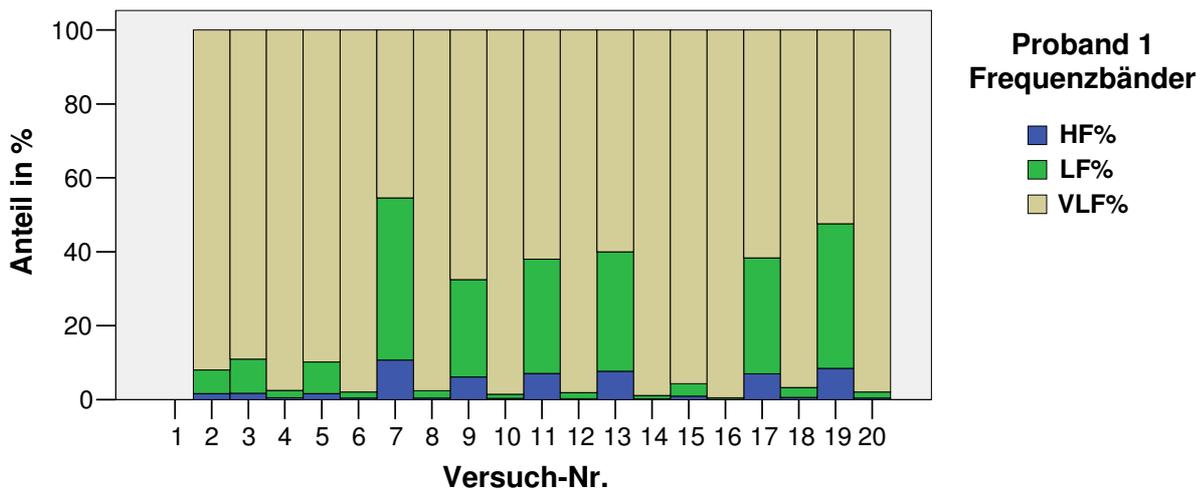
**Tabelle 5: T-Test korrigierte P-Werte.**

Proband	1	2	3	4	5
P-Wert (Suunto- TaskForce)	0.656	0,071	0,144	0,082	0,746

Die Testung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten beider Messsysteme. Damit wurde entschieden die Suunto-Pulsuhr als Messinstrument in den Feldmessungen einzusetzen.

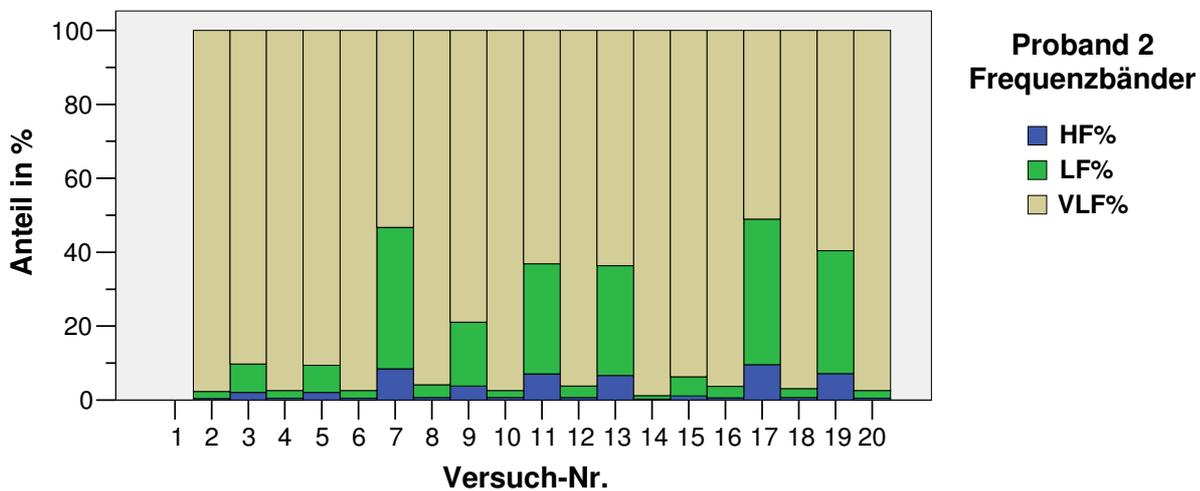
## 4.2 Individuelle HRV-Muster

Im folgendem sind die individuellen HRV-Muster von Proband 1-5 aus der Laboruntersuchung dargestellt. Die Messung im Labor diente u.a. der Erstellung der standardisierten individuellen HRV-Muster. Anhand des HRV-Musters lässt sich erkennen, ob der Proband in der Lage war, sich von entstandenem Stress wieder zu erholen. Die HRV-Muster geben die frequenzbasierten Parameter VLF, LF und HF an. Die Versuchsnummern 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 und 20 entsprechen Ruhephasen. Die Versuchsnummern mit ungerader Ziffer bezeichnen Stresssituationen im Sinne eines Belastungstests. Eine Übersicht über die jeweilige Testsituation gibt Tabelle 2. Im Folgendem gilt: Blau = Anteil der Frequenzen im Hoch-Frequenz-Bereich; Grün = Anteil der Frequenzen im Niedrig-Frequenz-Bereich; Beige = Anteil der Frequenzen im Sehr-Niedrig-Frequenz-Bereich.



**Abbildung 8: Individuelles HRV-Muster von Proband 1**

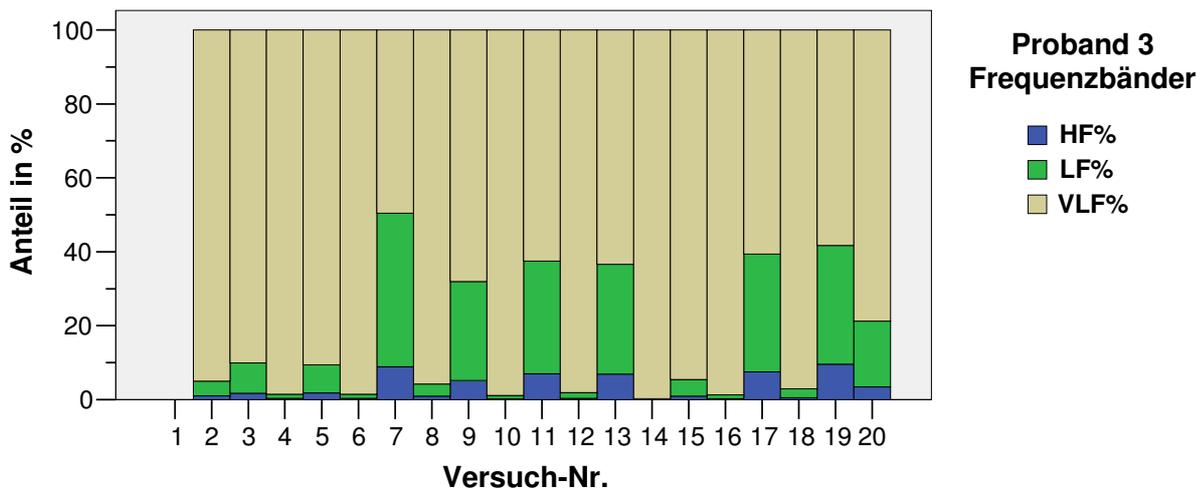
Das HRV-Muster von Proband 1 zeigt eine variable Verteilung der Frequenzbänder, passend zu dem Wechsel aus Entspannung und Belastung, der aus der Abfolge der Testbatterie (siehe 3.4.2.6) zu erwarten war. Der Proband zeigt sich in der Lage sein Aktivitäts-Niveau rasch wechselnden Anforderungen anzupassen.



**Abbildung 9: Individuelles HRV-Muster von Proband 2**

Dargestellt ist die Frequenzverteilung im HRV-Spektrum unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (siehe Erläuterungen Proband 1).

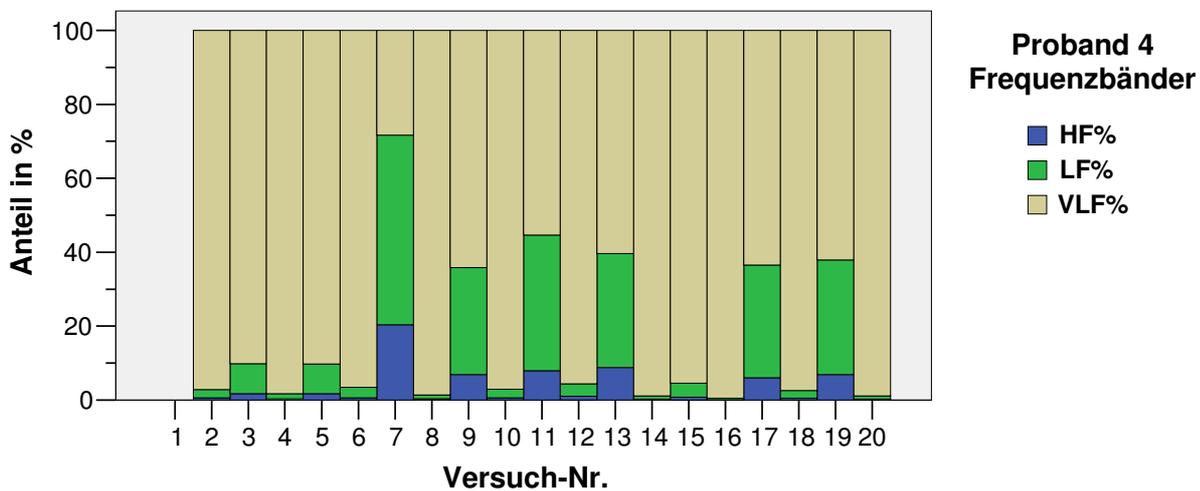
Das HRV-Muster von Proband 2 weist ebenfalls abhängig der Untersuchungsbedingung eine variierende Verteilung im Frequenzspektrum auf. Proband 2 zeigt sich somit ebenfalls in der Lage sein Aktivitäts-Niveau rasch an wechselnde Anforderungen anzupassen.



**Abbildung 10: Individuelles HRV-Muster von Proband 3**

Dargestellt ist die Frequenzverteilung im HRV-Spektrum unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (siehe Erläuterungen Proband 1).

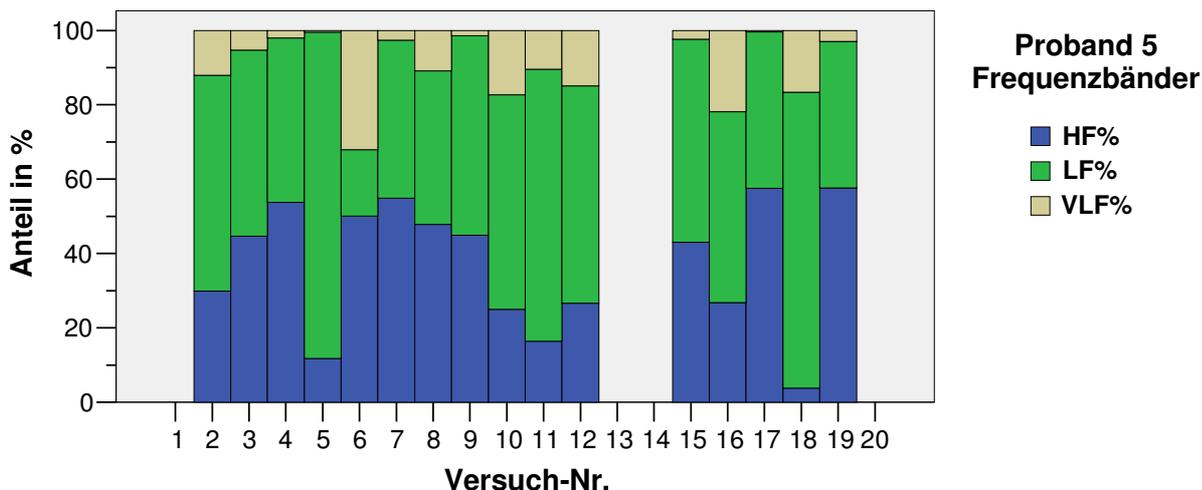
Proband 3 zeigt ein mit Proband 1 und 2 vergleichbares Reaktionsmuster. Besonders die Belastungstests mit den Versuchsnummern 7, 9, 11, 13, 17, und 19 provozierten bei den Probanden verstärkte Anteile im LF- und HF-Bereich.



**Abbildung 11: Individuelles HRV-Muster von Proband 4**

Dargestellt ist die Frequenzverteilung im HRV-Spektrum unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (siehe Erläuterungen Proband 1).

Das HRV-Muster von Proband 4 weist dieselben Regelmäßigkeiten auf, wie bei Proband 3 beschrieben. Es zeigt eine gute Anpassungsfähigkeit des Probanden an wechselhafte Bedingungen.



**Abbildung 12: Individuelles HRV-Muster von Proband 5**

Dargestellt ist die Frequenzverteilung im HRV-Spektrum unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (siehe Erläuterungen Proband 1). Versuchsnummer 13 wurde nicht durchgeführt, so dass nach vorangegangener Ruhephase (Nr. 12) direkt mit Versuchsnummer 15 fortgesetzt wurde.

Das HRV-Muster von Proband 5 unterscheidet sich deutlich von den vorangegangenen. Die Schwankungen im Frequenzspektrum lassen keinen Zusammenhang zu dem Wechsel aus Belastung und Entlastung erkennen, der durch die Abfolge der Testbatterie (siehe 3.4.2.6) zu erwarten gewesen wäre. Das Aktivitäts-Niveau kann nicht situationsangepasst reagieren.

Die Probanden 1-4 verfügen über eine gute Anpassungsfähigkeit an wechselnde Belastungen. In den Ruhephasen zwischen den durchgeführten Tests bilden sich die belastungsinduzierten Veränderungen im HRV-Spektrum zurück. Proband 5 zeigt eine reduzierte Variation im HRV-Spektrum. Das lässt auf eine gestörte Stressverarbeitung schließen. Zusammenfassend lässt sich folgende Aussage treffen: Die Probanden 1-4 konnten sich von entstandenem Stress wieder erholen, Proband 5 konnte dies nicht.

## **4.3 Labor – Feld**

### **4.3.1 Zeit-Bereich Parameter (BPM, BPM\_SD, RMSSD)**

Zur Klärung, ob die im Labor durchgeführten Tests vergleichbare Beanspruchungen erzeugen können, wie sie während der Arbeit im Harvester gegenwärtig sind, wurden die zeitlich basierten Parameter der Labor- und Feldmessung von den Probanden 1-4 nach dem Schema aus Tabelle 3 gemittelt. Proband 5 stand für diesen Vergleich aufgrund eines Ausfalls der Suunto-Pulsuhr nicht zur Verfügung.

Folgende Parameter wurden untersucht:

1. Herzschlagfrequenz in Herzschlägen pro Minute
2. Standardabweichung der Herzschlagfrequenz
3. RMSSD (Betrachtung der Abstände aufeinander folgender Herzschläge)

Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt, beginnend mit der Betrachtung der Herzschlagfrequenz (BPM) und deren Standardabweichung. Im Anschluss erfolgt die Betrachtung des RMSSD-Wertes.

### 4.3.1.1 Herzschlagfrequenz und Standardabweichung

Tabelle 6: Vergleich: Labor(Ruhe) – Labor(Aktivität) - Feldarbeit

Durchschnittliche Herzschlagfrequenz (BPM) und deren Standardabweichung (BPM\_SD) in Schlägen pro Minute gemessen im Labor unter Ruhebedingungen (3min ruhiges Liegen) und unter Aktivität (Proband führt die ihm aufgetragenen Aufgaben durch) sowie gemessen im Feld.

Proband	Labor Ruhe		Labor Aktivität		Feld	
	BPM	BPM_SD	BPM	BPM_SD	BPM	BPM_SD
Proband 1	67,71	3,97	70,51	5,01	80,82	6,05
Proband 2	79,92	4,54	83,12	4,49	81,06	4,47
Proband 3	68,77	6,91	79,36	7,58	76,05	7,14
Proband 4	63,24	3,79	72,20	5,94	74,08	3,70
Mittelwert	69,91	4,80	76,30	5,76	78,00	5,34

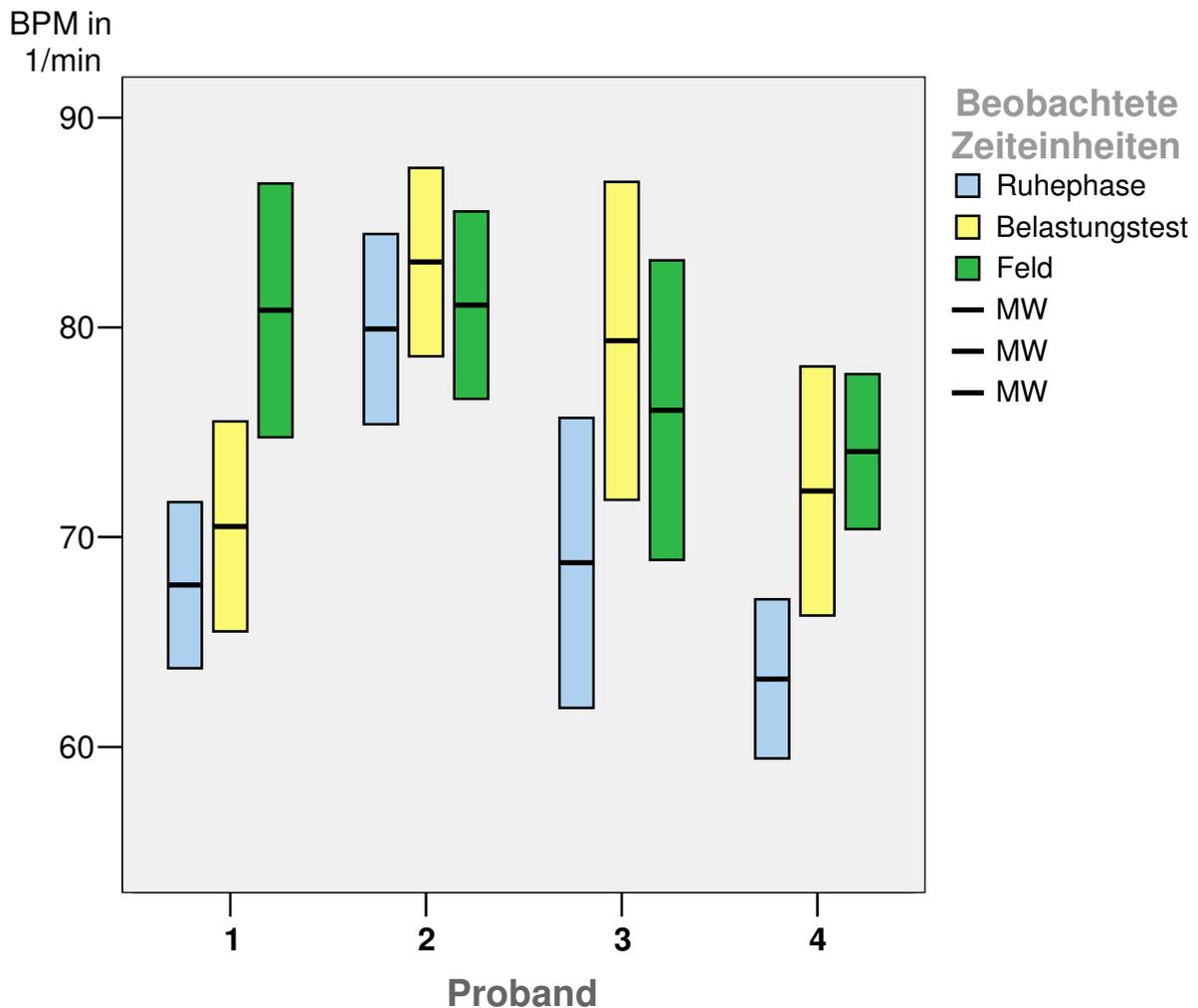


Abbildung 13: Herzschlagfrequenzen der einzelnen Probanden unter den verschiedenen Bedingungen.

Die farbigen Balken symbolisieren die unterschiedlichen Bedingungen. Jeder Balken besitzt einen zentralen schwarzen Balken. Dieser entspricht dem Mittelwert. Das obere bzw. untere Ende jedes farbigen Balken entspricht dem Mittelwert plus / minus einer Standardabweichung.

### 4.3.1.2 RMSSD

Tabelle 7: Vergleich: Labor(Ruhe) – Labor(Aktivität) - Feldarbeit

Vergleich der ermittelten RMSSD-Werte im Labor unter Ruhebedingungen (3min ruhiges Liegen) und unter Aktivität (Proband führt die ihm aufgetragenen Aufgaben durch) sowie die im Feld ermittelten Werte. Angegeben in ms.

Proband	RMSSD Labor Ruhe	RMSSD Labor Aktivität	RMSSD Feld
Proband 1	25,17	27,6	2,13
Proband 2	30,61	15,14	1,05
Proband 3	37,21	20,18	1,88
Proband 4	22,38	17,70	1,10
Mittelwert	28,84	20,16	1,54

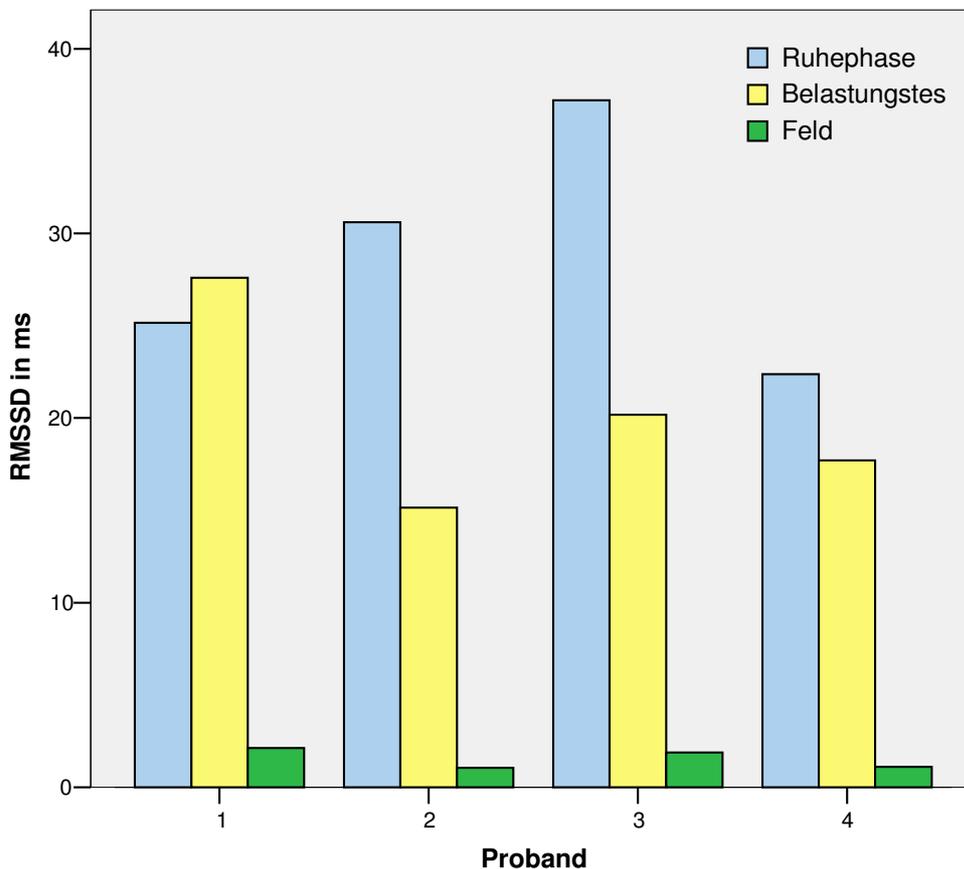


Abbildung 14: Vergleich Labor(Ruhe) – Labor(Aktivität) - Feldarbeit:

Dargestellt ist der gemittelte Wert des RMSSD der Herzschlagfrequenz unter den verschiedenen Bedingungen.

### 4.3.1.3 Gesamtbetrachtung

Die Abbildungen 13 und 14 zeigen, dass ausschließlich der RMSSD einer eindeutigen Schwankung unterliegt. Abbildung 15 fasst die Ergebnisse noch einmal zusammen.

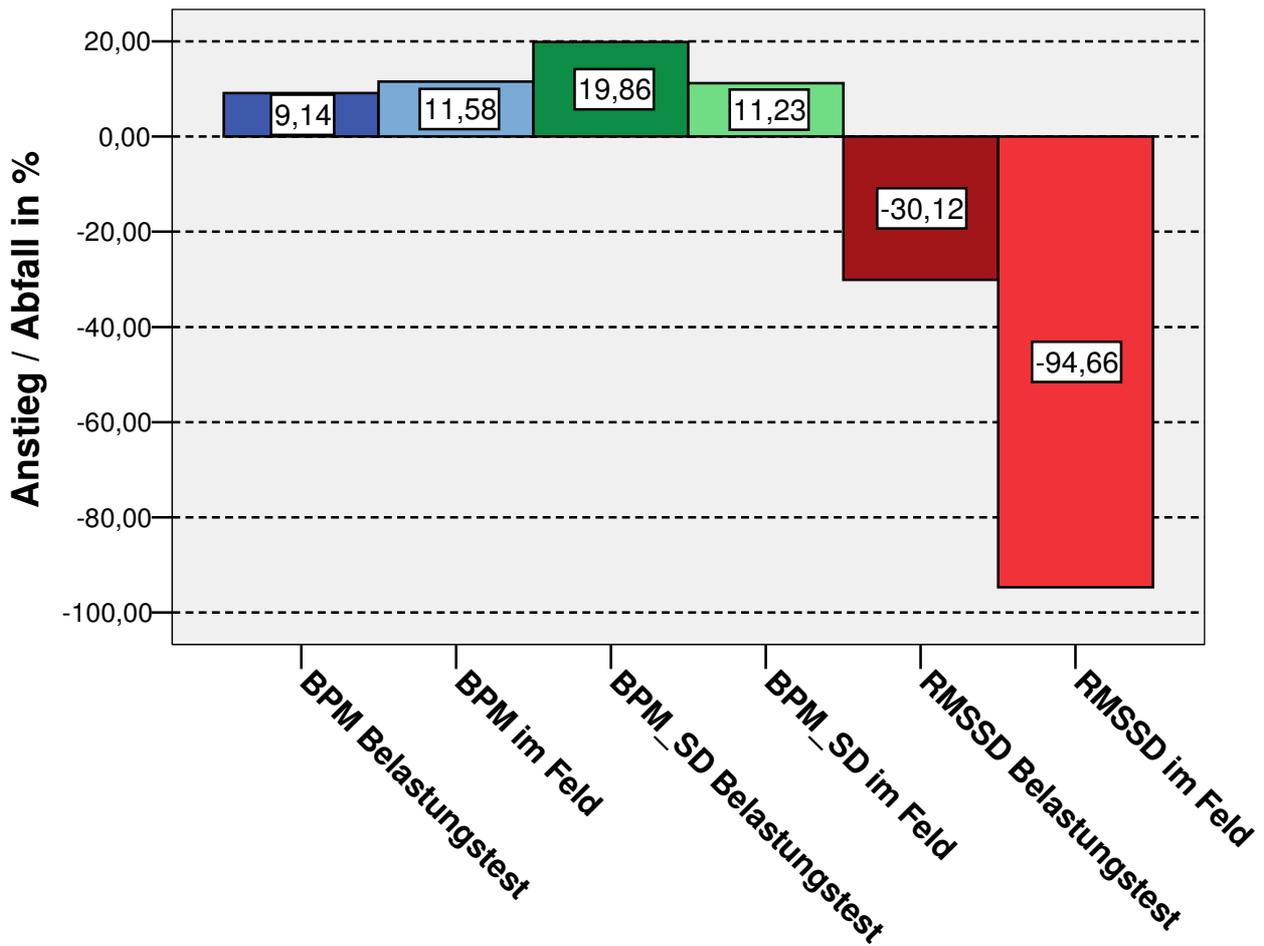


Abbildung 15:  
Veränderung der einzelnen Parameter gegenüber Ruhebedingungen (0,00).

Die Null-Linie entspricht den gemittelten Werten aller Ruhephasen im Labor (=Ausgangswert). Die Abweichung der einzelnen Parameter, je nach vorherrschender Bedingung, ist in Prozent angegeben. Werte oberhalb der Null-Linie zeigen einen Anstieg des betreffenden Parameters an, Werte unterhalb der Null-Linie einen Abfall.

#### 4.3.1.4 T-Test

Im folgendem wurden die vorangegangenen Beobachtungen einer eingängigeren Prüfung unterzogen. Zu jedem Parameter wurden die gemessenen Unterschiede zwischen den drei Beobachtungseinheiten (Labor-Ruhe, Labor-Aktivität, Feld) auf ihre Signifikanz hin geprüft.

Die Testung auf Signifikanz erfolgte mittels T-Tests. Gemäß allgemeiner Konvention wurde ein Signifikanz-Niveau von 0,05 gefordert. Die ermittelten P-Werte sollen als Orientierung und Richtwert für größer angelegte Untersuchungen dienen. Diese sollten die zum jetzigen Zeitpunkt vorhanden Daten bestätigen.

Die Reihenfolge der Testung lautet:

1. Werte(Labor-Ruhe) – Werte(Labor-Aktivität)
2. Werte(Labor-Ruhe) – Werte(Feld)
3. Werte(Labor-Aktivität) – Werte(Feld)

Die Ergebnisse der Bestimmung der P-Werte sind Tabelle 8 zu entnehmen.

**Tabelle 8: T-Test korrigierte P-Werte.**

BPM	P-Wert	BPM_SD	P-Wert	RMSSD	P-Wert
Labor-Ruhe Labor-Aktivität	0,049	Labor-Ruhe Labor-Aktivität	0,129	Labor-Ruhe Labor-Aktivität	0,156
Labor-Ruhe Feld	0,053	Labor-Ruhe Feld	0,377	Labor-Ruhe Feld	0,003
Labor-Aktivität Feld	0,618	Labor-Aktivität Feld	0,587	Labor-Aktivität Feld	0,005

## BPM

Die Werte unter Versuchsdurchführung unterscheiden sich signifikant von den Labor-Ruhewerten ( $P= 0,049$ ).

Die Unterschiede zwischen den Feldwerten und den Ruhewerten liegen im Gegensatz dazu außerhalb der geforderten Signifikanzschwelle ( $P= 0,053$ ).

Zwischen Labor-Aktivität und Feld findet sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied ( $P= 0,618$ ).

## BPM\_SD

Es findet sich in keiner Betrachtung ein signifikanter Unterschied.

P [Ruhe-Versuch] = 0,129

P [Ruhe-Feld] = 0,377

P [Versuch-Feld] = 0,587

## RMSSD

Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Werten unter Labor-Ruhe und Labor-Versuchsdurchführung ( $P = 0,156$ ).

Allerdings zeigt sich:

→Signifikanter Unterschied zwischen Labor-Ruhe und Feld ( $P=0,003$ ).

→Signifikanter Unterschied zwischen Labor-Aktivität und Feld ( $P=0,005$ ).

## Zusammenfassende Besprechung

Die Erhöhung der Herzschlagfrequenz unter Stressbedingungen im Labor sowie unter Feldbedingungen ist nur sehr gering. Unter Berücksichtigung der begrenzten Probandenzahl lässt sich somit anhand dieses Parameters keine sichere Aussage treffen.

Die Standardabweichung lässt weder eine erhöhte Beanspruchung während der Arbeit im Harvester, noch während den Belastungstests im Kreislauflabor erkennen. Sie ist im Gegenteil sogar erhöht, was Zeichen von vermehrter Entspannung ist.

Da die übrigen Parameter (siehe Besprechung der Frequenzbasierten Parameter) eine Mehrbeanspruchung anzeigen, kann davon ausgegangen werden, dass die Werte der Standardabweichung in der vorliegenden Untersuchung nicht dem real vorhandenem Beanspruchungsgrad gerecht werden.

Der RMSSD weist im Gegensatz zur Herzschlagfrequenz und deren Standardabweichung einen deutlichen Trend auf. Besonders unter Feldarbeit zeigt der RMSSD eine deutliche Mehrbelastung an. In zukünftigen Studien sollte besonderes Augenmerk auf diesen Parameter gelegt werden.

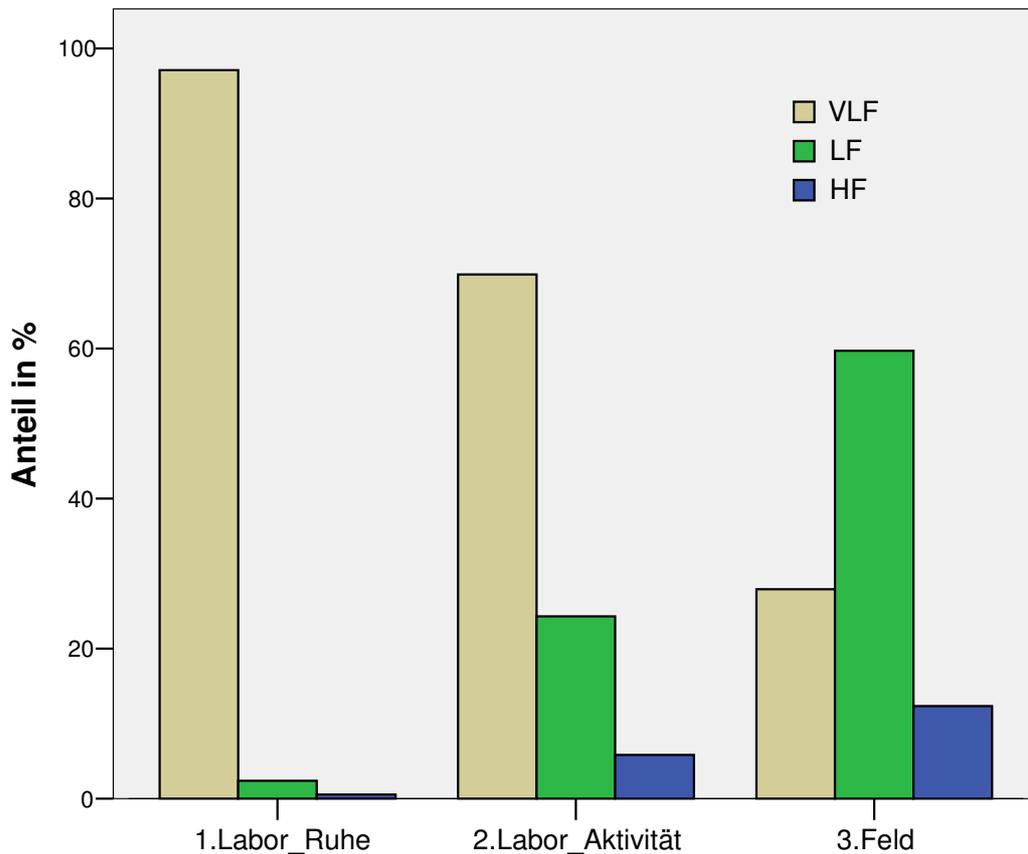
## 4.3.2 Frequenz-Bereich Parameter (VLF, LF, HF)

### 4.3.2.1 Prozentuale Werte

Die prozentualen Anteile der Frequenzbänder aus der Analyse der Pulsuhrdaten der Labor- und Feldmessung sind für die Probanden 1-4 nach dem Schema aus Tabelle 3 gemittelt worden. Die gemittelten Werte sind in Tabelle 9 aufgelistet. Die graphische Darstellung folgt in Abbildung 16. Proband 5 stand für diesen Vergleich aufgrund eines Ausfalls der Suunto-Pulsuhr nicht zur Verfügung.

**Tabelle 9: Anteile von VLF, LF und HF der Probanden je Beobachtungseinheit. In die Mittelwertberechnung der Felddaten gingen die im Minutentakt erstellten Mittelwerte ein: Proband 1: 632 MW; Proband 2: 677 MW; Proband 3: 304 MW; Proband 4: 610 MW.**

<b>Labor</b>			
<b>-Ruhe</b>	<b>VLF%</b>	<b>LF%</b>	<b>HF%</b>
Proband 1	97,54	2,00	0,46
Proband 2	97,17	2,30	0,53
Proband 3	95,79	3,48	0,73
Proband 4	97,86	1,71	0,43
Mittelwert	97,09	2,37	0,54
<b>Labor</b>			
<b>-Versuch</b>	<b>VLF%</b>	<b>LF%</b>	<b>HF%</b>
Proband 1	69,28	25,02	5,70
Proband 2	71,57	23,09	5,34
Proband 3	70,87	23,63	5,50
Proband 4	67,76	25,46	6,79
Mittelwert	69,87	24,30	5,83
<b>Feld</b>	<b>VLF%</b>	<b>LF%</b>	<b>HF%</b>
Proband 1	25,67	56,87	17,46
Proband 2	29,30	61,19	9,51
Proband 3	20,32	69,96	9,72
Proband 4	36,46	50,84	12,70
Mittelwert	27,94	59,72	12,35



**Abbildung 16: Verteilung der Frequenzbereiche unter den verschiedenen Voraussetzungen. Angabe in Prozent. VLF+LF+HF = 100%. Herangezogen wurden die Mittelwerte aller Probanden entnommen Tabelle 9.**

Abbildung 16 zeigt, dass sich die Anteile der Frequenzbänder unter den verschiedenen Bedingungen deutlich verschieben. Die Anteile von LF und HF steigen bei Aktivität um das 10-fache. Eine weitere Steigerung auf das Doppelte ist im Feld zu beobachten. VLF wird dagegen verdrängt und deren Anteil reduziert.

Die durchgeführten Laborversuche stellen eine Stressbelastung für den Probanden dar. Die Effekte auf die Herzratenvariabilität, die sich unter den Laborversuchen zeigten, verstärkten sich während der Feldmessung. Dies zeigt das hohe Stressniveau eines Menschen, der den Beruf des Harvesterfahrers ausübt.

### 4.3.2.2 Absolute Werte und LF/HF-Ratio

Als Ergänzung zu diesen Betrachtungen, die den Focus auf die Verhältnisse der einzelnen Parameter / Frequenzbänder zueinander legen, soll im folgendem die absolute Kraft der einzelnen Frequenzbänder angegeben werden. Die Kraft (Power) wird in  $\text{ms}^2$  angegeben und ist Tabelle 10 zu entnehmen.

**Tabelle 10: Die Power von VLF, LF, HF in  $\text{ms}^2$  je Beobachtungseinheit. Weiter ist der Quotient, gebildet aus LF und HF, angegeben. In die Mittelwertberechnung der Felddaten gingen die im Minutentakt erstellten Mittelwerte ein: Proband 1: 632 MW; Proband 2: 677 MW; Proband 3: 304 MW; Proband 4: 610 MW.**

<b>Labor</b>				
<b>-Ruhe</b>	<b>VLF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>LF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>HF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>LF / HF</b>
Proband 1	128504	1442	337	4,28
Proband 2	47057	891	210	4,24
Proband 3	115593	1061	230	4,61
Proband 4	151259	1519	356	4,27
Mittelwert	110603	1228	283	<b>4,34</b>
<b>Labor</b>				
<b>-Versuch</b>	<b>VLF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>LF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>HF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>LF / HF</b>
Proband 1	1102	45	11	4,11
Proband 2	557	32	7	4,55
Proband 3	1140	58	12	4,92
Proband 4	1147	51	11	4,60
Mittelwert	987	47	10,22	<b>4,55</b>
<b>Feld</b>				
	<b>VLF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>LF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>HF (<math>\text{ms}^2</math>)</b>	<b>LF / HF</b>
Proband 1	12	18	17	1,08
Proband 2	9	12	6	2,21
Proband 3	13	31	9	3,31
Proband 4	5	5	3	1,77
Mittelwert	10	17	9	<b>1,92</b>

Bei Betrachtung der Tabelle fällt auf, dass die Werte der Power aller drei Frequenzbänder unter Durchführung der Belastungstests sehr stark abnehmen. Ebenfalls wird deutlich, dass unter Feldbedingungen die Power weiter reduziert ist. Dies spricht für eine Mehrbelastung während der Arbeit im Harvester.

Das Verhältnis der absoluten Werte von LF zu HF, die so genannte LF/HF-Ratio, ändert sich unter Versuchsdurchführung im Labor gegenüber dem unter Ruhebedingungen kaum. Unter Feldbedingungen ist eine Verringerung dieses Quotienten erkennbar.

### 4.3.2.3 T-Test

Ausgehend der individuellen HRV-Muster aus den Laboruntersuchungen wurde geprüft, ob sich die verschiedenen im Kräfteverhältnisse zwischen VLF, LF und HF abhängig der Bedingung (Labor-Ruhe, Labor-Aktivität oder Feld) jeweils signifikant voneinander unterscheiden. Die relativen Werte in % aus Tabelle 9 wurden dieser Berechnung zugrunde gelegt. Die Testung auf Signifikanz erfolgte mittels T-Tests. Gemäß allgemeiner Konvention wurde ein Signifikanz-Niveau von 0,05 gefordert. Die ermittelten P-Werte sollen als Orientierung und Richtwert für größer angelegte Untersuchungen dienen. Diese sollten die zum jetzigen Zeitpunkt vorhandenen Daten bestätigen.

Die Reihenfolge der Testung lautet:

1. Werte(Labor-Ruhe) – Werte(Labor-Aktivität)
2. Werte(Labor-Ruhe) – Werte(Feld)
3. Werte(Labor-Aktivität) – Werte(Feld)

Die Ergebnisse der Bestimmung der P-Werte sind Tabelle 11 zu entnehmen.

**Tabelle 11: T-Test korrigierte P-Werte.**

VLF	P-Wert	LF	P-Wert	HF	P-Wert
Labor-Ruhe Labor-Aktivität	0,000	Labor-Ruhe Labor-Aktivität	0,000	Labor-Ruhe Labor-Aktivität	0,001
Labor-Ruhe Feld	0,000	Labor-Ruhe Feld	0,001	Labor-Ruhe Feld	0,008
Labor-Aktivität Feld	0,002	Labor-Aktivität Feld	0,004	Labor-Aktivität Feld	0,036

Die P-Werte zeigen sämtlich signifikante Unterschiede. Dies spricht für eine deutliche Mehrbeanspruchung der Probanden unter Ausübung ihres Berufes im Vergleich zur Beanspruchung, die standardisiert simulierbar war. Wegweisend wird diesbezüglich die Auswertung der Daten der in der Einleitung genannten Kooperationsstudie zwischen der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg und dem Universitätsklinikum Tübingen.

### 4.3.3 Resümee der Ergebnisse aus 4.3.1 und 4.3.2

Aus der Betrachtung der Parameter der Herzratenvariabilität lässt sich schließen:

1. Da die gewonnenen Werte aus der Fast-Fourier-Transformation (FFT) und die Werte von RMSSD übereinstimmend signifikante Unterschiede zwischen den Felddaten und den Labordaten aufweisen, kann geschlossen werden, dass die Beanspruchung durch die Arbeit in einem Harvester größer ist, als die Beanspruchung, die die Probanden im Kreislauflabor unter den Belastungstests erfuhren.
2. Die Parameter der Fourier-Analyse zeigen als einzige signifikante Unterschiede sowohl im Vergleich der Felddaten mit den Labordaten, als auch im Vergleich der Labordaten untereinander. Zwischen jeder der drei Beobachtungseinheiten sind die Unterschiede signifikant. Dies spricht dafür, dass die Frequenzbasierten Parameter die differenzierteste Aussage der hier getesteten Parameter über den Beanspruchungsgrad eines Menschen ermöglichen.
3. Der RMSSD zeigt sich geeignet die Beanspruchung während der Feldarbeit aufzuzeigen. Die Aussagekraft des RMSSD wird durch die Ergebnisse der Frequenzbasierten Parameter gestützt.
4. Das Verhältnis von LF zu HF, die LF/HF-Ratio, konnte keine Anzeichen liefern, die für eine Mehrbeanspruchung gesprochen hätten.
5. Die Herzschlagfrequenz pro Minute und deren Standardabweichung konnten keine Werte liefern, die eindeutige Rückschlüsse auf den Grad der Beanspruchung zuließen.

## 4.4 Fragebögen

### 4.4.1 Fahrerspezifischer Fragebogen

Bei keinem der Probanden war auffälliger Konsum von Alkohol, Koffein oder Nikotin festgestellt worden. Alle Probanden gaben an, in der vorangegangenen Nacht ausreichend geschlafen zu haben.

### 4.4.2 Fortlaufender Fragebogen

Die Ergebnisse der Auswertung der Fragebögen sind in den folgenden Diagrammen für jeden Probanden separat dargestellt. In die Betrachtung gingen alle vollständig ausgefüllten Fragebögen ein. Teilweise wurden einzelne Bögen nicht ausgefüllt bzw. nicht alle neun Fragen eines Bogens beantwortet. In solchen Fällen konnten aufgrund mangelnder Vergleichbarkeit die entsprechenden Bögen nicht ausgewertet werden (beachte Lücken in den Diagrammen). Die Fragebögen von Proband 4 konnten nicht ausgewertet werden, da sie nur unzulänglich ausgefüllt waren.

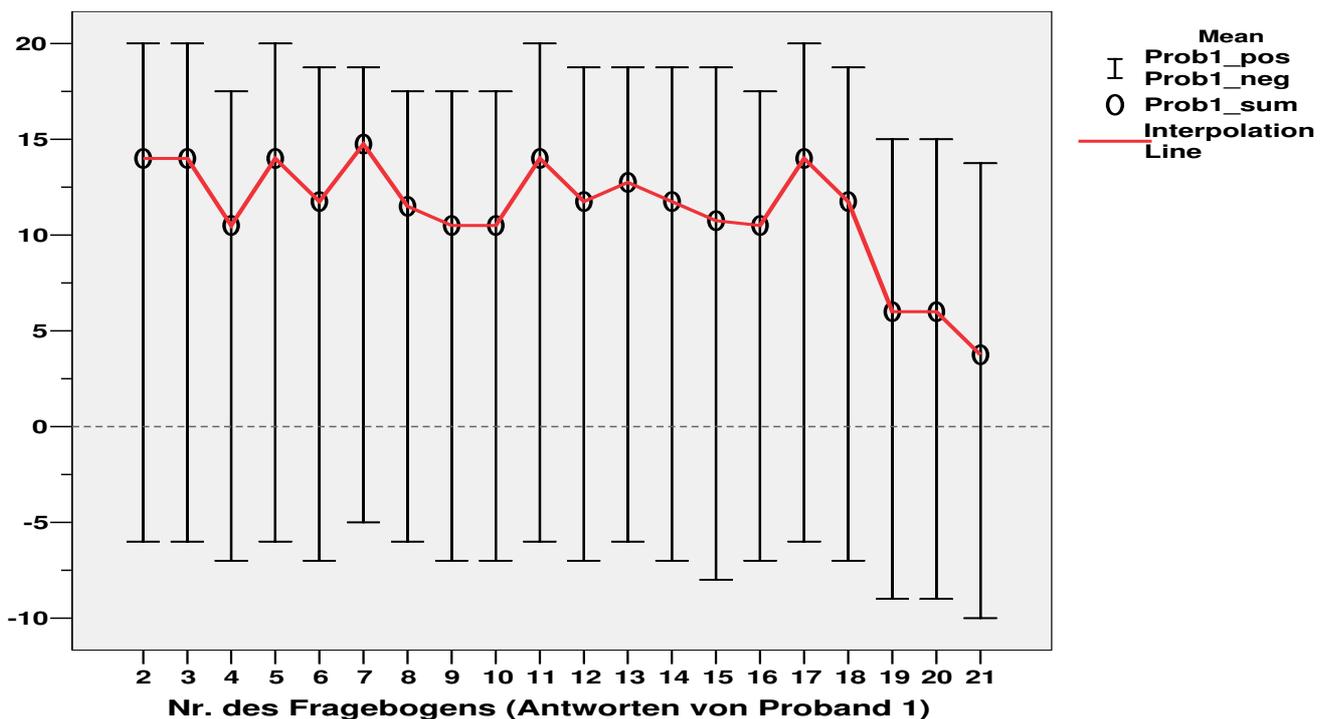


Abbildung 17: Angabe der erreichten Punkte für jeden Fragebogen (1-21).

Der Zeitraum zwischen zwei Fragebögen beträgt jeweils 30min. Die obere Markierung entspricht dem erreichten Punktwert der positiv besetzten Fragen, die untere Markierung dem Punktwert der negativ besetzten Fragen. Die mittlere Markierung (Kreis) ergibt sich aus der Addition beider Werte. Der Verlauf ist durch die Interpolationslinie (rot) dargestellt. Auf Höhe von 0 Punkten halten sich die positiv und die negativ empfundenen Gefühle die Waage (gestrichelte Referenzlinie). Das vorliegende Diagramm zeigt über den gesamten Arbeitstag ein Überwiegen der Positiv-Wertungen.

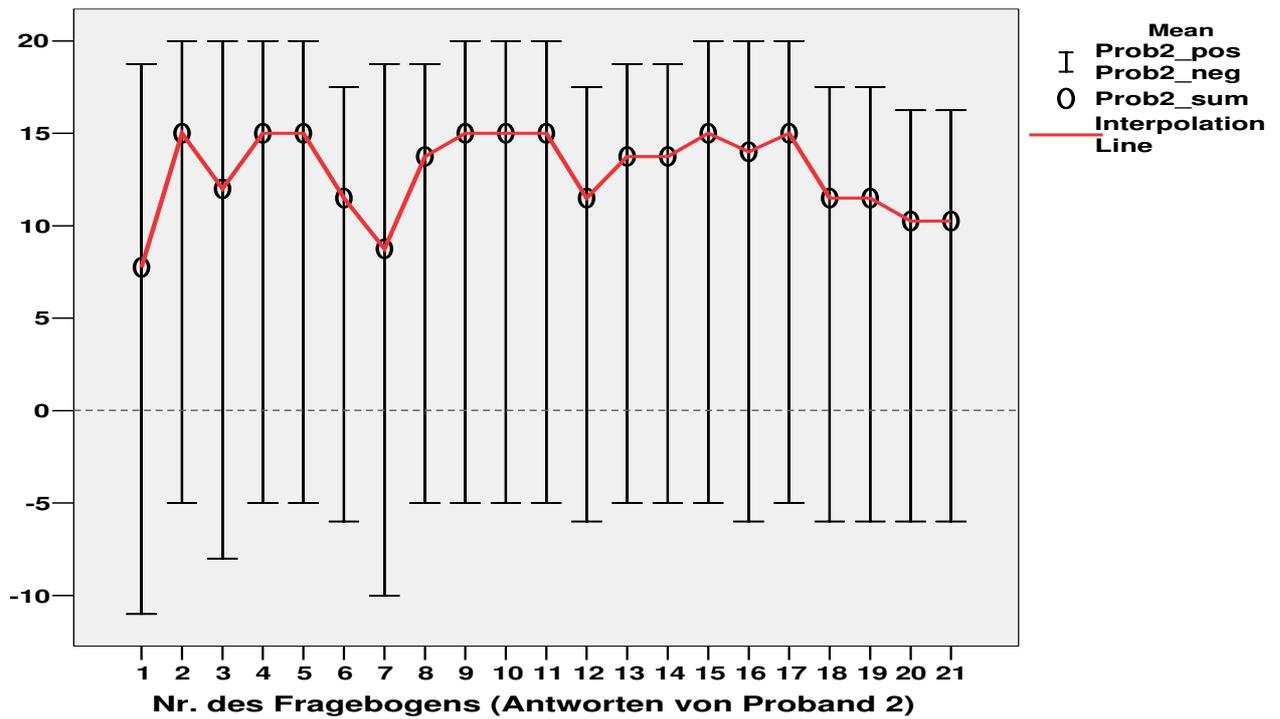


Abbildung 18: Angabe der erreichten Punkte für jeden Fragebogen (1-21).

Proband 2 bewertet seinen Arbeitstag über den gesamten Erhebungszeitraum fast ausschließlich positiv.

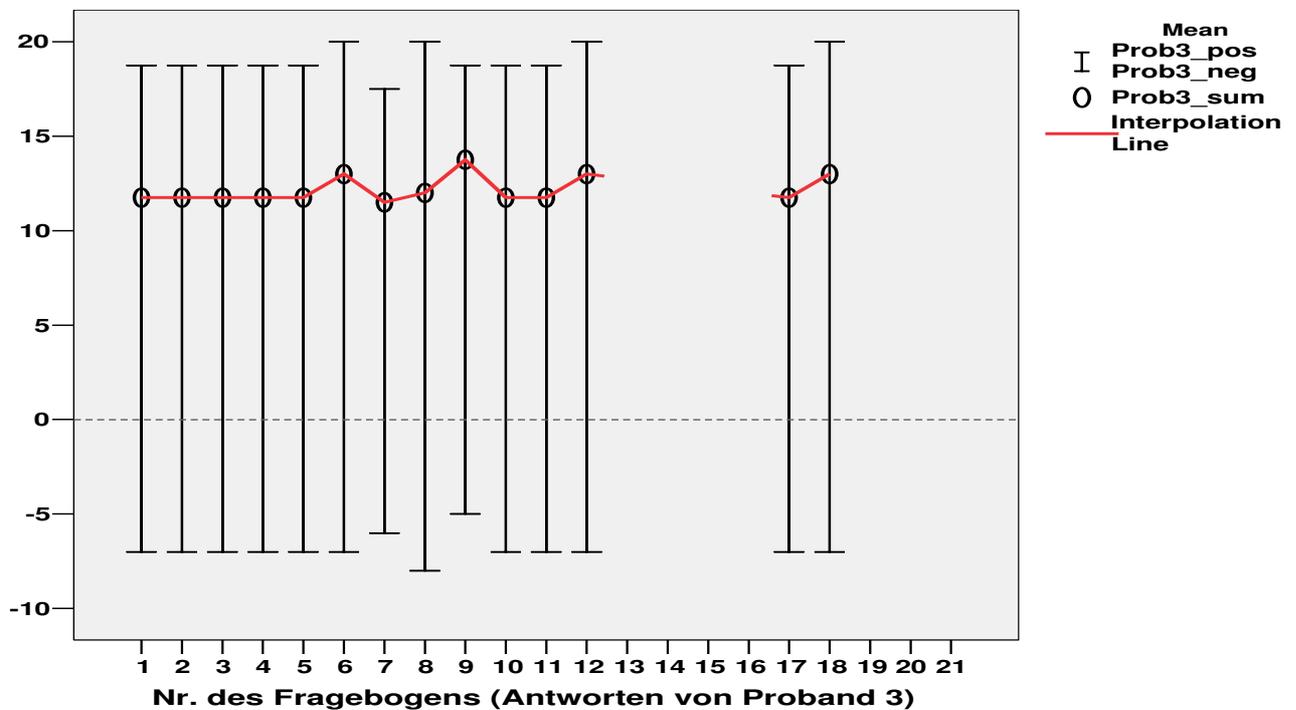
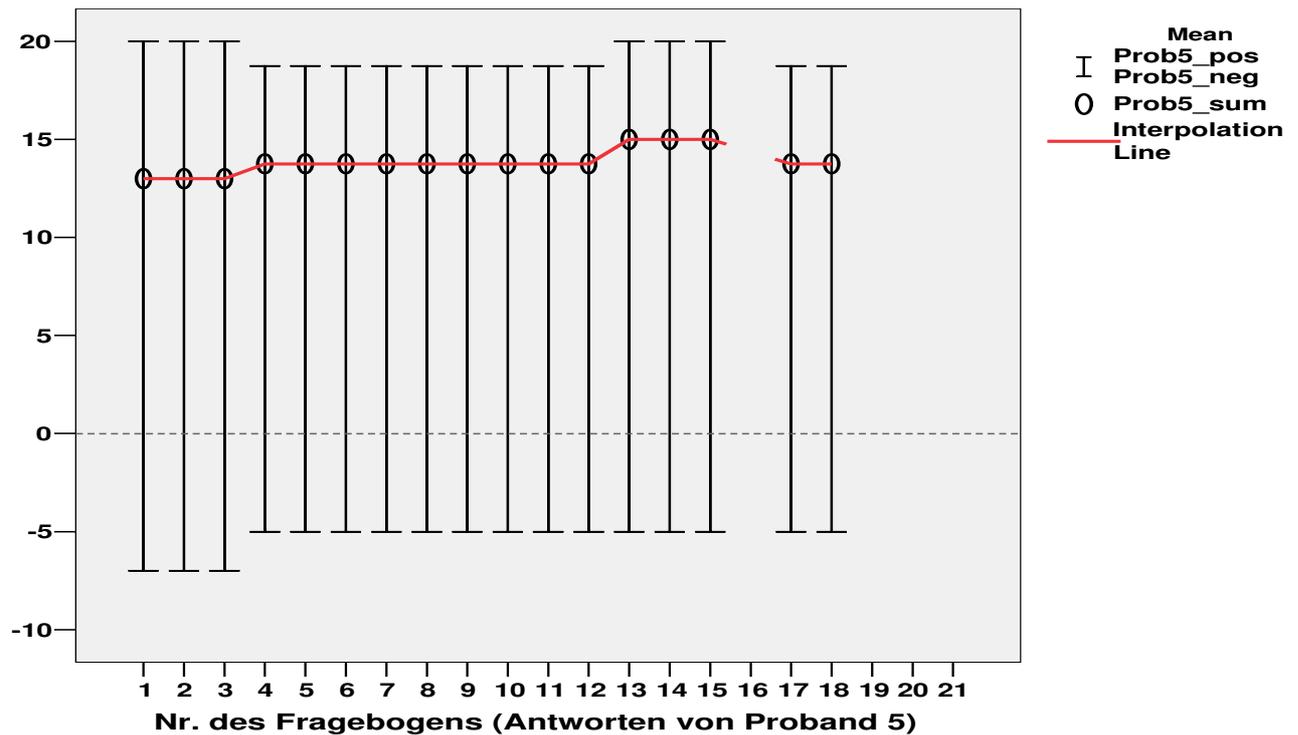


Abbildung 19: Angabe der erreichten Punkte für jeden Fragebogen (1-21).

Wurde ein Fragebogen nicht vollständig bzw. nicht ausgefüllt sind an entsprechender Stelle keine Werte in das Diagramm eingetragen, wie vorliegende Abbildung zeigt.



**Abbildung 20: Angabe der erreichten Punkte für jeden Fragebogen (1-21).**

Die Angaben von Proband 5 sind annähernd über den gesamten Erhebungszeitraum unverändert im sehr positiven Bereich.

### Auswertung der Diagramme

Insgesamt betrachtet haben alle Harvesterfahrer (deren Fragebogen gewertet werden konnte) ihre psychische Verfassung während der Arbeit auffallend positiv bewertet. In der überwiegenden Mehrzahl der Fragebögen wurde ein Positiv-Wert von 20 Punkten (maximal möglich) bzw. 18,75 Punkten (zweithöchster Wert) erreicht. Bei den negativ besetzten Fragen wurde nur ein einziges Mal ein Punktwert von -10 erreicht. Die Addition aus Positiv- und hinzu gehörigem Negativ-Wert ergab zu jedem Zeitpunkt einen positiven Gesamtwert. In keinem Fall wurde die Schwelle von 0 Punkten erreicht, bei derer sich die positiven und negativen Gefühlsempfindungen die Waage hielten. Die Interpolationslinie befindet sich auf konstant hohem Niveau.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich bei keinem der ausgewerteten Probanden wesentliche Schwankungen oder Einbrüche zeigten, was auf eine wechselseitige Beanspruchung durch die Arbeit hätte schließen lassen können, die subjektiv empfundene Beanspruchung war gering.

## 4.5 Fragebögen - Pulsuhrdaten

Dieser Vergleich setzt voraus, dass je ausgewerteten Probanden die HRV-Daten einen zusammenhängenden Datensatz bilden, sowie die Fragebögen zusammenhängend beantwortet wurden. Bei drei der Probanden war dies der Fall. Zwei der fünf teilnehmenden Probanden konnten damit nicht in diesen Vergleich integriert werden. In einem Fall, wurden die Fragebögen nicht korrekt beantwortet im anderen Fall waren die HRV-Daten nicht auswertbar.

Die vorangegangene Auswertung der Fragebögen (4.4) zeigte im Verlauf der Arbeit ein auffallend konstantes Niveau des individuell empfundenen Stresses. Den Stimmungskurven lassen sich keine wesentlichen Schwankungen, die Tendenzen anzeigen könnten, entnehmen. Werden die Daten der HRV-Messung gemäß den Fragebögen in halbstündige Einheiten zusammengefasst (30min entsprechen der erfassten Zeitspanne eines Fragebogens) lassen sich ebenfalls keine verwertbaren Tendenzen erkennen. Diesbezüglich korrelieren die Ergebnisse aus Fragebogenerhebung und HRV-Messung. Da keine verwertbaren Schwankungen auftraten, kann allerdings nicht beurteilt werden, inwieweit die jeweiligen Ergebnisse im Falle wechselhafter Belastungen korrelierten.

Die subjektiv empfundene Beanspruchung war den Fragebögen zu entnehmen gering (siehe 4.4). Die HRV-Messung zeigte im Vergleich zwischen den Daten der Feldmessungen und den Daten der Labormessungen eine signifikante Mehrbeanspruchung im Feld gegenüber den Bedingungen unter standardisierten Belastungssituationen (siehe 4.3). Dies spricht für eine deutliche Beanspruchung von Seiten der Harvesterfahrer im Zuge der Ausübung ihrer beruflichen Tätigkeit. In diesem Aspekt unterscheiden sich die Ergebnisse beider Instrumente voneinander.

## **5. Diskussion**

### **5.1 HRV als alleiniger Indikator einer Stressbelastung**

Der Grad der Beanspruchung eines arbeitenden Menschen ist sehr vielfältig. Er setzt sich aus vielen Faktoren zusammen. Nach Wolf, Kowalski und Enck ist die Messung der HRV allein als Indikator einer Stressbelastung unzureichend, da sowohl physische (körperliche Bewegung) wie psychische (kognitive) Belastungen ähnliche Reaktionen auslösen könnten und von physiologischen Reaktionen auf normale physiologische Vorgänge, wie z.B. Nahrungsaufnahme und Schlaf, unterschieden werden müsste. Dies sei durch die alleinige Messung der HRV nur schwer oder gar nicht möglich und erfordere die Messung weiterer autonom regulierter Körperfunktionen (Wolff, Kowalski et al. 2006).

Sollte die vorliegende Arbeit der Zielsetzung der Evaluierung eines auf breiter Basis einsetzbaren kostengünstigen Messverfahrens, mit möglichst geringer Störung des regulären Arbeitsablaufes, gerecht werden, mussten Abstriche in Art und Umfang der Aufzeichnung gemacht werden. Es wurde gezielt der Fokus auf die Erhebung der subjektiv empfundenen Beanspruchung mittels Fragebögen und der Erfassung der Herzratenvariabilität gelegt. Auf die Ermittlung der Blutdruckwerte während der Arbeit im Feld wurde verzichtet, obwohl diese für eine umfassendere Betrachtung des Herzkreislaufsystems sicherlich ein gewichtiger Faktor gewesen wären (Pfister, Böckelmann et al. 2007). Jedoch scheint die HRV als Marker für mentalen Stress sensitiver als der arterielle Blutdruck, der, wenn nicht invasiv erfasst werden soll, mittels Blutdruckmanschette gemessen wird. Dieser hängt allerdings von lokalen Bedingungen im arbeitenden Muskel ab, die die Effekte wechselnder mentaler Beanspruchung teils überdecken (Hjortskov, Rissén et al. 2004). Eine durchgeführte Blutdruckmessung hätte in jedem Fall weitere, dem Probanden anzulegende Geräte erfordert, welche ihn bei der Ausübung seiner Arbeit zusätzlich behindert hätten. Indes wäre durch das Prinzip des Aufpumpens der Blutdruckmanschette der Proband für den Moment der Messung stark in seiner Aufmerksamkeit beeinträchtigt. Dies hätte in unübersichtlichen Arbeitssituationen leicht zu einem Gefährdungsfaktor werden können.

## **5.2 Einflussfaktoren auf die HRV**

Bei keinem der Probanden ist ein auffallender Nikotin-, Koffein oder Alkoholkonsum festgestellt worden. Alle Probanden gaben an in der Nacht vor einer Messung ausreichend geschlafen zu haben. Die Labormessung und die Feldmessung wurden zeitnah aufgenommen. Während dieser Zeit ergaben sich keine Änderungen im Konsumverhalten, so dass diesbezüglich nicht mit einer Verzerrung der Ergebnisse gerechnet werden musste.

## **5.3 VLF, LF und HF –Verhalten unter Anstrengung und Stress**

Die Power von VLF, LF und HF nahm progressiv bei Belastung ab (Verringerung um den Faktor 100 unter Durchführung der Belastungstests gegenüber Ruhebedingung). Die Power gemessen im Feld schwand gegenüber der Power unter den Belastungstests abermals um den Faktor 100.

Arai stellte 1989 fest, dass die Power von HF und LF bei körperlicher Betätigung beträchtlich reduziert ist (Arai, Saul et al. 1989). Diese Beobachtung wurde 2002 erneut von Javorka beschrieben (Javorka, Zila et al. 2002). 1996 stellte Sloan fest, dass auch unter mentalem Stress die Power von VLF, LF und HF eine entsprechende Verringerung erfährt (Sloan, Shapiro et al. 1996). Im Rahmen dieser Beschreibungen lässt sich aus den erhobenen Daten eine deutliche Mehrbelastung im Feld ableiten.

## 5.4 LF/HF-Ratio –Maßstab der vegetativen Balance

Die LF/HF-Ratio ändert sich ausgehend der Ruhebedingung zu Versuchsdurchführung kaum (4,34 zu 4,55). Unter Feldbedingung zeigt sich ein deutlich geringerer Wert (1,92).

Eine eindeutige Interpretation der Abweichung der Höhe des Quotienten aus LF zu HF fällt schwer, da die Aussagekraft der LF/HF-Ratio nicht unumstritten ist. In der Literatur finden sich unterschiedliche Schlussfolgerungen, bezüglich dieses Parameters. van Amelsvoort stellte bei Arbeitern, die über Stress im Beruf klagten eine Zunahme des prozentualen Anteils von LF während der Arbeit fest (van Amelsvoort, Schouten et al. 2000). Strümpell untersuchte 2007 subjektive Stressbeanspruchung und erfasste ebenfalls die LF/HF-Ratio, konnte aber keinen signifikanten Zusammenhang finden (Strümpell 2007). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Sloan, der keinen Einfluss von mentalem Stress auf die LF/HF-Ratio feststellen konnte (Sloan, Shapiro et al. 1996). 1990 konnte Perini in einer Laboruntersuchung mittels Fahrradergometer ebenfalls keine signifikante Veränderung der LF/HF-Ratio feststellen (Perini, Orizio et al. 1990). Arai stellte hingegen 1989 mittels Fahrradergometer fest, dass die LF/HF-Ratio mit zunehmender Belastung kleiner wird, konnte dies aber nicht signifikant bestätigen (Arai, Saul et al. 1989). Hjortskov beobachtete dagegen unter Stressbedingungen während Computerarbeit eine signifikante Erhöhung der LF/HF-Ratio gegenüber der Kontrollbedingung (Hjortskov, Rissén et al. 2004). Hilz postuliert entsprechend, dass es zu einer deutlichen Erhöhung der LF/HF-Ratio kommt, wenn erhöhte sympathische Aktivität vorliegt (Hilz und Dütsch 2005). Wenn man davon ausgeht, dass LF im Wesentlichen sympathisch und HF parasympathisch bedingt ist, ist dies ohne weiteres nachvollziehbar. Hierfür spricht die Beobachtung, dass unter akuter  $\beta$ -Blockade die Ratio von LF zu HF abnimmt (Pagani, Lombardi et al. 1986) und die Beobachtung, dass bei chronischer vagaler Denervation die LF:HF-Ratio zunimmt (Chiou und Zipes 1998). Folgerichtig müsste in Stresssituationen mit vermehrter sympathischer bzw. verminderter parasympathischer Aktivierung der Quotient aus LF zu HF ansteigen.

Malliani postuliert hingegen, dass die sympatho-vagele Balance im besten Fall eine Annäherung an die Realität darstellt und eher als „Excitation-Inhibition-

Balance“ bezeichnet werden sollte, da die Komponenten von LF und HF simultan in sympathischer sowie in parasympathischer (vagaler) Ableitung vorhanden seien (Malliani 1999). Eckberg geht 1997 in seiner Schlussfolgerung gar soweit, dass Berechnungen der sympatho-vagalen Balance anhand der LF/HF-Ratio die Sicht auf die menschliche Physiologie und Pathophysiologie eher verdecken als erhellen können (Eckberg 1997).

Curic schließt, da im LF-Bereich ebenfalls Vaguseinflüsse zu finden sind und die Vergleichswerte v.a. bei Aktivität von Studie zu Studie variieren, dass die Ratio nur bei Langzeitmessungen (24h-EKG) verlässliche Durchschnittswerte ergibt (Curic, Männer et al. 2008).

In der vorliegenden Studie handelt es sich zwar nicht wie bei Curic gefordert um eine 24-stündige Aufzeichnung, allerdings umfasst die Feldmessung einen Zeitraum von über 10Std, weshalb dieser Parameter nicht außer Acht gelassen wurde. Tatsächlich fanden sich im Mittel aller Fahrer keine verwertbaren Unterschiede innerhalb der Labormessung, die sich aus vielen kleinen Beobachtungszeiträumen (2-3min) zusammensetzt (Ruhe: 4,34 zu Aktivität: 4,55). Die langfristigen Feldmessungen ergaben dem gegenüber allerdings einen deutlich niedrigeren Quotienten (1,92).

Die uneinheitlichen Angaben in der Literatur bezüglich der Aussagekraft der Ratio erlauben keine Bewertung der mentalen Beanspruchung auf Basis von LF/HF ohne eingehende Betrachtung weiterer Parameter.

## **5.5 RMSSD und Standardabweichung**

Der RMSSD erweist sich in der vorliegenden Arbeit gegenüber der Herzschlagfrequenz und deren Standardabweichung als wertvollster Time-Domain-Parameter für die routinemäßige Beurteilung des autonomen Nervensystems. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ansichten von Hilz 2005 und Ziemssen 2003.

Nach Hilz gilt der RMSSD als sehr robust gegen eine allmähliche Änderung der Herzfrequenz und hänge im Gegensatz zur Standardabweichung nicht von der Ruheherzfrequenz ab (Hilz und Dütsch 2005).

Ziemssen führt das Argument an, dass die Größe der Standardabweichung abhängig von der Anzahl der untersuchten RR-Intervalle in der Messreihe ist. Je länger der untersuchte Zeitabschnitt, umso geringer ist folglich die Standardabweichung. Auch wenn bei den Probanden gleiche Zeitabschnitte erfasst würden, ändere sich bedingt durch die unterschiedliche Herzfrequenz die Zahl der RR-Intervalle. Damit, so die Folgerung, sei die Standardabweichung aus statistischer Sicht für vergleichende Untersuchungen nicht geeignet (Ziemssen und Süß 2003).

## **5.6 Reflexion der Zielsetzung –Konnten die aufgestellten Fragen beantwortet werden?**

Die beiden in der Einleitung genannten Fragestellungen lauteten:

1. Ist es möglich mit Hilfe eines tragbaren Low-Cost HRV Device, d.h. einer handelsüblichen Pulsuhr die Arbeitsbelastung anhand kardiovaskulärer Parameter während der regulären Arbeit in einem Harvester zuverlässig zu messen, ohne den Arbeiter in der gewohnten Ausführung seiner Tätigkeit zu behindern?
2. Wie lässt sich die subjektiv empfundene Beanspruchung möglichst zeitnah, d.h. parallel zur Arbeit erfragen ohne den Arbeiter in seinem Arbeitsablauf wesentlich zu stören?

### 5.6.1 Fragestellung 1

Die Daten, die ausgewertet wurden, ergaben eine differenzierte Vorstellung der Beanspruchung. Unter den verschiedenen Bedingungen zeigten sich deutlich unterscheidbare Messwerte. Es konnte ein klar abgestuftes Beanspruchungsniveau, das inter-individuell ein sehr einheitliches Verhalten aufwies, festgestellt werden. Die differenzierteste Aussage ermöglichte die Auswertung mit Hilfe des Computerprogramms HRV-Analysis, das auf Basis der Fourier-Analyse rechnet. Somit lieferte die verwendete Pulsuhr qualitativ hochwertige Daten und bietet sich damit prinzipiell für die Messung der HRV am Arbeitsplatz an.

Berücksichtigt werden muss an dieser Stelle allerdings, dass zwei der fünf Datensätze unvollständig waren. In beiden Fällen stoppte die Messung frühzeitig ab. Wichtig ist herauszufinden, warum es zum verfrühten Abbruch kam. Die Probanden mit unvollständiger Messung, wurden nach Unregelmäßigkeiten bzw. Schwierigkeiten im Umgang mit der Pulsuhr befragt.

Tatsächlich nannten die Probanden, deren Datensatz inkomplett war, ein Problem im praktischen Umgang, das vor Beginn der Studie nicht in Betracht gezogen wurde. Beide gaben an, aufgrund der vielen schnellen Handbewegungen, die nötig seien, den Harvester zu steuern, die Pulsuhr sehr häufig an den Armaturen und Schaltinstrumenten des Harvesters angeschlagen zu haben. Sie könnten dabei nicht ausschließen, den An-/Aus-Knopf der Pulsuhr getroffen und damit unbeabsichtigt betätigt zu haben.

Auf die Problematik angesprochen bejahten die Probanden mit vollständigem Datensatz die gleiche Erfahrung gemacht zu haben.

Dies deutet eine generelle Schwierigkeit, gegeben durch die charakteristischen Eigenheiten des Arbeitsplatzes ‚Harvester‘ an.

Anhand der diskutierten Messwerte und der aufgetretenen Probleme wird deutlich, dass die gestellte Fragestellung nicht pauschal beantwortet werden kann. Einerseits waren die gewonnen und ausgewerteten Daten hochwertig, andererseits brach die Aufzeichnung in zwei Fällen ab.

Berücksichtigt werden muss:

1. Das verwendete Low-Cost-HRV Device besteht aus zwei Teilen. Die Ableitung der elektrischen Potentialänderungen des Herzens erfolgte an der Körperoberfläche mittels mitgelieferten Brustgurts. Das Starten und Stoppen der Messung erfolgt über die Bedienung der Tastensteuerung der Armbanduhr. Die Armbanduhr dient auch der Speicherung der empfangenen Daten.
2. Das verwendete Low-Cost-HRV Device ist in der Lage qualitativ hochwertig zu messen, was eine differenzierte Aussage zur Beanspruchung möglich macht.
3. Die Erklärung, dass das genannte Anschlagen zu den Abbrüchen in den Aufzeichnungen führte, ist nachvollziehbar. Bei Betrachtung der Pulsuhr fällt auf, dass der Knopf zum Starten bzw. Stoppen der Aufzeichnung durch seine seitliche Platzierung dieses Problem begünstigen könnte.

Schließlich lässt sich festhalten, dass das Prinzip, die Herzratenvariabilität mit Hilfe eines handelsüblichen Pulsgurtes aufzunehmen, eine Methode darstellt, mit der differenzierte Beanspruchungsanalysen am Arbeitsplatz möglich sind.

Probleme ergeben durch die besondere Beschaffenheit des Arbeitsplatzes ‚Harvester‘.

Zukünftige Arbeiten sollten diesen Aspekt dringend berücksichtigen. Es muss gewährleistet sein, dass der Proband nicht unbeabsichtigt die Aufzeichnung stoppen kann. Ideal wäre an dieser Stelle ein System, das ohne die Armbanduhr als Steuerungs- und Speicherelement funktioniert. Die Speicherung der Daten müsste im Brustgurt selbst erfolgen. Das Starten und Stoppen der Aufzeichnung würde durch den Versuchsleiter mit Hilfe eines separaten Gerätes erfolgen. Der Proband hätte somit keine weiteren Umstände durch die Messung.

## 5.6.2 Fragestellung 2

### Diskussion der Ergebnisse aus der Auswertung der Fragebögen

Drei Aspekte bezüglich der Fragebögen sollen an dieser Stelle diskutiert werden.

1. War die getroffene Auswahl der gestellten Fragen geeignet, die mentale Beanspruchung adäquat zu erfassen?
2. Welche Ursachen könnten für die durchweg hohe Selbsteinschätzung der Probanden in Frage kommen?
3. Hat sich das Fragebogenheft in der eingesetzten Form als praktikabel erwiesen?

Diskussion 1.) und 2.)

Die Angaben der Harvesterfahrer über ihre psychische Beanspruchung bei der Arbeit vermitteln dem Betrachter ein sehr positives Bild des Arbeitsplatzes ‚Harvester‘. Entgegen den Erwartungen schildern die Probanden nur gelegentlich stressige Situationen. Den Fragebögen sind keine über einen längeren Zeitraum anhaltenden Phasen erhöhten Stresses zu entnehmen.

Der Versuchsdurchführer nahm am Ende der Aufzeichnung das Fragebogenheft wieder entgegen und erkundigte sich bei den Probanden, inwieweit der erfasste Arbeitstag als „typischer Arbeitstag“ angesehen werden kann. Die diesbezüglichen Angaben flossen nicht in die eigentliche Auswertung der Fragebögen ein, sollten aber im Anschluss helfen, die Ergebnisse zu interpretieren.

Demnach ist die positive Selbsteinstufung der Probanden bezüglich ihrer Beanspruchung auf die Waldgelände, die das Arbeitsumfeld stellten, zurückzuführen. Diese seien aufgrund breiter Zufahrtswege ideal für die Arbeit mit großen Fahrzeugen gewesen, sowie hätten die Bäume nicht in dichtem Abstand beieinander gestanden, was ein sicheres Fällen gewährleistet hätte, mit nur geringer Gefahr umstehende Bäume zu beschädigen.

Die tatsächlichen Schäden wurden vom Versuchsleiter erhoben. An einzelnen Bäumen, die im direkten Arbeitsfeld standen, fanden sich kleine Rindendefekte. Insgesamt waren die erhobenen Schäden sehr gering, was für günstige Arbeitsfeldbedingungen spricht und erklären kann, weshalb die Harvesterfahrer die Beanspruchung während ihrer Arbeit größtenteils positiv bewerteten.

Die positive Selbsteinschätzung der Probanden ist demnach nachvollziehbar auf äußere Bedingungen zurückführen, die gestellten Fragen geeignet, die psychische Beanspruchung während der Arbeit zu repräsentieren.

Die Messwerte der HRV miteinbeziehend, die eine höhere Beanspruchung nahelegen, sprechen eher gegen die Eignung der Fragebögen. Sie legen den Schluss nahe, dass die Harvesterfahrer sich selbst oder die Situation zu positiv eingeschätzt haben. Interessant wäre an dieser Stelle der Einsatz des vorhandenen Fragebogens unter erschwerten Bedingungen, die mit gesteigertem Stress einhergehen. Unter diesen Bedingungen ließe sich zeigen, ob die Fragen in der Lage sind, ein erhöhtes Stresslevel widerzuspiegeln.

### 3.) Praktische Umsetzung

Das Heft wurde im DIN A5 Format erstellt. Dies sollte die Praktikabilität erhöhen. Außerdem wurde die Anzahl gestellter Fragen je Bogen auf neun begrenzt. Dies sollte garantieren, dass das Beantworten der Fragen kaum Zeit in Anspruch nimmt.

Um der Frage der Praktikabilität nachzugehen, muss beachtet werden, dass nur vier Fragebogenheftchen ausgewertet werden konnten. Fünf Probanden wurde das Heft vor Beginn der Messung gegeben. Das Fragebogenheft von Proband 4 konnte nicht ausgewertet werden, da dieser keinen der Fragebögen vollständig ausfüllte. Stattdessen wurde, anstatt aller neun gestellten Fragen jeweils nur eine Frage beantwortet.

Die Fragebogenheftchen, die ausgewertet wurden, zeigen ebenfalls, dass nicht alle Fragebögen konstant beantwortet wurden (siehe 4.4; Lücken in den Diagrammen).

Bei 21 Fragebögen je Heft und vier ausgewerteten Probanden ergeben sich in der Gesamtzahl 84 Fragebögen. 72 Fragebögen wurden ausgewertet. 11 Fragebögen wurden nicht ausgefüllt, 1 Fragebogen nicht vollständig.

Allen Probanden wurde vor Beginn das Prinzip zur Beantwortung der Fragebögen erläutert. Das Heft eines Probanden war dennoch nicht auswertbar. Ob es sich an dieser Stelle um einen Fehler in der Kommunikation handelte (der Proband hat das Konzept zur Beantwortung der Fragebögen nicht ausreichend verstanden), oder

aber der Fehler auf mangelnde Motivation bzw. Compliance des Probanden zurückzuführen ist, ließ sich im Nachhinein nicht mehr erheben.

Die Fragebogenhefte der übrigen Probanden wiesen ebenfalls Lücken auf. Allerdings war der Großteil der Bögen korrekt beantwortet. In diesem Fall lässt sich ein Fehler aufgrund von mangelndem Verständnis ausschließen. Besonders gegen Ende der Arbeitszeit traten vermehrt Lücken im Beantworten der Fragebögen auf. Dies deutet an, dass entweder die Bereitschaft zur Mitarbeit im Lauf der Arbeitszeit nachließ, oder dass das erhaltene Fragebogenheft vergessen wurde.

Diese beiden letzt genannten Aspekte zeigen die Schwächen des Fragebogenheftes in der angewandten Form auf. Das Hauptproblem ist die nachlassende Compliance im Laufe der Messung, unabhängig ob aufgrund abnehmender Motivation oder zunehmendem Vergessens.

Die nachlassende Compliance gilt es in zukünftigen Erhebungsmethoden so gut wie möglich zu kompensieren, damit (die grundsätzliche Bereitschaft zur Mitarbeit vorausgesetzt) die subjektive Beanspruchung der Probanden zuverlässig in regelmäßigen Abständen erfasst werden kann.

Dieser Anspruch stellt eine große Herausforderung dar, handelt es sich doch um ein grundsätzliches Problem von Fragebögen. Besonders bei zu untersuchenden Populationen mit geringer Fallzahl ist die Zuverlässigkeit allerdings von immenser Bedeutung. Die in dieser Form eingesetzten Fragebögen sind diesem Ziel nicht ausreichend gerecht geworden.

Das eingesetzte Prinzip wurde entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit auch unter dem Gesichtspunkt möglichst geringer Kosten konzipiert.

Die aufgetretenen Probleme machen allerdings deutlich, dass in zukünftigen Untersuchungen eine aufwendigere Form der Erfragung erfolgen sollte.

Das Schema der in dieser Arbeit eingesetzten Fragebögen verlangte, dass der Proband während seiner Arbeit eigenständig jede halbe Stunde einen Fragebogen ausfüllte. Dieses Prinzip beruht auf dem Vertrauen dem Probanden gegenüber, die korrekte zeitliche Abfolge zum Beantworten der Fragebögen einzuhalten.

Da zumindest teilweise allerdings Fragebögen nicht beantwortet wurden, sollten Möglichkeiten zur Erhebung überlegt werden, die diesem Aspekt weniger Gewichtung erfahren lassen.

An dieser Stelle käme in Betracht, die Fragen anstatt in gedruckter Form in auditiver Form darzubieten. Um sicherzustellen, dass neben der Einhaltung der korrekten Zeit auch die gestellten Fragen in korrekter Weise beantwortet würden, wäre es ideal, die Probanden jede halbe Stunde telefonisch zu interviewen. Diese Form der Befragung würde allerdings dem wesentlichen Aspekt der Zielsetzung widersprechen, die Messung möglichst im Hintergrund erfolgen zu lassen. Die regelmäßig erfolgenden Telefonate durch den Fragesteller könnten von Seiten des Probanden als Kontrollanrufe empfunden werden. Folge wäre ein zusätzlicher Stressfaktor (gewohntes Arbeiten in Eigenarbeit wäre durch „telefonische Anwesenheit“ einer dritten Person nicht möglich), der nicht durch die Arbeit selbst verursacht werden würde. Die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse (der Fragebögen sowie der Messung der Herzratenvariabilität) wäre erheblich erschwert, da keine klare Trennung der Einflüsse möglich.

Diese Problematik sollte durch das eigenständige Ausfüllen der Fragebögen umgangen werden. Der Schwerpunkt lag damit klar auf Seiten der Selbstverantwortung, mit dem Ziel die Probanden möglichst ungestört arbeiten zu lassen. Durch diese Vorgabe mussten auf der Gegenseite (Sicherstellung der exakten Bearbeitung der Fragebögen) Abstriche gemacht werden.

Da die Erfassung allerdings nur unzureichend war, sollte in zukünftigen Arbeiten ein Kompromiss aus den beiden Ansätzen (ausgedruckter Fragebogen oder telefonisches Interview) angewandt werden, um den Schwerpunkt von Seiten der Eigenverantwortung mehr in Richtung Verlässlichkeit zu verschieben.

Folglich ist das Ziel, die Probanden in der Ausübung ihrer gewohnten Tätigkeit ungestört zu lassen und dennoch sicherzustellen, dass die Fragen regelmäßig beantwortet werden, wohl nur mit höherem technischem Aufwand machbar.

## 5.7 Stichprobe

Die besondere Herausforderung dieser kompakt angelegten Studie war es, trotz der geringen Probandenzahl richtungsweisende Ergebnisse als Leitlinien für zukünftige Studien zu erzielen. Bedingt durch ein begrenztes Budget war es nur möglich Harvesterfahrer zu integrieren, die im näheren Umkreis von bis zu 50km tätig waren. In der heutigen Arbeitswelt müssen die Fahrer sehr flexibel einsetzbar sein. Ergeben sich Aufträge an entfernteren Zielen, werden Fahrer und Maschinen kurzfristig abgezogen. Dies war 2007, bedingt durch den Sturm Kyrill, in besonderem Maße der Fall. Viele der kontaktierten Probanden wurden in schwerer betroffene Gebiete in Norddeutschland abgezogen.

Ziel war es Methoden zu etablieren, die sich mit dem Arbeitsalltag vereinbaren lassen und daneben erste Richtwerte der tatsächlichen Beanspruchung zu präsentieren. Dieses Bestreben hat die fertige Arbeit trotz der aufgetretenen Erschwernisse erfolgsversprechend umgesetzt. Die Auswertung zeigt in welche Richtung sich die verschiedenen Parameter bewegen. Die Analyse mittels Fourier-Analyse zeigte, dass sich mit nur vier Probanden eine gleichsame Charakteristik beschreiben lässt.

Damit können die gewonnenen Erkenntnisse als verlässliche Hilfestellung für zukünftige Untersuchungen herangezogen werden.

## **6. Ausblick: Zukünftige Verfahren**

### **6.1 Erhebung der Beanspruchung anhand der Herzratenvariabilität**

Mittlerweile sind Geräte zur Aufzeichnung der HRV erhältlich, die nur aus einer Komponente (Brustgurt) bestehen. Diese werden für den ambitionierten Sportler bereits angeboten (u.a. auch von Suunto). Da diese moderneren HRV-Devices ebenfalls im Low-Cost Bereich zu erwerben sind und die Messung über den vorhandenen Brustgurt hochwertige Ergebnisse lieferte, kann auf Basis dieser Studie eine klare Empfehlung für die Verwendung entsprechender HRV-Devices ausgesprochen werden. Dies sollte eine genaue und kostengünstige Messung gewährleisten.

### **6.2 Erhebung der Beanspruchung anhand subjektiver Empfindung**

In Betracht käme ein tragbares Aufnahmegerät, das programmiert ist automatisch in 30minütigen Abständen die Fragen der Reihe nach vorzutragen. Das Gerät müsste über eine Aufnahmefunktion verfügen, damit die Probanden nach jeder Frage direkt eine der vorgegebenen Antworten nennen könnten.

An dieser Stelle sind natürlich sämtliche technische Feinheiten denkbar, allerdings ist selbstredend, dass mit jeder zusätzlichen Technik, die Kosten entsprechend steigen. In zukünftigen Arbeiten muss also individuell abgewogen werden, ob sich der Einsatz von aufwendigerer Technik zugunsten einer höheren Verlässlichkeit rentiert.

## 7. Zusammenfassung

Diese Studie untersuchte die mentale Beanspruchung von Harvesterfahrern im Zuge der Ausübung ihrer regulären Tätigkeit am Arbeitsplatz anhand eines Low-Cost HRV-Device sowie die selbstempfundene Beanspruchung anhand von Fragebögen.

Ziel war es festzustellen, ob sich unter Verwendung von Messmethoden, welche nur eines geringen finanziellen, technischen und organisatorischen Aufwands bedürfen, diese Beanspruchung unter realen Arbeitsbedingungen erfassen lässt.

Es zeigte sich, dass eine handelsübliche Pulsuhr (Suunto T6, Kostenpunkt ca. 400Eur) als HRV-Device grundsätzlich geeignet ist, die Beanspruchung auf Basis der Herzratenvariabilität zu repräsentieren. Von den betrachteten Parametern, abgeleitet aus der Herzratenvariabilität, bewährten sich die Frequency-Domain Parameter ermittelt mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation sowie der Time-Domain Parameter RMSSD. Probleme ergaben sich in der praktischen Handhabung der Messinstrumente, zurückzuführen auf die besonderen Arbeitsplatzbedingungen in einem Harvester, weshalb in zukünftigen Studien alternative Messgeräte in Betracht gezogen werden sollten, die diese Problematik umgehen. In Frage kommende HRV-Devices sind bereits erhältlich.

Die eingesetzten Fragebögen waren in der Lage die subjektiv empfundene Beanspruchung der Harvesterfahrer wiederzugeben. Allerdings wurden wie vorrausgehend Probleme im praktischen Umgang deutlich, weshalb in zukünftigen Studien abgewogen werden sollte, anstatt der (sehr preisgünstigen) Fragebögen in Papierform, ein elektronisches Format Anwendung finden zu lassen.

## 8. Literaturverzeichnis

- Agelink, M., R. Malessa, et al. (2001). "Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate." Clinical Autonomic Research **11**(2): 99-108.
- Akselrod, S., D. Gordon, et al. (1981). "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control." Science **213**(4504): 220-222.
- Arai, Y., J. P. Saul, et al. (1989). "Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise." Am J Physiol Heart Circ Physiol **256**(1): H132-141.
- Bergdahl, J. und M. Bergdahl (2002). "Perceived stress in adults: prevalence and association of depression, anxiety and medication in a Swedish population." Stress and Health **18**(5): 235-241.
- Berger, C. (2002). "Auch im Forst - Stress macht krank." Österr. Forstzeitung **113**(9): 12-13.
- Berger, C. (2003). "Stressbelastung bei der mechanisierten Holzernte." AFZ-Der Wald **58**(10): 479-480.
- Berger, C. und I. Köckeis (2005). "Eignungstest für Harvesterfahrer." BFW-Praxisinformation(7): 15-16.
- Brogt, T. und M. v. Kutzschenbach (2006). Anforderungen an forstliche Dienstleistungsunternehmen im Spannungsfeld zwischen Waldbesitz und holzverarbeitender Industrie. Freiburg (Breisgau), Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau.
- Chaudhury, S., D. Goel, et al. (2006). Psychological effects of low intensity conflict (LIC) operations.
- Chiou, C.-W. und D. P. Zipes (1998). "Selective Vagal Denervation of the Atria Eliminates Heart Rate Variability and Baroreflex Sensitivity While Preserving Ventricular Innervation." Circulation **98**(4): 360-368.
- Clarke, B. F., D. J. Ewing, et al. (1979). "Diabetic autonomic neuropathy." Diabetologia **17**(4): 195-212.
- Curic, A., H. Männer, et al. (2008). Untersuchung zur Herzratenvariabilität unter Stress- und Entspannungsbedingung. Regensburg, Institut für experimentelle Psychologie, Universität Regensburg.
- Dunckel, H. (1999). Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren. Zürich, Vdf.
- Eckberg, D. L. (1997). "Sympathovagal Balance : A Critical Appraisal." Circulation **96**(9): 3224-3232.
- Electrophysiology (1996). "Heart Rate Variability : Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use." Circulation **93**(5): 1043-1065.
- Ewing, D. J., J. M. Neilson, et al. (1991). "Twenty four hour heart rate variability: effects of posture, sleep, and time of day in healthy controls and comparison with bedside tests of autonomic function in diabetic patients." Br. Heart J. **65**(5): 239-244.
- Fauvel, J., N. Bernard, et al. (1996). "Reproducibility of the cardiovascular reactivity to a computerized version of the Stroop stress test in normotensive and hypertensive subjects." Clinical Autonomic Research **6**(4): 219-224.
- Felber Dietrich, D., C. Schindler, et al. (2006). "Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study." Europace **8**(7): 521-529.

- Fliege, H., M. Rose, et al. (2005). "The Perceived Stress Questionnaire (PSQ) Reconsidered: Validation and Reference Values From Different Clinical and Healthy Adult Samples." Psychosom Med **67**(1): 78-88.
- Hilz, M. J. und M. Dütsch (2005). "Methoden zur quantitativen Untersuchung des autonomen Nervensystems." Der Nervenarzt **76**(6): 767-780.
- Hjortskov, N., D. Rissén, et al. (2004). "The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work." European Journal of Applied Physiology **92**(1): 84-89.
- Horsten, M., M. Ericson, et al. (1999). "Psychosocial Factors and Heart Rate Variability in Healthy Women." Psychosom Med **61**(1): 49-57.
- Hottenrott, K., O. Hoos, et al. (2006). "[Heart rate variability and physical exercise. Current status]." Herz **31**(6): 544-52.
- Javorka, M., I. Zila, et al. (2002). "Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity." Brazilian Journal of Medical and Biological Research **35**: 991-1000.
- Karjalainen, P. A. (2002). HRV-Analysis. Kuopio, Biomedical Signal Analysis Group, Department of Signal Physics.
- Laederach-Hofmann, K., L. Mussgay, et al. (2000). "Autonomic cardiovascular regulation in obesity." J Endocrinol **164**(1): 59-66.
- Levenstein, S., C. Prantera, et al. (1993). "Development of the Perceived Stress Questionnaire : a new tool for psychosomatic research." Journal of psychosomatic research **37**(1): 19-32.
- M. A. Fraley, J. A. B., N. Senkottaiyan, M. A. Alpert, (2005). "Obesity and the electrocardiogram." Obesity Reviews **6**(4): 275-281.
- Malliani, A. (1999). "The Pattern of Sympathovagal Balance Explored in the Frequency Domain." News Physiol Sci **14**(3): 111-117.
- Myrtek, M., D. Weber, et al. (1996). "Occupational stress and strain of female students: results of physiological, behavioral, and psychological monitoring." Biological Psychology **42**(3): 379-391.
- O'Brien, I. A., P. O'Hare, et al. (1986). "Heart rate variability in healthy subjects: effect of age and the derivation of normal ranges for tests of autonomic function." Br. Heart J. **55**(4): 348-354.
- Pagani, M., F. Lombardi, et al. (1986). "Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog." Circ Res **59**(2): 178-193.
- Perini, R., C. Orizio, et al. (1990). "The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability." European Journal of Applied Physiology **61**(1): 143-148.
- Pfister, E. A., I. Böckelmann, et al. (2007). "Herzrhythmusanalyse in der Arbeitsmedizin." Arbeitsmed.Sozialmed.Umweltmed. **42**(6): 348-353.
- Pumprla, J., K. Howorka, et al. (2002). "Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications." International Journal of Cardiology **84**(1): 1-14.
- Ross, R., R. Zeller, et al. (2005). "Depression, Stress, Emotional Support, and Self-Esteem among Baccalaureate Nursing Students in Thailand." International Journal of Nursing Education Scholarship **2**(1).
- Sanz-Carrillo, C., J. García-Campayo, et al. (2002). "Validation of the Spanish version of the Perceived Stress Questionnaire." Journal of Psychosomatic Research **52**(3): 167-172.
- Schack-Kirchner, H. und E. Hildebrand (1994). "Bodenschäden beim Harvester- und Forwardereinsatz." Forst & Technik **6**: 18-19.

- Sloan, R., P. Shapiro, et al. (1996). "Relationships between circulating catecholamines and low frequency heart period variability as indices of cardiac sympathetic activity during mental stress." Psychosom Med **58**(1): 25-31.
- Sloan, R. P., P. A. Shapiro, et al. (1994). "Effect of mental stress throughout the day on cardiac autonomic control." Biological Psychology **37**(2): 89-99.
- Stolzenburg, H.-U. (2004). Organisation in der Forstwirtschaft -mit REFA-Methoden zu effizienten Arbeitsprozessen. Darmstadt, REFA-Bundesverband e.V. - Fachausschuss Forstwirtschaft.
- Strümpell, J. (2007). Zusammenhang zwischen Stressempfindung, Stressverarbeitung und Herzfrequenzvariabilität bei Beschäftigten in der industriellen Produktion. Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin. München, Ludwig-Maximilians-Universität zu München. **Nowak, D.**
- Sullman, M. und P. Kirk (1998). "Mental Workloads of mechanised harvesting." Liro Ltd **23**: 1-7.
- Tartarotti, C. (2006). "Arbeitsplatz Harvester - Risiko für die Gesundheit." Forstzeitung **117**(9): 36-37.
- Tartarotti, C. (2008). "Tests helfen Harvesterfahrern." Forstzeitung **119**(7): 8-8.
- Tomei, G., M. V. Rosati, et al. (2006). "Assessment of Subjective Stress in Video Display Terminal Workers." Industrial Health **44**(2): 291-295.
- Ulich, E. (1998). Arbeitspsychologie. Zürich, Vdf.
- van Amelsvoort, L. G. P. M., E. G. Schouten, et al. (2000). "Occupational determinants of heart rate variability." International Archives of Occupational and Environmental Health **73**(4): 255-262.
- Vries, A. d. (1996). "Fourier-Analyse." from <http://haegar.fh-swf.de/spielwiese/fourier/>.
- Westermayer, T. (2002). "Vom Lohnunternehmer zum forstlichen Dienstleistungsunternehmen: Eine erweiterte Begriffsbestimmung." Wald **2**.
- Westermayer, T. (2006). "Die Ich-AG im Walde." Berliner Journal für Soziologie **16**(2): 211-225.
- Wolff, D., A. Kowalski, et al. (2006). Beanspruchung von Harvesterfahrern und ihrer arbeitsmedizinischen Folgen -ein Projekt zur Entwicklung Beanspruchungsangepasster Arbeitsgestaltungsmodelle. Tübingen.
- Ziemssen, T. und M. Süß (2003). Funktionsdiagnostik des autonomen Nervensystems -Allgemeine Grundlagen-. Dresden, Neurologische Universitätsklinik Dresden.
- Ziemssen, T., M. Süß, et al. (2002). "Die kardiovaskuläre Funktionsdiagnostik des autonomen Nervensystems – eine Einführung." Neurophysiol. Lab.(24): 57-77.

## 9. Anhang

### 9.1 Fahrerspezifischer Fragebogen

#### Fahrerspezifischer Fragebogen

Datum\_\_\_\_\_

1. Wie lange haben sie in der letzten Nacht geschlafen?

\_\_\_\_\_Stunden

2. Wie gut haben sie in der letzten Nacht geschlafen?

O = sehr gut

O = ausreichend

O = gut

O = mangelhaft

O = befriedigend

O = ungenügend

3. Können sie sich an Träume der letzten Nacht erinnern?

O = Ja

O = Nein

Falls ja!

Waren es überwiegend O = positive oder O = negative Träume?

4. Wie viele Zigaretten haben sie in den letzten 24 Stunden vor dem Arbeitsbeginn geraucht?

0 = O

1 – 10 = O

21 – 30 = O

11 – 20 = O

> 30 = O

5. Wie viele Zigaretten rauchen sie in der Woche?

\_\_\_\_\_ Päckchen

6. Wie viel Alkohol haben sie in den letzte 24 Stunden vor dem Arbeitsbeginn getrunken?

O = gar keinen Alkohol \_\_\_\_\_ Gläser (0,33) Bier

\_\_\_\_\_ Gläser (0,2) Wein

7. Wie viel Alkohol trinken sie in der Woche?

O = gar kein Alkohol      \_\_\_\_\_ Gläser (0,33) Bier      \_\_\_\_\_ Gläser (0,2) Wein

8. Welche Musikrichtung bevorzugen sie während der Arbeit?

O = Radio      O = Pop und Rock      O = Techno      O = Hard Rock

O = Oldies      O = Klassik      O = Hörspiel      O = Deutschrock

9. Wie viel Kaffee haben sie in den letzten 24 Stunden vor dem Arbeitsbeginn konsumiert?

0 = O

1 - 3 = O

4 - 6 = O

7 - 9 = O

10 - 12 = O

12 - 15 = O

10. Was haben sie in den letzten 12 Stunden vor dem Arbeitsbeginn gegessen?

---

---

11. Wie alt sind sie?      \_\_\_\_\_ Jahre

Bitte kreuzen sie die auf sie zutreffenden Antworten an!

## 9.2 Erster Bogen des Fragebogenheftes

Im Folgenden finden Sie eine Reihe von Feststellungen. Bitte lesen Sie jede Feststellung durch und wählen Sie aus den vier Antworten diejenige aus, die angibt, wie häufig die Feststellung **in der letzten halben Stunde** auf Sie zutrif. Kreuzen Sie bitte bei jeder Feststellung das Feld unter der von Ihnen gewählten Antwort an. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Überlegen Sie bitte nicht lange und denken Sie daran, diejenige Antwort auszuwählen, die in der letzten halben Stunde auf Sie zutrif.

	fast nie 1	manchmal 2	häufig 3	meistens 4
01. Sie fühlen sich ausgeruht				
02. Sie fürchten, Ihre Ziele nicht erreichen zu können				
03. Sie fühlen sich ruhig				
04. Sie sind voller Energie				
05. Sie fühlen sich angespannt				
06. Sie fühlen sich gehetzt				
07. Sie fühlen sich sicher und geschützt				
08. Sie fühlen sich mental erschöpft				
09. Sie fühlen sich unter Termindruck				

### Fragebogen 1: Beginn der Arbeit

## **Danksagung**

Mein herzlicher Dank gilt alldenjenigen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. In den unterschiedlichen Phasen des Projektes standen mir verschiedene Menschen zur Seite, die alle mit ihrem Wissen und Engagement ihren Anteil an der Verwirklichung hegten.

Bedanken möchte ich mich zunächst bei Professor Dr. Enck sowie Professor Dr. Wolf. Ihr beiderseitiges Interesse an einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit zwischen der Hochschule für Forstwirtschaft sowie der medizinischen Fakultät machte dieses Projekt erst möglich.

Da viele Aspekte der fächerübergreifenden Zielsetzung nicht erprobt waren, ergaben sich zwangsläufig nicht vorhersehbare Problematiken sowie Phasen erhöhter Karenz, die die Geduld der Beteiligten erforderten.

Prof. Dr. Enck vermittelte in dieser Hinsicht stets den vollen Rückhalt, den es bedarf, um auch in beschwerlichen Phasen, motiviert und zuversichtlich mit der Umsetzung der gesteckten Ziele voranzuschreiten.

Mein außerordentlicher Dank gilt Frau Dr. Heidemarie Hinninghofen und Herrn Dr. Axel Kowalski.

Frau Dr. Hinninghofen führte mich auf wohlwollende Weise und mit viel Geduld in die Abläufe des Kreislauflabors der Psychosomatik ein. Bei allen Messungen, die wir durchgeführt haben, sorgte sie für eine allseits entspannte Atmosphäre, was direkt in die Qualität der Ergebnisse einfluss.

Herr Dr. Kowalski gab mir stets wertvolle Unterstützung, in Fragen der Ausarbeitung und Darlegung der gewonnen Erkenntnisse. Er trug Sorge dafür, mich auf den richtigen Weg des Formulierens einer Dissertation zu bringen.

Einen speziellen Dank richte ich an Herrn Thomas Fikar. Herr Fikar brachte mich mit den Harvesterfahrern in Kontakt und führte mich in die Grundlagen der mechanisierten Holzernte ein. Er war es auch, der die Hauptlast des Zeitaufwandes, der sich bei der Durchführung der Feldmessungen ergab, trug.

Allen Probanden danke ich für ihre Einsatzbereitschaft und Offenheit. Die Arbeit mit ihnen hat mir viel Freude bereitet.