



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Psychophysische Wirkungen eines Fallschirmtrainings
auf die Herzratenvariabilität und die Herzfrequenz“

Verfasser

Michael Ludwig Löberbauer

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, Jänner 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 482 884

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Lehramtstudium UF Bewegung und Sport /
UF Informatik und Informatikmanagement

Betreut von:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Amesberger Günter

Abstract

Abstract: The aim of this study is to examine whether parameters of heart rate variability (HRV) and Heart frequency (Hf) of a professional skydiving team change during the course of a training camp in order to be able to draw conclusions about the amount of physical and psychological stress. Periods of sleep and of skydiving jumps are described and analysed with regards to time and number of jumps on the basis of five male subjects (n=5). At the beginning of the training two initial readings were taken and during the 19 day training period ECG monitoring was performed on 4 specified days and nights. The change of the HRV and Hf during the training period was examined. Significant differences could be found with regards to aspects of the time domain analysis of sleep and of the jumps. Furthermore, in part significant changes could be found in the parameters of the frequency domain during the training period with regards to sleep and jumps. In continuation of the training camp an overtraining was detected by sleep analysis resulting from the short time period for regeneration. In addition, analysis of parameters of HRV hypothesize that an increasing number of skydiving jumps enhances stress reduction.

Zusammenfassung: Ziel dieser Studie ist es zu prüfen, ob sich Kennwerte der HRV und der Hf eines professionellen Fallschirmspringerteams im Laufe eines Trainingscamps verändern, um Rückschlüsse auf die psychische und physische Beanspruchung ziehen zu können. Die Nachtruhe und die Sprünge werden zwischen den Faktoren Zeit und Sprunganzahl anhand von fünf männlichen Probanden (n = 5) beschrieben und analysiert. Vor dem Beginn des Trainingslagers werden zwei Basismessungen erstellt und bei dem 19-tägigen Training wird an vier ausgewählten Tagen und Nächten eine EKG-Aufzeichnung durchgeführt, um mit Fortdauer des Trainings HRV- und HF-Veränderungen zu untersuchen. Bei einigen Faktoren der Zeitbereichsanalyse konnten signifikante Unterschiede für die Nachtruhe und bei den Absprüngen festgestellt werden. Außerdem wurden bei den Parametern der Frequenzdomäne im Verlauf des Trainings in Bezug auf die Nachtruhe und die Fallschirmabsprünge zum Teil signifikante Veränderungen aufgezeigt. Mit Fortdauer des Trainingscamps konnte bei den Probanden eine Überbeanspruchung auf Grund einer zu geringen Regenerationszeit durch die Analysen der Nachtruhe festgestellt werden. Des Weiteren lassen die HRV-Parameter vermuten, dass es mit zunehmender Sprunganzahl zu einer Stressreduktion kommt.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Inhaltsverzeichnis	1
Vorwort	5
1 Einleitung	7
2 Theoretische Grundlagen des Herzens	9
3 Herzratenvariabilität (HRV)	14
3.1.1 Wirkung des Sympathikus am Sinusknoten	15
3.1.2 Wirkung des Parasympathikus am Sinusknoten	16
3.2.1 Barorezeptorisches System	16
3.2.2 Respiratorisches System	17
4 Analysen der Herzratenvariabilität	18
4.2.1 LF-Band	21
4.2.2 HF-Band	21
4.3.1 Stress	22
4.3.2 Beanspruchung-Ermüdung-Wohlbefinden	23
5 Forschungsstand zu psychophysischer Beanspruchung im Fallschirmsport	27
6 Problemstellung und Hypothesenformulierung	30
7 Untersuchungsmethode	32
7.1.1 Testpersonen	32
7.1.2 Testverfahren	32
7.1.3 Testablauf	33
7.1.4 Testzeitpunkte	34
7.1.5 Testgeräte	35
7.2.1 EKG Daten	36
7.2.2 Synchronisation der Zeitinformation	36
7.2.3 Berechnung der HRV Zeit- und Frequenzparameter	37
7.2.4 Fragebögen	39
7.2.5 Statistische Auswertung	39

7.1.6 Mögliche Fehlerquellen	39
8 Ergebnisse	40
8.1.1 Deskriptive Statistik des EBF 76 für Sportler/innen	40
8.1.2 Analytische Statistik des EBF- Sport	45
8.2.1 Deskriptive Statistik der SBS-BZ	48
8.2.2 Analytische Statistik des Befindlichkeitsfragebogens	53
8.3.1 Deskriptive Statistik der Nachtruhe	54
8.3.2 Analytische Statistik der Nachtruhe	61
8.4.1 Deskriptive Statistik von Fallschirmabsprüngen	65
8.4.2 Analytische Statistik der Fallschirmabsprünge	71
9 Diskussion	74
Literaturverzeichnis	80
Abbildungsverzeichnis	84
Tabellenverzeichnis	86
Anhang	88
Ablauf des Trainingslagers	88
SBS-BZ	91
Erholungs- Belastungsfragebogen für Sportler	93
Erklärung	102

Vorwort

Die Sportpsychologie, als Fachgebiet der Sportwissenschaft, ist eine Wissenschaft die noch in den Kinderschuhen steckt. Die psychophysischen Aspekte, welche in dieser Arbeit untersucht werden, kombinieren verschiedene Teildisziplinen des Sports und sollen helfen, sportpsychologische Thesen zu stärken und diese besser verstehen zu können. Die Herzratenvariabilität, die mit Hilfe von physiologischen Parametern erkennbar gemacht wird, kann in naher Zukunft dazu beitragen, den psychophysischen Zustand von Personen zu erfassen.

Bei der Suche nach einem Diplomarbeitsthema wurde ich von Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Günter Amesberger darauf aufmerksam gemacht, dass die Forschung rund um die Herzratenvariabilität im Bereich des Fallschirmspringens interessant sein könnte. Nach einer umfangreichen Literaturrecherche fasste ich den Entschluss, mich mit diesem Thema näher zu befassen und diese Arbeit zu schreiben. Auf Basis meines Exposés wurde mir die Unterstützung seitens der Universität zugesagt, die ich dankenswerter Weise von Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Amesberger als Erstbetreuer und von Herrn MMag. Dr. Thomas Finkenzeller als Zweitbetreuer erhalten habe. Die Unterstützung von den beiden Betreuern und der Universität Salzburg machten meine Untersuchung in diesem Umfang erst möglich.

Einen weiteren Dank möchte ich an meine Kollegen richten, die mir als Probanden zur Verfügung standen und die Elektrokardiogramme mehrere Tage, bei nicht immer einfachen Bedingungen, getragen und zusätzlich noch Fragebögen ausgefüllt haben. Ohne Ihre Mitarbeit wäre die Durchführung der Studie nicht möglich gewesen.

Ich möchte mich außerdem bei all jenen bedanken, die mich in den letzten Monaten und Jahren begleitet und unterstützt haben und dazu beigetragen haben, mein Studium absolvieren zu können.

Herzlichen Dank an Euch alle!

1 Einleitung

Herzschlag- und Blutdruckschwankungen werden als wichtige Bestandteile eines gesunden und gut funktionierenden Herzkreislaufsystems angesehen. Die Herzfrequenzvariabilität (HRV), welche die Schlag-zu-Schlag Fluktuationen des Herzens darstellen, konnte sich Mitte des 20. Jahrhunderts mit Hilfe der EKG-Ableitung in klinischen Standardsettings durchsetzen (Hottenrott, 2006). Der Zusammenhang der Herzratenvariabilität mit dem Autonomen Nervensystem und deren klinische Bedeutung wird zuerst für die Gynäkologie am Beispiel des fetalen Stresses (Hon, 1958) und wenig später für die Kardiologie um Zusammenhang mit dem plötzlichen Herztod (Wolf, 1967) beschrieben (Hottenrott, 2006). Seitdem gewinnt die HRV als Indikator für psychophysische Zustände des Menschen immer mehr an Bedeutung. Durch die Entwicklung von Methoden in der Zeit- und Frequenzebene, welches ein automatisiertes Verfahren zur Berechnung des Leistungsspektrums von Zeitreihen liefert, findet die Spektralanalyse der Herzratenvariabilität bei grundlegenden medizinischen und psychophysiologischen Fragestellungen Anwendung (Mück-Weymann, 2002).

Der Herzrhythmus ist nicht unmittelbar kontrollierbar, die Anpassung der Herzfrequenz an den situativen Bedarf, erfolgt durch neurovegetative und humorale Regelprozesse. Die permanente Anpassung der Herztätigkeit führt zu messbaren Schwankungen und wird als Herzratenvariabilität (HRV) bezeichnet. Diese Variabilität, die durch die Abstände zwischen den Herzschlägen gemessen wird, ist Ausdruck des Autonomen Nervensystems (Litscher, 2007).

Ziel dieser Studie ist es zu prüfen, ob sich Kennwerte der HRV und der Herzfrequenz (Hf) eines professionellen Fallschirmspringerteams im Laufe eines Trainingscamps verändern, um Rückschlüsse auf die psychische und physische Beanspruchung ziehen zu können. Die Nachtruhe und die Sprünge werden zwischen den Faktoren Zeit und Sprunganzahl anhand von fünf männlichen Probanden ($n = 5$) beschrieben und analysiert. Zusätzlich werden zwei Fragebögen für diese Untersuchung verwendet, um die subjektiv empfundenen Belastungs- und Erholungswerte von den Probanden zu erfassen.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden folgende Hypothesen untersucht:

- Es besteht eine signifikante Veränderung zwischen den Erholungs- und Belastungsfaktoren erfasst durch den Erholungs-Belastungsfragebogen (EBF) mit Fortdauer des Trainingscamps.
- Es besteht eine signifikante Veränderung zwischen den aktuellen Befindlichkeitsskalen mit Fortdauer des Trainingscamps.
- Es bestehen signifikante Unterschiede in der Herzfrequenz bezüglich psychischer und physischer Beanspruchung mit Fortdauer des Trainingscamps.
- Es bestehen signifikante Unterschiede in den HRV-Parametern bezüglich psychischer und physischer Beanspruchung mit Fortdauer des Trainingscamps.
- Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Entspannungsbedingungen und des Fallschirmsprunges bezüglich der HRV-Parameter.
- Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Entspannungsbedingungen und des Fallschirmsprunges bezüglich der Herzfrequenz.

In dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen des Herzens, die Herzratenvariabilität und die Analysen der HRV zusammenfassend wiedergegeben. Im anschließenden Teil wird der aktuelle Forschungsstand von Fallschirmabsprüngen erfasst und die Fragestellungen dieser Arbeit behandelt. Die Untersuchungsmethode wird ausführlich im Kapitel 7 beschrieben. Die theoretischen Hintergründe sind notwendig, um die deskriptive und analytische Betrachtung der vorliegenden Untersuchung verstehen zu können.

2 Theoretische Grundlagen des Herzens

Das Herz ist die treibende Kraft für die Blutzirkulation und bildet somit die Grundlage in unserem Herz-Kreislauf-System. Dieses System versorgt die Zellen der verschiedenen Körpergewebe mit Nähr- und Wirkstoffen beziehungsweise mit Sauerstoff. Des Weiteren ist es für den Abtransport von Stoffwechselprodukten verantwortlich. Das Blut stellt das Transportmittel und das Blutgefäßsystem die Transportwege dar (Friedrich, 2007).

Definition Herzfrequenz

"Die Anzahl der rhythmischen Kontraktionen, also die Anzahl der Herzschläge pro Minute, wird als Herzfrequenz bezeichnet. Sie beträgt beim Untrainierten in Ruhe etwa 60 - 90 Schläge pro Minute." (Friedrich, 2007, S. 68)

Das Herz besteht aus zwei Ventrikeln (Herzkammern) und zwei Vorhöfen. Es pumpt das Blut mit seinem linken Ventrikel durch die arteriellen Blutgefäße des großen (systemischen) Kreislaufs zu den Blutkapillaren der Körperperipherie. Das sauerstoffarme Blut gelangt über die Venen zurück zum Herzen und wird nun im kleinen Kreislauf (Lungenkreislauf) vom rechten Ventrikel durch die Lunge gepumpt, um dort das Blut wieder mit Sauerstoff anzureichern. Danach wird das arterialisierte Blut wieder dem linken Bereich des Herzens zugeführt. Die schematische Darstellung des Herz-Kreislauf-Systems ist in Abbildung 1 ersichtlich (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

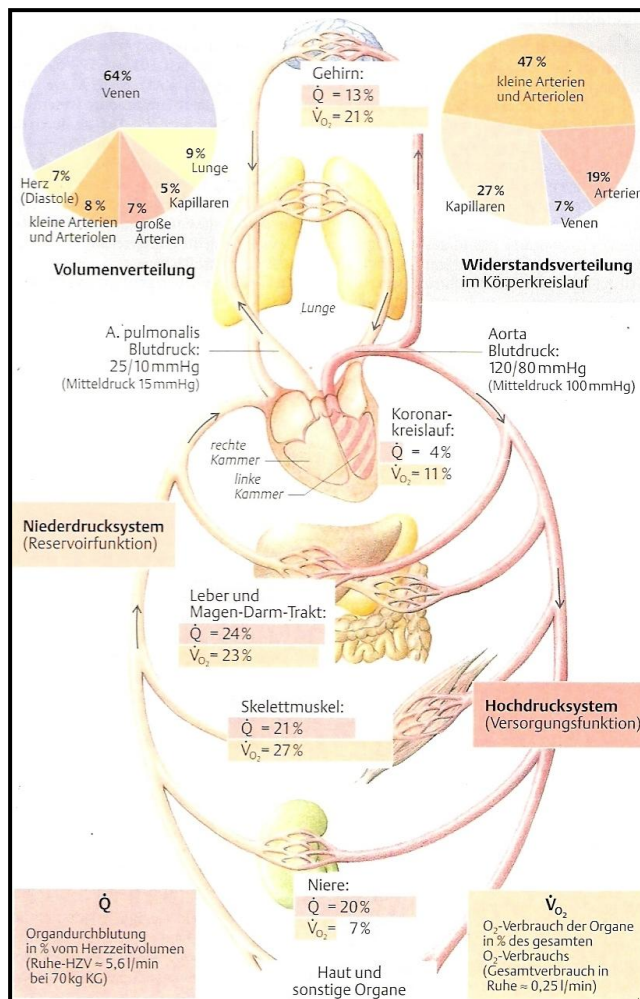


Abbildung 1: Herz-Kreislauf-System (Silbernagl & Despopoulos, 2003, S. 187)

2.1 Aktionsphasen des Herzens

Ein Herzschlag setzt sich aus vier Aktionsphasen, der Anspannungsphase, der Auswurfsphase der Systole, der Entspannungsphase und der Auswurfsphase der Diastole, zusammen. Die Vorhöfe und die Ventrikel werden elektrisch innerviert, um so ihre mechanischen Aktionen durchzuführen. Die Strömungsrichtung des Blutes wird von den Herzklappen vorgegeben. Dies bedeutet, dass das Blut von den Vorhöfen in die Kammern und von diesen in die Pulmonalarterie beziehungsweise in die Aorta fließt. Durch die Pulmonalarterie gelangt das Blut in den Lungenkreislauf, in dem durch Diffusion der Gasaustausch stattfindet (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

Phase 1 und 2: (Anspannungsphase und Auswurfphase der Systole)

In der isovolumetrischen Anspannungsphase kontrahieren die Ventrikel, wobei alle Klappen geschlossen sind und der Kammerdruck sehr rasch ansteigt. Durch den Druckanstieg öffnen sich die Taschenklappen. Zu diesem Zeitpunkt beginnt die Auswurfphase. Sinkt der Kammerdruck unter den Aorten- beziehungsweise Pulmonalarteriendruck, schließen sich die Taschenklappen und damit endet die Austreibungsphase. Die entstandene Sogwirkung bewirkt die Befüllung der Vorhöfe. Der rechte Vorhof füllt sich mit dem Blut aus der unteren und der oberen Hohlvene und der linke Vorhof mit dem Blut aus der Lungenvene (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

Phase 3 und 4: (Entspannungsphase und Füllungsphase der Diastole)

In der dritten Phase des Herzschlages beginnt die Diastole mit ihrer isovolumetrischen Entspannungsphase. Die Vorhöfe haben sich in der Zwischenzeit gut gefüllt. Durch die Entspannung der Ventrikel und den Druckanstieg in den Vorhöfen werden die Segelklappen geöffnet. Mit der Öffnung der Klappen beginnt die Füllungsphase der Kammern, in der das Blut in die Kammern fließt. Nach dem sich die Geschwindigkeit der Füllung verlangsamt hat, kontrahieren die Vorhöfe. Anschließend werden die Kammern erregt. Der Kammerdruck nimmt in dieser Phase zu und übertrifft den der Vorhöfe, so dass die Mitral- und Trikuspidalklappen zuschlagen. Hier endet die letzte Phase des Herzschlages und der Zyklus beginnt von vorne (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

2.2 Erregungsbildung und -leitung im Herzen

Die Erregungsbildung des Herzens erfolgt autonom, wodurch der Arbeitsrhythmus nicht unmittelbar kontrollierbar ist. Die Erregungsbildung geschieht im Gegensatz zur Skelettmuskulatur innerhalb des Organs. Die Zellen des Herzens sind nicht gegeneinander isoliert, sondern durch Gap Junctions miteinander verbunden. Ein Reiz, der in den Ventrikeln beziehungsweise in den Vorhöfen entsteht, führt daher immer zur vollständigen Kontraktion beider Kammern beziehungsweise beider Vorhöfe. Ein Herzschlag wird normalerweise über den Sinusknoten ausgelöst und deswegen auch als Schrittmacher des Herzens bezeichnet. Der Sinusknoten, in Abbildung 2 ersichtlich, liegt an der dorsalen Wand des rechten Vorhofes. Von dort verläuft die Erregungsausbreitung über die beiden Vorhöfe zum AV-Knoten (Atrioventrikularknoten). Der Reiz wird über das His-Bündel mit seinen beiden Tawara-Schenkeln zu den Purkinje-Fasern weitergeleitet, die die Erregung auf das Kammermyokard übertragen (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

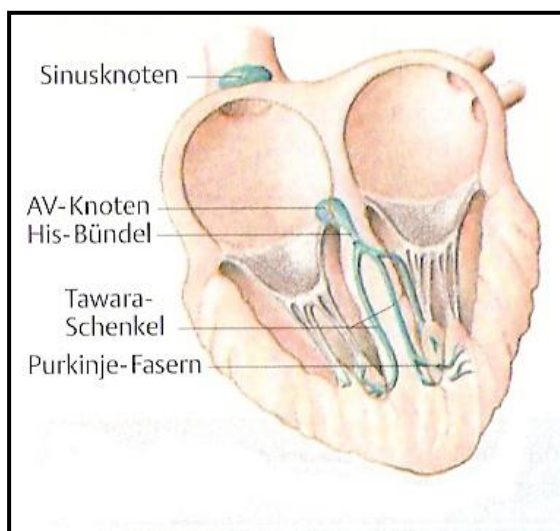


Abbildung 2: Erregungsbildungs- und Leitungssystem (Silbernagl & Despopoulos, 2003, S. 195)

2.3 Elektrokardiogramm

Die Erregungsausbreitung, Erregungsrückbildung, Herzlage und Herzfrequenz kann mit Hilfe eines Elektrokardiogramms (EKG's) aufgezeichnet und festgestellt werden. Mit dem EKG werden die Potenzialdifferenzen, die durch die Herzerregung entstehen und nur wenige Millivolt (mV) betragen, aufgezeichnet. Diese können in einer EKG- Kurve, siehe Abbildung 3, grafisch widergegeben werden. In der Kurve werden Zacken beziehungsweise Wellen dargestellt, deren Ausschläge von der x-Achse ausgehend nach oben positiv und nach unten negativ sind. Der Beginn der P-Welle repräsentiert die Entladung des Sinusknoten und die anschließende Depolarisation der Vorhöfe. Die PQ-Strecke stellt die verzögerte Weiterleitung durch den AV-Knoten dar. Nach der kurzen Verzögerung werden über das His-Bündel, die Tawara-Schenkel und die Purkinije Fasern aktiviert. Dies wird im QRS-Komplex abgebildet. Zur gleichen Zeit findet die Depolarisation der Kammern statt. Die anschließende T-Welle stellt dagegen die Erregungsrückbildung der Ventrikel dar (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

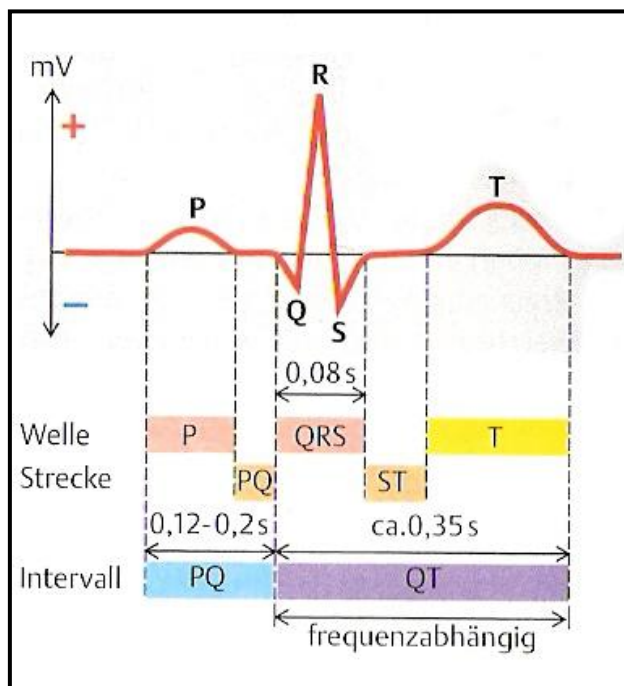


Abbildung 3: EKG-Kurve (Silbernagl & Despopoulos, 2003, S. 197)

3 Herzratenvariabilität (HRV)

Der Herzrhythmus ist, wie bereits beschrieben, nicht unmittelbar kontrollierbar. Die Anpassung der Herzfrequenzaktivität und somit des Herzkreislaufsystems an den situativen Bedarf erfolgt durch neurovegetative und humorale Regelprozesse. Diese komplexen Steuerungen werden durch zahlreiche Einflussfaktoren wie dem Blutdruckkontrollsystem, den Einflüssen des Hypothalamus und den Hirnstamm erzielt (Litscher, 2007). Die permanente Anpassung der Herztätigkeit führt zu messbaren Schwankungen über einen definierten Messzeitraum und wird als Herzratenvariabilität (HRV) oder auch Herzfrequenzvariabilität bezeichnet. Durch die verschiedenen Latenzzeiten, die sich in der HRV widerspiegeln, vor allem durch die Einflussnahme der positiv chronotropen Wirkung des Sympathikus, sowie der negativ chronotropen Wirkung des Parasympathikus und deren Neurotransmitter auf die intrinsische Aktivität der Schrittmacherzellen, können Rückschlüsse auf psychophysische Zustände gezogen werden (Hottenrott, 2011).

3.1 Zentralnervöse Modulation der Herzfrequenz

Die Herzfunktion wird bedarfsorientiert gesteuert. Diese Steuerung erfolgt durch ein komplexes Zusammenspiel von intrinsischer Herzleistung und bedarfsorientierter Regulation der Herzfunktion, durch das autonome Nervensystem (ANS), oder auch vegetative Nervensystem genannt und endokrine Regulationswege. Die wesentlichen Komponenten der nervalen Herzregulation sind der Parasympathikus und der Sympathikus. Der Sympathikus wirkt auf das Herz positiv chronotrop (herzfrequenzsteigernd) und positiv inotrop (herzkrafterhöhend). Der Parasympathikus wirkt antagonistisch, also negativ inotrop und negativ chronotrop (Hottenrott, 2009). Die vegetativen Zentren des Sympathikus liegen im Brust- und Lendenmark und die des Parasympathikus im Hirnstamm und im Sakralmark. Von diesen beiden Zentren ziehen präganglionäre Fasern zur Peripherie, wo sie in den Ganglien synaptisch auf postganglionäre Fasern umgeschaltet werden. Diese synaptische Übertragung erfolgt cholinerg durch den Überträgerstoff Acetylcholin. Die präganglionären sympathischen Fasern (cholinerg) bewirken im Nebennierenmark (Mischung Ganglion und Hormondrüse) per Exozytose, dass Adrenalin und Noradrenalin in die Blutbahn abgegeben wird. Die Ganglien des Parasympathikus liegen in der Nähe oder sogar innerhalb des Erfolgsorgans. Die synaptische Übertragung im Ganglion und im Endorgan ist beim Parasympathikus cholinerg und der Überträgerstoff ist in beiden Fällen Acetylcholin (Silbernagl & Despopoulos, 2003).

Das vegetative Nervensystem ist dem Hypothalamus und dem zerebralen Cortex untergeordnet und wird durch diese übergeordneten Ebenen gesteuert beziehungsweise beeinflusst. Das Herz, als zentrales Effektororgan des Kreislaufsystems, steht jedoch unter unmittelbarer Kontrolle des autonomen Nervensystems, das wiederum über die Sympathikus- und Vagusfasern Einfluss auf die Sinusknotenaktivität, den Schrittmacher des Herzens (siehe Kapitel: 2.2), nimmt. Die intrinsische Herzfrequenz, abhängig von Alter, Geschlecht, interindividueller Variabilität und Trainingszustand, liegt deutlich über 100 Schlägen pro Minute. Der Herzschlag in Ruhe liegt nur bei etwa 60 Schlägen pro Minute, weil in Ruhe die efferente Vagusaktivität am Sinusknoten überwiegt. Die Bedürfnisse des Gesamtorganismus, wie der arterielle Blutdruck und die Herzfrequenz, können daher rasch an die verschiedenen Bedingungen, wie Ruhe, Schlaf, somatische und psychomentele Aktivitäten angepasst werden (Hottenrott, 2004, 2009).

3.1.1 Wirkung des Sympathikus am Sinusknoten

Bei der Sympathikusreizung wird aus den sympathischen Nervenendigungen der Transmitter Noradrenalin frei gesetzt, der durch den synaptischen Spalt diffundiert und an membranständige, β -adrenerge Rezeptoren der schrittmacherkompetenten Sinusknotenzellen gebunden ist. Durch die Andockung von Noradrenalin an die β -Rezeptoren wird über die Vermittlung von G-Protein der sekundäre Botenstoff cAMP gebildet, der dann die Ströme aktiviert und dadurch ein Aktionspotential induziert. Das führt zu einem Anstieg der Entladungsfrequenz der automatischen Sinusknotenzellen und somit der Herzfrequenz. Durch den Zeitbedarf, der für die Signaltransduktion und den Transmittermetabolismus benötigt wird, erfolgt der Herzfrequenzanstieg nach sympathischer Reizung mit einer Verzögerung von ein bis zwei Sekunden und erreicht erst nach 30 bis 60 Sekunden ein Maximum. Ein neuerliches Ansprechen der automatischen Sinusknotenzellen durch einen Sympathikusreiz ist nicht sofort möglich, da die Entfernung von Noradrenalin und auch der relativ langsame Prozess der Noradrenalin-Aufnahme in den synaptischen Spalt einige Sekunden benötigt (Hottenrott, 2004).

3.1.2 Wirkung des Parasympathikus am Sinusknoten

Bei einer parasympathischen Reizung wird aus den vagalen Nervenendigungen der Transmitter Acetylcholin in den synaptischen Spalt frei gesetzt. Der Transmitter bindet sich an muskarinerge Rezeptoren der postsynaptischen Membran der Schrittmacherzellen. Die Rezeptoren sind über das G-Protein direkt an die membranbeständigen Kalium Kanäle gekoppelt, die zu einer Reduktion der spontanen Depolarisation führen. Durch die rasche Signaltransduktion in den Muskarinrezeptoren und dem Acetylcholin-Metabolismus kommt es nach vagaler Stimulation bereits nach einer geringen Latenz von nur 150 ms zu einer Änderung der Herzfrequenz, die bereits nach ein bis zwei Zyklen ihre volle Ausprägung erreicht. Nach Beendigung des Vagusreizes klingt die Herzfrequenzwirkung sofort wieder ab, weil Acetylcholin durch das im Sinusknoten reichlich vorhandene Enzym Acetylcholinesterase rasch abgebaut wird. Im Gegensatz zum Sympathikus ist bei einer Vagusaktivität über die efferenten Vagusfasern eine sofortige Anpassung der Herzfrequenz an die jeweiligen Kreislaufferfordernisse möglich (Hottenrott, 2004).

3.2 Modulatoren der Herzratenvariabilität

Das autonome Nervensystem ist für die Modulation der Herzfrequenz verantwortlich, jedoch ist das Nervensystem in ein komplexes System von physiologischen Regelkreisen eingebunden. Die wichtigsten Regelkreise, die auf das vegetative Nervensystem wirken und somit an der Generierung der efferenten Sympathikus- und Vagusaktivität beteiligt sind, werden in diesem Unterkapitel zusammengefasst (Hottenrott, 2004).

3.2.1 Barorezeptorisches System

Einer der wichtigsten Regelkreise ist der arterielle Baroreflex. Dieser bildet die Stellgröße für den arteriellen Blutdruck, die Herzfrequenz, die kardiale Kontraktionskraft und den peripheren Gefäßwiderstand. Der Blutdruck wird permanent über Druckmessfühler registriert und über afferente Fasern des N. Vagus beziehungsweise des N. glossopharyngeus an die zentralen Regler im Zentral Nervensystem weiter gemeldet. Die arteriellen Barorezeptoren, die sich im Aortenbogen und in beiden Carotidgabeln befinden, sind Dehnungsrezeptoren mit Proportional-Differential-Verhalten. Diese reagieren sowohl auf absolute Blutdruckänderungen, als auch auf die Geschwindigkeit der Blutdruckänderungen (Hottenrott, 2004). Werden die Rezeptoren durch Dehnung erregt, kommt es über negative Rückkopplung zur Hemmung des Sympathikus und zur Aktivierung des Parasympathikus, das zu einer Bradykardie des Herzens führt (Thews &

Vaupel, 2005). Bei einem Blutdruckabfall reduzieren die Barorezeptoren ihre Impulse, wodurch der medulläre Vaguskern nicht mehr aktiviert und der Sympathikuskern desinhibiert wird. Durch den schlagartigen Wegfall des vagalen Einflusses auf den Sinusknoten und die verstärkte Wirkung des Sympathikus auf den Sinusknoten, steigt die Herzfrequenz (Hottenrott, 2004).

3.2.2 Respiratorisches System

Die arteriellen Chemoreflexe sind für die Regulation des arteriellen O₂- und CO₂-Partialdruckes und des arteriellen pH-Wertes, eines der wichtigsten Kontrollmechanismen, zuständig. Die Rezeptoren passen die äußere Atmung an den Atembedarf an, wobei die Partialdrücke für Sauerstoff und Kohlendioxid mittels der Stellgröße "Lungenbelüftung" des Regelkreises, durch das als Reglersystem wirkende medulläre Atemzentrum, konstant gehalten werden. Bei einer Erregung der Chemoreflexe kommt es zu einer ausgeprägten Steigerung der efferenten Sympathikusaktivität und einer Reduktion der efferenten Vagusaktivität, das eine Steigerung der Herzfrequenz zur Folge hat (Hottenrott, 2004).

Beim Ein- und Ausatmen kann eine permanente Änderung der Herzfrequenz festgestellt werden. Die Atmung ist dadurch ein Bestandteil der Herzratenvariabilität. Diese durch die Atemtätigkeit erzeugte Herzfrequenzänderung wird als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet. Die Vagusaktivität wird bei der frühen Inspiration abgeschaltet, das sich in Form eines Herzfrequenzanstiegs und eines expiratorischen Herzfrequenzabfalls äußert (Hottenrott, 2004).

4 Analysen der Herzratenvariabilität

Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) lässt sich als zeitliche Änderung der Herzschlag zu Herzschlag Intervalle aus dem Elektrokardiogramm, gemessen an den R-Zacken, bestimmen. In der Literatur sind für die Zeitabstände zwischen zwei aufeinander folgenden Herzschlägen mehrere Bezeichnungen zu finden, wie zum Beispiel den Interbeat Intervall, RR-Intervall oder auch den NN-Intervall (normal to normal). In der folgenden Grafik sind zwei Herzzyklen und ein Zwischenschlagintervall zu erkennen, der den Zeitabstand [ms] darstellt, der für eine HRV-Analyse verwendet wird (Hottenrott, 2004).

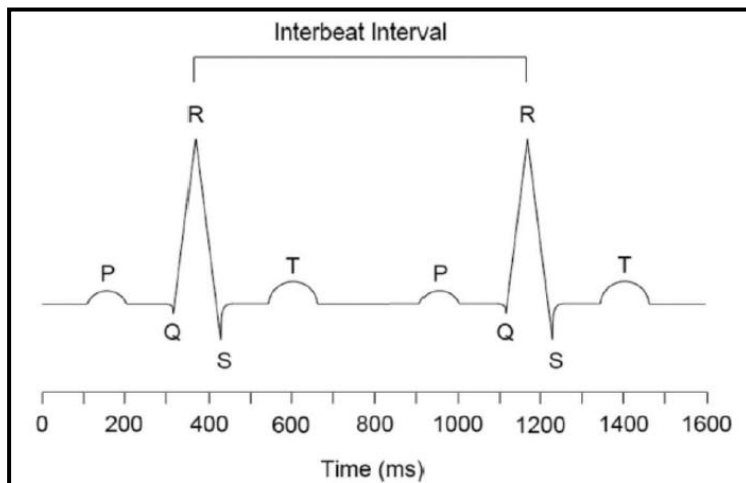


Abbildung 4: RR- Intervall, NN- Intervall oder Interbeatinterval
(Appelhans & Luecken, 2006)

Für die Auswertung und Analyse der HRV haben sich in der Wissenschaft zwei grundsätzliche Methoden (Zeitdomäne, Frequenzdomäne) etabliert. Durch diese mathematischen Zugänge werden verschiedene HRV-Parameter berechnet, die entweder die gesamte Wirkung des Nervensystems oder aber vorwiegend die Aktivität des Parasympathikus und des Sympathikus, widerspiegeln (Hottenrott, 2009).

4.1 Analysen in der Zeitdomäne

Die Analyse in der Zeitdomäne ist die einfachste Form der HRV-Auswertungsmethoden und entspricht einer statistischen oder geometrischen Auswertung aller in einem Zeitbereich registrierten NN-Intervalle eines EKGs. Die simpelste Variable ist die Standardabweichung der NN-Intervalle (SDNN) und beschreibt die Streuung der Aufzeichnungslänge. Um diesen Parameter verwenden zu können, sollten die Dauer der Analyse und die Messbedingungen standardisiert werden. (Malik et al., 1996) Im Gegensatz zum SDNN Parameter, der als Variationskoeffizient trendempfindlich und von der Ruheherzfrequenz abhängig ist, liefert der RMSSD Wert (root mean square of successive differences) einen geeigneteren Parameter für Kurzzeitbereichsanalysen. Er wird aus der Quadratwurzel der Summe der mittleren quadrierten Differenzen der NN-Intervalle errechnet, wodurch die niedrigen Frequenzanteile verloren gehen. Der RMSSD-Parameter stellt ein Maß für die efferente Vagusaktivität dar. Der NN50-Wert wird aus der Anzahl der benachbarten Paare aus Abständen der NN-Intervalle, die sich jeweils mehr als 50 ms voneinander unterscheiden, gebildet. Der pNN50 gibt den Prozentsatz der NN50-Parameter an. In der folgenden Tabelle werden die Parameter der Zeitbereichsanalyse dargestellt (Hottenrott, 2009; Malik et al., 1996).

Tabelle 1: Etablierte Parameter der Zeitbereichsanalyse modifiziert nach (Malik et al., 1996)

Parameter	Einheit	Beschreibung	Darstellung
NNmean	[ms]	Mittlerer Abstand der NN-Intervalle	Durchschnittliche Herzfrequenz
NN	[ms]	Abstand zwischen zwei R-Zacken	Herzfrequenz
SDNN	[ms]	Standardabweichung der NN-Intervalle	Gesamtvariabilität
RMSSD	[ms]	Wurzel aus dem Mittelwert quadrierter NN-Intervalle	Parasympathikus
NN50		Anzahl der benachbarten NN-Intervallen mit mehr als 50ms Differenz	Parasympathikus
pNN50	%	Anteil der NN50 von der Gesamtzahl	Parasympathikus

4.2 Analysen in der Frequenzdomäne

Die Power Spectral Density (PSD) oder auch Spektralanalyse genannt, beinhaltet die Transformation der NN-Rohdaten von der Zeit- in die Frequenzebene. Nach dieser Transformation kann das Leistungsdichtespektrum frequenzanalytisch betrachtet werden. Die HRV-PSD Analyse kann mit nicht-parametrischen oder mit parametrischen Verfahren erfolgen. Für die nicht-parametrischen Verfahren hat sich die Fast-Fourier-Transformation (FFT) und für die parametrischen Verfahren das autoregressive Modell (AR- Modell) etabliert. Aus signaltheoretischer Sicht sind beide Verfahren als gleichwertig anzusehen, jedoch hat der Vergleich von FFT- und AR-Spektralschätzung gezeigt, dass beide Verfahren Vor- und Nachteile haben. Die Vorteile der Fast-Fourier-Transformation liegen in der Einfachheit des Verfahrens, der hohen Auswertegeschwindigkeit und der einfachen Implementierung. Der Nachteil der FFT ist, dass alle Daten mit einbezogen werden, egal ob es sich um reguläre oder irreguläre Oszillationen handelt. Beim AR- Modell werden irreguläre Oszillationen herausgefiltert, wobei mit hoher Sensitivität Spektralleistungsänderungen erfasst werden. Die Nachteile bei diesem parametrischen Modell stellen die Verfügbarkeit und die Einschätzung der Modell Ordnung dar (Hottenrott, 2006; Malik et al., 1996).

Für Kurzzeitmessungen hat sich eine standardisierte Einteilung der Frequenzspektren in die Bereiche Very Low Frequency (VLF: 0,0003 bis 0,04 Hz), Low Frequency (LF: 0,04 bis 0,15 Hz) und High Frequency (HF: 0,15 bis 0,4 Hz) ergeben. Bei Analysen von zwei bis fünf Minuten ist das HF-Band und das LF-Band als relevanter Bandpassfilter anzusehen, die unter anderem in engem Zusammenhang mit dem autonomen Nervensystem stehen. In dieser Arbeit sind die wichtigsten Modulatoren der Herzfrequenz im Kapitel drei angeführt. In der nächsten Tabelle werden die zusammengefassten HRV-Parameter für Kurzzeitmessungen dargestellt (Hottenrott, 2006).

Tabelle 2: HRV-Parameter in der Frequenzdomäne für Kurzzeitmessungen modifiziert nach (Malik et al., 1996)

Parameter	Einheit	Beschreibung	Darstellung
LF	[ms ²]	Power im niedrigen Frequenzband	Sympathikus und Parasympathikus
LF Peak	[Hz]	Zentralfrequenz	Sympathikus und Parasympathikus
LF norm	n.u	Norm. Einheit. LF/(Total Power-VLF) * 100	Sympathikus und Parasympathikus
HF	[ms ²]	Power im hochfrequenten Band	Parasympathikus
HF Peak	[Hz]	Zentralfrequenz	Parasympathikus
HF norm	n.u.	Norm. Einheit HF/(Total Power-VLF) * 100	Parasympathikus
LF/HF		Verhältnis zwischen LF und HF	sympathikovagale Balance

4.2.1 LF-Band

Das mittelwellige LF-Band (6,67 bis 25 Sekunden) wird durch das Barorezeptorensystem und bedingt auch durch die Chemoreflexe beeinflusst. Besonders unter Ruhebedingungen spiegelt das LF-Band sympathische und parasympathische Einflüsse wider. Bei Orthostasebelastung, mentaler Stressbelastung und mäßiger körperlicher Anstrengung steigt es an. (Hilz & Dütsch, 2005) Der quantitative LF/HF-Quotient, der aufgrund der simplifizierten, reziproken Darstellung des sympathiko-vagalen Wechselspiels und des nicht eindeutig physiologisch zuordenbaren LF-Bereichs, aus methodischer und psychophysiologischer Sicht umstritten ist, dient als Maß der sympathiko-vagalen Balance. (Hilz & Dütsch, 2005; Hottenrott, 2004; Hottenrott, 2006; Malik et al., 1996)

4.2.2 HF-Band

Das HF-Band stellt die kurzwelligen Fluktuationen (2,5 bis 6,67 Sekunden) der Herzfrequenzvariabilität dar. Ein überwiegender Anteil der hochfrequenten Schwingungen (~0,2 bis 0,3 Hz) wird durch die respiratorische Sinusarrhythmie erzeugt und ist in dieser Arbeit im Kapitel 3.2.2 beschrieben (Hottenrott, 2006). Durch die kurze Latenzzeit, die nur über die vagale Modulation der Herzfrequenz erreicht wird, spiegelt das HF-Band die Aktivitäten des Parasympathikus wider.

4.3 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität im Sport

In den letzten fünfzehn Jahren hat die Herzratenvariabilität als trainingswissenschaftliche und sportmedizinische Kenngröße an Bedeutung zugenommen. In diversen Überblicksarbeiten wird die Variabilität des Herzschlages für die Trainingssteuerung, Leistungsdiagnostik, Ermüdung sowie die psychischen und physischen Beanspruchung beschrieben (Hottenrott, 2009). Die Herzrhythmusregulation hat zu einer breiten diagnostischen Anwendung geführt, so beispielsweise in der Stressmedizin, die im Variabilitätsmaß einen abhängigen Parameter für psychische Gesundheit findet (Fenzl & Schlegel, 2010). In diesem Kapitel werden die relevanten Punkte bezüglich der vorliegenden Untersuchung zusammengefasst.

4.3.1 Stress

Die Schwankungen der Herzperiodendauer sind Ausdruck der sympathischen und parasympathischen Aktivität. Erhöhter Stress ist durch einen entsprechenden Sympathikotonus gekennzeichnet und äußert sich in überwiegend langwelligen Schwankungen. Eine eingeschränkte Anpassungsfähigkeit an Belastungen, lässt sich vor allem am gestörten Schlafrhythmus erkennen. Durch die Abschwächung der dominierenden Vagusaktivität wird die autonome Balance des vegetativen Nervensystems zum Sympathikus hin verschoben (Fenzl & Schlegel, 2010). In einer Studie nach (Raaf, Hermann, Löllgen & Mayer, 2011) wird beschrieben, dass sich mit Hilfe eines HRV-Biofeedback-Trainings, der Rhythmus von Atmung und Herzschlag koppeln lässt. Durch diese Koppelung wird der vagale Anteil des Nervensystems, der für die Erholung zuständig ist, aktiviert. Stressreaktionen können somit durch die parasympathische Aktivierung reduziert beziehungsweise schneller auf ein Normalniveau zurückgebracht werden. Als Resümee der Untersuchung von (Hynynen, Kontinen & Rusko, 2009) wird festgehalten, dass sich der unmittelbare Stress eines Fallschirmsprunges in einer hohen sympathischen Aktivität kurz vor und während eines Fallschirmsprunges äußert, jedoch keinen Effekt auf die autonome Modulation der Nachtruhe und den Zeitpunkt nach dem Erwachen hat. Im Gegensatz zum chronischen Stress wird eine akute psychische Belastung, wie sie bei einem Sprung aus dem Flugzeug vorkommt, nicht als Gesundheitsgefährdend angesehen.

4.3.2 Beanspruchung-Ermüdung-Wohlbefinden

Nach einer körperlichen Beanspruchung kann mittels HRV-Spektralanalyse das Verhalten der Herzfrequenz vor allem auf die sich erholende efferente vagale Aktivität zurückgeführt werden. In der kurz-, mittel- und langfristigen Erholung (5min bis 72h) kann in Abhängigkeit von Trainingszustand, Belastungsintensität, Trainingsmethode und der Art der Erholung durch den Wiederanstieg, vor allem des parasympathisch modulierten HF-Bandes, auf die Regenerationsdauer geschlossen werden. In der Literatur wird die Dauer der Erholung meist als zweiphasig beschrieben. In der unmittelbaren Erholungsphase (5min bis 2h) kommt es bei reduzierter Gesamtvariabilität zuerst zu einem absoluten Leistungsanstieg im LF- und HF-Band und nachfolgend zu einem sukzessiven Überwiegen der HF-Power. In Abhängigkeit der oben genannten Faktoren ergibt sich, im Verlauf der langfristigen Erholungsphase (24 bis 72h), eine Annäherung der spektralen Gesamtleistung und der prozentualen HF-Leistung an das Ausgangsniveau. Im Sinne des vagalen Reboundeffektes werden die Ausgangswerte zum Teil sogar überschritten (Hottenrott, 2009; Mourot, Bouhaddi, Tordi, Rouillon & Regnard, 2004). Die HRV-Parameter, die Rückschlüsse auf die efferente Vagusaktivität zulassen, werden im sportlichen Kontext sinnvoller Weise für Regenerationsprozesse und darüber hinaus zur Belastungssteuerung herangezogen (Bosquet, Merkari, Arvisais & Aubert, 2008).

Bei überlasteten Sportlern/innen wurde bereits in anderen Untersuchungen (Hynynen et al., 2009; Mourot et al., 2004) eine reduzierte Parasympathikusaktivität nachgewiesen. Bossmann (2012) beschreibt in einer Studie, die sich mit den Auswirkungen eines Ultralangstreckenlaufs auf die HRV-Parameter auseinander gesetzt hat, dass sich vor allem die Ruheherzfrequenz als sensibelster Parameter heraus gestellt hat. Eine zehnprozentige Abweichung der Herzfrequenz in Ruhe wird als kritisch erachtet und als ein Indikator für eine Überbeanspruchung angesehen. Die signifikanten Veränderungen der Ruheherzfrequenz und das Absinken der parasympathischen Aktivität während der Ruhephasen des Ultralangstreckenlaufs wiesen auf eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit und auf eine zu hohe Belastung für die Teilnehmer/innen hin.

Im Zusammenhang mit einer Überbeanspruchung und einer eingeschränkten Regenerationsfähigkeit wird eine Befindlichkeitsverschlechterung durch eine Dysregulation der vegetativen Balance gesehen, wie sie vielfach dokumentiert werden konnte (González-Boto, Salguero, Tuero, González-Gallego & Márquez, 2008). Es besteht ein breiter Konsens, dass sich zu hohe Belastungsanforderungen negativ auf das Wohlbefinden von Sportlern/innen auswirkt, vor allem dann, wenn es zeitgleich zu Leistungsminderungen kommt (Bossmann, 2012).

Mück-Weymann (2002) beschreibt in einem Artikel, dass die erlebte Befindlichkeit, physische Leistungsfähigkeit, Bereitschaft zu sozialer Interaktion, Empfindungsfähigkeit, Schlafqualität oder Trauminhalte ein Ausdruck individueller "vegetativer Potenz" sind, die über das autonome Nervensystem gesteuert werden. HRV-Messungen werden zum Beispiel in der Schlafforschung eingesetzt, wobei die Tiefschlafstadien eher mit vagaler Dominanz und Traumschlafphasen eher mit sympathischer Dominanz einhergehen (Hottenrott, 2004). HRV-Anwendungen für sportpsychologische Fragestellungen können vor allem vor und nach einer sportlichen Tätigkeit von Interesse sein, da unter Belastung die relativ geringen Beeinflussungen der kognitiven Prozesse auf die Herzfrequenzvariabilität durch die Einflüsse der physischen Beanspruchung, überlagert werden (Finkenzeller, Doppelmayr & Amesberger, 2012).

Für das Trainingslager bei dem permanent Absprünge von einem professionellen Fallschirmspringerteam getätigt werden, stellt sich somit die Frage, ob durch Kennwerte der HRV ebenfalls Rückschlüsse auf den Stressfaktor, die Ermüdung, die Belastung und auf das Wohlbefinden der Sportler gezogen werden können.

Als Abschluss dieses Kapitels und des Theorieteils werden die beiden Sprungarten beschrieben, die von dem untersuchten Fallschirmspringerteam beim Trainingscamp im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführt wurden.

Erklärung Wingsuitsprung

Eine Wingsuit ist ein speziell angefertigter Anzug und wurde vor allem zum Fallschirmspringen und Basespringen im Laufe der letzten Jahre entwickelt. Der Anzug hat eine Flügel ähnliche Form und kann das aerodynamische Prinzip ausnützen. Durch die große Fläche und die Vorwärtsgeschwindigkeit, die man mit solchen Anzügen erreicht, wird die Freifallzeit, je nach Können und Größe des Flügelanzuges, um das Mehrfache verlängert. Die Freifallgeschwindigkeit kann auf zirka 50 km/h reduziert werden. Außerdem sind Vorwärtsgeschwindigkeiten von über 200 km/h möglich. Beim Formationsspringen mit einer Wingsuit (wie sie beim Trainingslager in Florida trainiert wurde) und einer Absprunghöhe von 4100 Metern betrug die Freifallzeit zirka 150 Sekunden, wobei eine Strecke von 6 Kilometern zurückgelegt wurde. In der folgenden Abbildung ist eine Wingsuitformation des Teams dargestellt.



Abbildung 5: Wingsuitformation (Florida 2013)

Erklärung Freeflysprung

Das besondere an einem Freeflysprung ist, dass sehr viele verschiedene Körperpositionen möglich sind und die Springer/innen mit ihrem Körper einen dreidimensionalen Raum zum Fliegen ausnützen können. Es ist zum Beispiel das Stehen auf dem Kopf, das Liegen auf dem Rücken und das Sitzen während des Fliegens möglich. Aufgrund der verschiedenen Körperpositionen, die bei dieser Sprungart eingenommen werden, kann die Freifallgeschwindigkeit stark variieren. In Bauchlage erreichen die Fallschirmspringer/innen ungefähr 200 km/h. Beim klassischen Freeflyspringen variiert die Geschwindigkeit von 240 bis 300 km/h. Bei einem Absprung aus 4100 Metern über Grund, beträgt die Freifallzeit bei dieser Sprungdisziplin zirka 45 Sekunden. In Abbildung 7 ist eine Freeflyformation dargestellt.



Abbildung 6: Freeflyformation

5 Forschungsstand zu psychophysischer Beanspruchung im Fallschirmsport

Im Vergleich zu anderen Sportarten gibt es nur wenige anerkannte Studien im Bereich des Fallschirmspringens und insbesondere zu Fallschirmabsprüngen. Den Fallschirmsport gibt es, im Gegensatz zu vielen anderen Sportarten noch nicht lange und die Anzahl derer, die diesen Sport betreiben ist gering. Die meisten Studien untersuchten mögliche Unterschiede zwischen Novizen/innen und Experten/innen. In den unten angeführten Zusammenfassungen der einzelnen Studien wird ersichtlich, dass es in einigen Bereichen des Fallschirmsports noch erhebliche Forschungsdefizite gibt. Die älteren Veröffentlichungen haben mit dem heutigen Fallschirmsport nicht mehr viel gemeinsam.

5.1 Zusammenfassung ausgewählter Studien

Eine der ersten Studien, die Fallschirmsprünge untersuchte, wurde im Jahr 1967 durchgeführt. Diese Studie beschäftigte sich mit dem psychophysischen Stress, der beim Fallschirmspringen auftritt. In dieser Untersuchung erfolgte ein Vergleich zwischen Novizen/innen und Experten/innen. Die Herzfrequenz, die Atemfrequenz und die Hautleitfähigkeit wurden bei der Ankunft am Flughafen, beim Anziehen der Sprungausrüstung, im Flieger, kurz vor dem Absprung und nach der Landung bei den Probanden/innen gemessen. Die Datenaufzeichnung erfolgte bei 14 Novizen/innen und 16 erfahrenen Springern/innen. Um als Experte/in zu gelten, wurde die Grenze für diese Studie mit 100 Fallschirmabsprüngen festgelegt. Die Sprungschüler/innen sprangen mit einer "static line"¹ aus 900 m über Grund aus dem Flieger. Die Absprunghöhe für die erfahrenen Springer variierte von 1000 m bis 2700 m. Es wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen für die Respiration und die Herzfrequenz gefunden. Die Untersuchung ergab demnach eine größere Aufgeregtheit bei Anfängern/innen (Fenz & Epstein, 1967).

Eine Untersuchung beschäftigte sich mit der metabolischen Produkt- und Hormonkonzentrationen im Blut und der Herzfrequenz von Fallschirmspringer/innen zu unterschiedlichen Zeiten. In dieser Analyse wurden Anfänger/innen getestet, die ebenfalls

¹ Eine "Leine" die mit dem Flieger verbunden ist und beim Absprung automatisch den Fallschirm von dem/der Springer/in öffnet.

mit einer "static line" gesprungen sind. Die durchschnittliche Herzfrequenz betrug bei den jungen Probanden/innen beim Absprung 160 Schläge/min. Die Messungen kurz vor dem Exit ergaben, dass sich die Hormonkonzentration des Adrenalins gegenüber der Basismessung vervierfacht hat. Die größte NoradrenalinKonzentration wurde kurz nach der Landung gemessen und ergab das 3,6-fache gegenüber dem Ausgangswert. In der unten angeführten Tabelle sind noch weitere Werte dargestellt, bei denen weitere deutliche Anstiege bei den metabolischen Produkt- und Hormonkonzentrationen im Blut gefunden wurden (Anfilogoff, Hale, Nattrass, Hammond & Carter, 1987).

Tabelle 3: Mittelwerte von metabolischen Produkt- und Hormonkonzentrationen von acht Fallschirmspringer/innen vor und nach dem ersten Fallschirmabsprung. (Anfilogoff et al., 1987, S. 415)

	Basal	On arrival at airfield	After exercise training	In aeroplane immediately before jump	On landing	10 Minutes after landing	20 Minutes after landing	30 Minutes after landing
Glucose (mmol/l)	4.9 (0.3)	4.6 (0.4)	4.6 (0.5)	5.3 (0.3)	5.8 (0.5)**	6.2 (0.6)**	5.7 (0.4)**	5.3 (0.3)*
Lactate (mmol/l)	0.84 (0.12)	0.75 (0.17)	1.13 (0.51)	1.47 (0.36)	4.48 (1.39)**	3.32 (1.02)**	1.66 (0.70)*	1.08 (0.21)
Pyruvate (mmol/l)	0.07 (0.01)	0.06 (0.02)	0.09 (0.05)	0.09 (0.02)	0.18 (0.04)**	0.18 (0.05)**	0.10 (0.02)*	0.08 (0.01)
Alanine (mmol/l)	0.31 (0.05)	0.28 (0.03)	0.31 (0.05)	0.27 (0.04)	0.29 (0.05)	0.31 (0.05)	0.29 (0.04)	0.27 (0.04)
Non-esterified fatty acids (mmol/l)	0.60 (0.12)	0.75 (0.29)	0.93 (0.10)**	1.47 (0.37)**	1.45 (0.38)**	1.43 (0.28)**	1.06 (0.23)**	1.06 (0.25)**
Glycerol (mmol/l)	0.07 (0.03)	0.10 (0.06)	0.15 (0.05)**	0.15 (0.06)**	0.21 (0.09)**	0.23 (0.09)**	0.15 (0.05)**	0.13 (0.04)**
Total ketone bodies (mmol/l)	0.05 (0.03)	0.10 (0.06)	0.14 (0.05)	0.35 (0.24)**	0.34 (0.23)**	0.30 (0.20)**	0.25 (0.15)*	0.25 (0.17)*
Adrenaline (nmol/l)	0.50 (0.26)	0.57 (0.19)	0.82 (0.37)	2.21 (1.06)**	2.11 (1.11)**	0.71 (0.17)	0.56 (0.20)	0.41 (0.21)
Noradrenaline (nmol/l)	1.76 (0.58)	2.40 (0.43)	2.66 (0.55)	4.24 (1.23)**	6.35 (1.93)**	4.87 (1.38)**	4.46 (1.33)**	3.35 (0.90)*
Insulin (mU/l)	6.79 (3.81)	3.03 (1.55)*	2.34 (1.41)**	3.31 (0.74)*	4.35 (2.96)	7.65 (1.54)	5.91 (3.61)	4.11 (1.26)*
Growth hormone (mU/l)	3.06 (3.28)	1.39 (0.56)	17.00 (6.16)**	4.18 (4.08)	5.21 (6.47)	6.69 (5.90)	8.53 (5.63)*	6.30 (4.39)
Cortisol (nmol/l)	359 (120)	248 (141)	221 (197)	466 (289)	561 (333)*	680 (327)**	685 (334)**	632 (354)**
Prolactin (mU/l)	280 (129)	188 (93)	193 (114)	453 (328)*	648 (529)**	505 (271)**	356 (228)	296 (170)
Potassium (mmol/l)	3.9 (0.2)	3.8 (0.4)	3.7 (0.2)*	4.3 (0.4)**	3.6 (0.2)*	3.8 (0.2)	3.6 (0.3)*	3.8 (0.2)

Significance of change from basal value: *p<0.05, **p<0.001.

Im Rahmen einer Dissertation erfolgte eine Untersuchung an 88 Fallschirmspringer/innen aus 10 Nationen. Die Probanden/innen nahmen bei internationalen und nationalen Meisterschaften teil. Die Forscher untersuchten vorwiegend Experten/innen beim Freifallformationsspringen und konnten feststellen, dass es einen Angst-Leistungs-Zusammenhang gibt. Demnach sind hohe Werte der Selbstwirksamkeitsüberzeugung und eine große Sprungerfahrung mit niedrigeren kognitiven Angstwerten, mit besseren Leistungen und dem teilweise späteren Auftreten negativer Katastropheneffekte verknüpft (Schiedek, 2004).

Eine weitere Studie untersuchte Novizen/innen und Experten/innen kurz vor dem Absprung, kurz nach der Landung und an einem sprungfreien Tag. Die Aufmerksamkeit bei dieser Studie wurde auf die Gedächtnisleistung der Probanden/innen gelegt. Zweck dieser Untersuchung war es Gründe zu finden, warum Fallschirmspringer/innen ihren Fallschirm nicht gezogen haben oder bei einer Störung des Hauptfallschirmes, nicht die erforderlichen Maßnahmen getroffen haben, um rechtzeitig den Hauptschirm ab zu

trennen und den Reservefallschirm zu öffnen. Gesamt wurden 40 Fallschirmspringer/innen getestet. Davon waren 14 Experten/innen und 14 Fallschirmsprungschüler/innen. Außerdem gab es eine Kontrollgruppe mit 12 Personen, die auf ihre Gedächtnisleistung hin untersucht wurde. Die Anfänger/innen hatten alle weniger als 10 Absprünge, die Experten/innen mussten mehr als 40 Absprünge absolviert haben. Die Herzfrequenz wurde bei beiden Gruppen gemessen und dabei wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Experten/innen und Schüler/innen gefunden. Es konnte bei den Fallschirmspringern/innen eine erhebliche Beeinträchtigung in der Merkleistung kurz vor dem Absprung festgestellt werden. Auch nach der Landung zeigten die Experten/innen im Vergleich zu den Novizen/innen eine bessere Leistung bei den Merkttests (Leach & Griffith, 2008).

Die erste Studie, die sich mit der Herzratenvariabilität kombiniert mit der Messung von Stresshormonen im Fallschirmsport beschäftigt hat, wurde 2009 veröffentlicht. Das Ziel war es, Unterschiede bei den oben genannten Variablen beziehungsweise deren Auswirkungen nach einem Fallschirmsprung zu finden. Die Herzratenvariabilität, die Herzfrequenz und die Hormone (Cortisol, Adrenalin, Noradrenalin) wurden bei den Probanden/innen in der Nacht, am Morgen und während des Sprungtages gemessen und analysiert. Das Studiendesign umfasste 14 Novizen/innen und 7 Experten/innen. Beide Gruppen sprangen aus 1000 Meter über der Landezone ab. Die Anfänger/innen absolvierten ihren ersten Absprung mit einer "static line" und die Experten/innen (213 - 1732 Absprünge) öffneten ihren Fallschirm manuell, kurz nach dem sogenannten Exit. Die durchschnittliche Herzfrequenz der Probanden/innen beim Sprung lag bei 177 Schlägen pro Minute (± 18 Schläge/min). Es waren keine signifikanten Unterschiede in Kennwerten der Herzratenvariabilität und der Herzfrequenz zwischen der Kontrollnacht, in der Nacht vor dem Absprung und nach dem Absprung festzustellen. Bei den Hormonen konnten die Forscher/innen eine leichte Erhöhung des Adrenalins in der Nacht nach dem Absprung, gegenüber der Kontrollnacht messen. Beim Exit und der Landung wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Herzfrequenz gefunden. Die Novizen/innen hatten eine deutlich höhere Herzfrequenz (Hynynen, Konttinen & Rusko, 2009).

6 Problemstellung und Hypothesenformulierung

Auswirkungen psychischer und physischer Beanspruchung verschiedener Fallschirmsprünge auf die Herzratenvariabilität und die Herzfrequenz.

Die Zusammenfassung der ausgewählten Studien (Kapitel 5) lässt erkennen, dass es im Bereich des Fallschirmsports nur wenige Studien gibt. Die existierenden Studien sind relativ alt und die Bedingungen entsprechen nicht mehr dem heutigen Standard dieses Sports. So gibt es zum Beispiel weltweit nur noch wenige zivile Vereine, die Anfänger/innen auf eine klassische Art und Weise schulen, womit vor allem Absprünge mit einer "static line" gemeint sind. Durch die Weiterentwicklung der Fallschirme, der Flugzeuge, der Ausrüstung und die damit verbunden Möglichkeiten hat sich der Sport in den letzten 40 Jahren stark verändert. Besonders auffallend bei den durchgeführten Untersuchungen ist der Vergleich zwischen Proband/innen. Oftmals wurden Novizen/innen und Experten/innen miteinander verglichen, die bei unterschiedlichen Bedingungen getestet wurden. Teilweise sind Personen als Experten/innen eingestuft worden, die in der heutigen Zeit nicht mehr als solche gelten würden. Ein/e Expert/in sollte nach Meinung von erfahrenen Fallschirmspringern/innen, mindestens 2000 Sprünge absolviert haben. In einer Arbeit von Hynynen et al (2009) werden Anfänger/innen und erfahrene Fallschirmspringer/innen durch die Kennwerte der HRV und der Hf miteinander verglichen. Es wurde bei beiden Gruppen ein akuter Stress rund um den Sprung festgestellt, jedoch konnte kein antizipatorischer Effekt des autonomen Nervensystems bewiesen werden. Um einen Anpassungseffekt festzustellen könnte der getestete Zeitraum zu kurz gewesen sein.

Die Möglichkeit, ein professionelles Fallschirmspringerteam zu untersuchen und dieses bei einem Trainingslager zu begleiten, ergeben sich diverse Fragestellungen in Hinblick darauf, Unterschiede im Verlauf des Trainingslagers bei psychophysischen Parametern zu finden. An vier ausgewählten Tagen wurde mit einem Elektrokardiogramm bei fünf Experten ein gesamter Trainingstag und die Nacht aufgezeichnet. Diese Daten machen es möglich, die Herzratenvariabilität und die Herzfrequenz unter verschiedenen Aspekten zu analysieren. Die Herzratenvariabilität und die Herzfrequenz können somit unter dem Zeitaspekt betrachtet werden. Ergänzend dazu wurden von den Probanden, zur Untermauerung der gemessenen Daten, zwei Fragebögen ausgefüllt. Ziel der Aufzeichnungen ist es Erkenntnisse zu gewinnen, mit denen man auf Ermüdung, auf die verschiedenen Anpassungseffekte und auf die Regeneration Rückschlüsse ziehen kann. Die genauen Untersuchungsmethoden werden im nächsten Kapitel behandelt.

6.1 Hypothesen

Hypothese 1: Es besteht eine signifikante Veränderung zwischen den Erholungs- und Belastungsfaktoren des EBFs mit Fortdauer des Trainingscamps.

Hypothese 2: Es besteht eine signifikante Veränderung zwischen den aktuellen Befindlichkeitsskalen mit Fortdauer des Trainingscamps.

Hypothese 3: Es bestehen signifikante Unterschiede in der Herzfrequenz bezüglich psychischer und physischer Beanspruchung mit Fortdauer des Trainingscamps.

Hypothese 4: Es bestehen signifikante Unterschiede in den HRV-Parametern bezüglich psychischer und physischer Beanspruchung mit Fortdauer des Trainingscamps.

Hypothese 5: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Entspannungsbedingungen und des Fallschirmsprunges bezüglich der HRV-Parameter.

Hypothese 6: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Entspannungsbedingungen und des Fallschirmsprunges bezüglich der Herzfrequenz.

7 Untersuchungsmethode

7.1 Datengewinnung

7.1.1 Testpersonen

Für die gegenständliche Untersuchung wurde ein professionelles Fallschirmsprungteam, das aus fünf männlichen Personen besteht, getestet und zu diesem Zweck bei einem Trainingslager in Florida begleitet. Das Team wurde 2008 gegründet und zeigt seit dem sein Können auf verschiedenen Events vor. Das gesamte Team hatte zum Testzeitpunkt in Summe zirka 16000 Absprünge aufzuweisen. Das Alter, die jeweilige Erfahrung und die Anzahl der Jahre die der Sport ausgeübt wird, werden im Folgenden auf den einzelnen Sportler herunter gebrochen:

- Proband 1: 37 Jahre, 2900 Absprünge, 13-jährige Fallschirmsprungerfahrung
- Proband 2: 27 Jahre, 2700 Absprünge, 10-jährige Fallschirmsprungerfahrung
- Proband 3: 36 Jahre, 4100 Absprünge, 15-jährige Fallschirmsprungerfahrung
- Proband 4: 29 Jahre, 3200 Absprünge, 12-jährige Fallschirmsprungerfahrung
- Proband 5: 22 Jahre, 3100 Absprünge, 08-jährige Fallschirmsprungerfahrung

7.1.2 Testverfahren

Für die Datengewinnung wurden die Experten mit drei Medilog AR4 und drei AR12 Holter EKG Rekorder ausgestattet. Das 5 Kanal EKG zeichnete mit einer Abtastfrequenz von 256 Hz auf. Die Probanden trugen die EKG Geräte zu den Testzeitpunkten mindestens 19 bis maximal 24 Stunden. Um die Qualität der Aufzeichnungen und den Tragekomfort für die Testpersonen beim Springen zu verbessern, sind spezielle Westen produziert worden (Abb. 5). Durch diese Tragehilfe konnten die Artefakte bei den Sprüngen vermindert und Beeinträchtigung beim Springen reduziert werden. Des Weiteren wurden zwei Fragebögen zur Untersuchung herangezogen. Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sport mit 76 Fragen von Kellmann und Kallus (2000) hatte die Aufgabe, die befindungsorientierte Belastungs- und Erholungsaktivität der letzten drei Tage und Nächte zu erfassen. Der Kurzfragebogen nach Hackfort und Schlattmann (1995) mit neun Items wurde modifiziert, um die aktuelle Stimmung und Befindlichkeit der Probanden zu erheben. Für die genaue Bestimmung des Absprungzeitpunktes, wurde eine Suunto Ambit verwendet. Mit Hilfe der GPS-Daten war es möglich, die genaue Absprungetzeit festzustellen.



Abbildung 7: Befestigung der Holter EKG Geräte

7.1.3 Testablauf

Vor dem Trainingslager wurden von jedem Probanden zwei 24 Stunden EKG Aufzeichnungen erstellt. Die erste Basismessung erfolgte bei allen Probanden 25 ± 1 Tage vor der Abreise. Die zweite Messung wurde bei drei Springern 17 Tage und bei zwei Teammitgliedern 7 Tage vor dem Abflug aufgezeichnet. Zusätzlich füllten sie den Erholungs-Belastungs-Fragebogen und den Kurzfragebogen zum Wohlbefinden aus. Diese Daten stellten die Basis für die Analysen dar. Zu diesen beiden Testzeitpunkten wurden alltägliche Aufgaben verrichtet und nicht gesprungen. Das Trainingslager dauerte mit An- und Abreise 19 Tage. In dieser Zeit wurden innerhalb von 15 Sprungtagen jeweils 59 bis 84 Absprünge von den Probanden getätigt. Im Durchschnitt absolvierte jeder Springer 16 Sprünge mit der Wingsuit (Abb. 5). Bei den restlichen Sprüngen wurde ausschließlich Freefly (Abb. 6) trainiert. Die Absprunghöhe variierte in dieser Zeit kaum und lag bei 4100 Meter (± 100 m). In Kapitel 4 werden die beiden Sprungarten erklärt und das zusammengefasste Tagesprotokoll ist im Anhang zu finden.

7.1.4 Testzeitpunkte

In Tabelle 4 sind die Trainingstage mit den Testzeitpunkten und die Anzahl der absolvierten Sprünge angegeben. An den Tagen mit den grün markierten Spalten, wurden die EKG Aufzeichnungen durchgeführt, wobei die Probanden die EKG-Geräte bereits am Vorabend anlegten. Des Weiteren füllten die Probanden an diesen vier Tagen den 9 Item Fragebogen zur Erfassung der Befindlichkeit aus. Am dritten und 17. Tag des Trainingslagers wurde zusätzlich der Erholungs-Belastungs-Fragebogen ausgefüllt. Die zwei Basismessungen wurden von den Teilnehmern innerhalb von vier Wochen vor dem Trainingslager durchgeführt, diese sind in Tabelle 4 jedoch nicht enthalten.

Tabelle 4: Trainingstage und Anzahl der absolvierten Sprünge den Probanden zugeordnet (ID Identifikationsnummer)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Ges.
1	Anreise	3	6	6	3	6	3	7	Pause	5	7	3	4	0	5	10	2	3	Heimreise	76
2		3	7	6	3	6	3	6		5	7	4	4	0	5	10	2	3		65
3		K	K	K	K	6	3	6		5	8	6	4	1	5	10	2	3		59
4		4	7	7	3	7	3	7		5	8	6	4	0	5	11	2	3		82
5		4	7	7	4	7	4	7		5	8	6	3	0	5	11	2	3		82

ID (Identifikationsnummer), K (Krank), Ges. (gesamte Sprunganzahl)

Um die Daten vergleichen zu können, wurden die Zeitpunkte so ausgewählt, dass die Bedingungen für die Testpersonen möglichst identisch waren. Für die Analysen wurde daher die Nacht von 00:00 Uhr bis 06:00 Uhr verwendet. Für die dreiminütige Basismessung am Tag, wurde der Zeitraum kurz nach dem Aufwachen ausgewählt. Bei den Sprüngen wurden 10 Minuten und 5 Minuten vor dem Absprung, dem Absprung selbst und die Landung mit jeweils drei Minuten für die Auswertung herangezogen. Die Abbildung 8 zeigt ein Höhenprofil, wie es bei einem Wingsuitsprung mit der Suunto-Uhr aufgezeichnet wurde. Die farbigen Balken spiegeln die Analysebereiche wider.

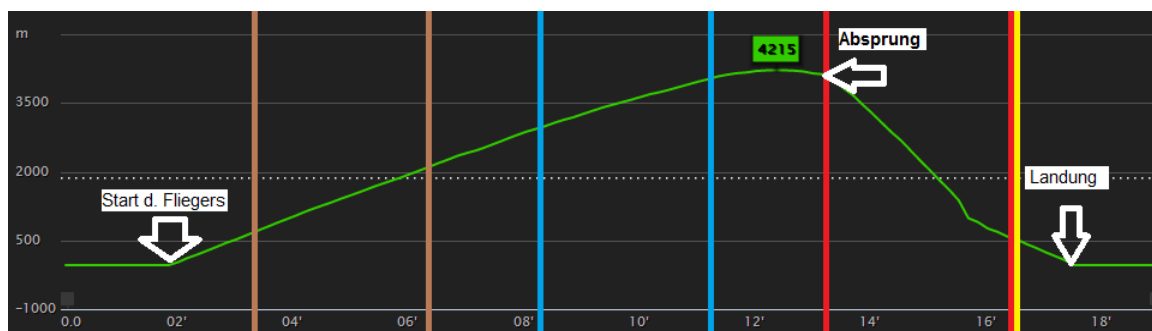


Abbildung 8: Vier Analysebereiche eines Fallschirmsprungs (Movescount, 2013)

7.1.5 Testgeräte

Verwendung fanden digitale Holter Rekorder. Für die Aufnahmen wurden die beiden Geräte Medilog AR4 und Medilog AR12 mit fünf Kanälen auf eine Abtastfrequenz von 256 Hertz eingestellt. Die fünf Ableitungen der beiden Typen, wurden mit Elektroden der Firma Skintact (W-VH01) am Oberkörper (Abb. 9) befestigt.

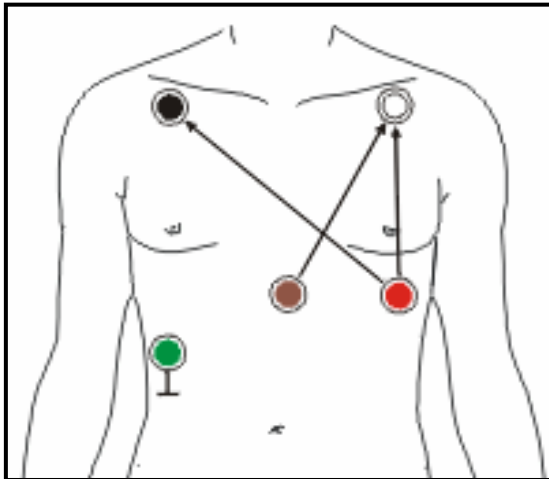


Abbildung 9: Befestigung der Elektroden

Eine Uhr der Marke Suunto Ambit wurde zum Synchronisieren der Zeiten verwendet, dabei machten es die Datenaufzeichnungen mittels Global Position Systems (GPS) möglich, den genauen Absprungzeitpunkt zu bestimmen (Abb. 8). Die Positionen wurden im Sekundentakt gespeichert und mit der Online Plattform Movescount (Movescount, 2013) synchronisiert.

Für die Analysen und die Verwendung der dazugehörigen Programme wurde ein Computer (Mac Book Pro von der Firma Apple) mit dem Betriebssystem Windows 7 verwendet.

7.2 Datenauswertung

Die Datenauswertung erfolgte in mehreren Schritten unter Verwendung mehrerer Programme. Die EKG-Daten wurden in das Programm Medilog Darwin (TOM Medical Entwicklungs GmbH, 2006) eingespielt und die einzelnen Zeitpositionen der R-Zacken als ".mat" Datei exportiert. Mit dem Programm MATLAB (Version R2012b) konnten die Daten aufgerufen und transponiert werden. Die transponierten Daten wurden anschließend mit Microsoft Excel 2007 weiterbearbeitet und in den Texteditor von Microsoft Windows 7 kopiert. Für die Analyse der Daten fand das Programm Kubios HRV (University of Eastern Finland, 2012) Verwendung. Die Analyseergebnisse mussten als ASCII-File (.txt) abgespeichert werden. Für die statistische Auswertung der Parameter, wurde das Statistik-Programm "SPSS 21.0" von der Firma IBM verwendet.

7.2.1 EKG Daten

Die aufgenommenen Daten mussten in das Programm Medilog Darwin eingespielt werden, um die Zeitinformationen der einzelnen R-Zacken exportieren zu können. In diesem Schritt erfolgte keine Datenbereinigung. Um eine Weiterbearbeitung der Daten zu ermöglichen, wurden sie mit der Software MatLab transponiert und in das Programm Excel kopiert. Im Office-Programm konnten die einzelnen Zwischenschlagintervalle zwischen den aufeinanderfolgenden R-Zacken berechnet werden. Die Zwischenschlagintervalle, auch als Interbeatintervalle (IBIS) bezeichnet, wurden für die Analyse ins Programm Kubios mit Hilfe eines Textfiles eingespielt. Die errechneten Interbeatintervalle stellten die Grundlage für die weiteren Berechnungen dar.

7.2.2 Synchronisation der Zeitinformation

Die Startzeit der EKG-Geräte der jeweiligen Probanden wurde im Protokoll vermerkt und in das Programm Medilog sowie in die Excel-Tabelle eingetragen. Im Office Programm wurden die einzelnen Zwischenschlagintervalle ausgerechnet und zur tatsächlichen Uhr- und Laufzeit des EKG-Gerätes zugeordnet. Die Startzeit und die einzelnen Testzeitpunkte konnten mit der Suunto Ambit festgehalten werden. Die Zeitsynchronisation in der Excel-Tabelle machte eine Bestimmung der Analysezeitpunkte möglich. Die Tabelle 5 zeigt in der ersten Spalte die Herzfrequenz, die Anhand des Interbeatintervalls (IBIS) ausgerechnet wurde. Die Startzeit ist mit der dritten Spalte verknüpft und stellt die aktuelle Uhrzeit dar. In der vierten Spalte sind die einzelnen Zeitpositionen der R-Zacken ersichtlich, die aus dem Programm Medilog, transponiert mit MatLab, in die nachstehende

Tabelle kopiert wurden. Die letzte Spalte zeigt die Zeitdifferenz zwischen den einzelnen R-Zacken und bildet die Grundlage für die weiteren Analysen.

Tabelle 5: Ausschnitt einer Excel-Tabelle mit den zugehörigen Zeitinformationen

Herzfrequenz	Startzeit	Dauer d. Aufnahme	Pos. R- Zacke	IBIs [ms]
	20:55:00			
69	20:55:01	00:00:01	0,86	864
102	20:55:01	00:00:01	1,45	588
102	20:55:02	00:00:02	2,04	588
101	20:55:03	00:00:03	2,64	596
101	20:55:03	00:00:03	3,23	596
103	20:55:04	00:00:04	3,82	584
103	20:55:04	00:00:04	4,40	580
104	20:55:05	00:00:05	4,97	576
105	20:55:06	00:00:06	5,54	572
105	20:55:06	00:00:06	6,12	572
104	20:55:07	00:00:07	6,69	576
103	20:55:07	00:00:07	7,27	580
103	20:55:08	00:00:08	7,85	580
103	20:55:08	00:00:08	8,44	584
104	20:55:09	00:00:09	9,02	579
104	20:55:10	00:00:10	9,59	577

7.2.3 Berechnung der HRV Zeit- und Frequenzparameter

Für die Berechnung der HRV Zeit- und Frequenzparameter wurde eine sechsstündige Ruhemessung von Mitternacht bis 6:00 Uhr morgens ausgewählt. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die Teammitglieder in ihren Betten, wodurch standardisierte Bedingungen gewährleistet wurden. Nach dem Aufstehen wurde eine drei Minuten andauernde Phase als Basis zur Gegenüberstellung der Sprungphasen ausgewählt. Im Tagesverlauf erfolgte eine Untersuchung der ausgeführten Sprünge. Jeder einzelne Sprung wurde in vier Teile zu je drei Minuten gegliedert. Die Analyseteile sind in Kapitel 7.1.4 (Testzeitpunkte) und in Abbildung 8 ersichtlich. Die folgende Grafik zeigt die einzelnen Berechnungszeiträume der Untersuchung.

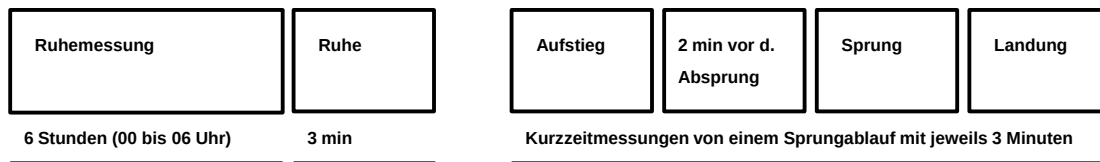


Abbildung 10: Berechnungszeiträume der HRV- u. HF-Analyse

Die gesamte Aufzeichnungsdauer, nicht Artefakt bereinigter RR-Intervalle, wurde als ASCHII-File exportiert und in die Auswertesoftware Kubios HRV 2.1 eingelesen. Die einzelnen Berechnungszeiten konnten anhand der Excel-Tabelle (Tab. 5) bestimmt werden. Eine Artefakt Bereinigung wurde mit einer Normzeitabweichung von 0,45 Sekunden (very low) der RR-Intervalle durchgeführt. Im Bedarfsfall, nach visueller Begutachtung, erfolgte eine Bereinigung der Artefakte mit einer Abweichung von 0,35 Sekunden (low) oder 0,25 Sekunden (medium). Die Interpolation der Interbeatintervalle erfolgte mit einer Rate von vier Hertz. Für die Analyse wurden Parameter der Zeitbereichsanalyse, Fast-Fourier-Transformation (FFT) auf Basis des Welch-Periodogramms und dem Autoregressiven Modell (AR-Modell) mit der Modellordnung 20 verwendet. Die Kennwerte des nichtparametrischen FFT und des parametrischen AR-Modells werden bei länger andauernden Ruhephasen angewendet, während für Kurzzeitspektralanalysen das Autoregressive Modell auf Grund einer adäquaten Spektralaufösung Verwendung findet. Die Literatur empfiehlt eine Modellordnung zwischen 16 und 22 nach visueller Begutachtung (Hottenrott, 2006). Die Vor- und Nachteile der beiden Verfahren und die einzelnen Parameter sind in Kapitel 4 beschrieben und in Tabelle 1 (Zeitdomäne) und in Tabelle 2 (Frequenzdomäne) zusammengefasst.

7.2.4 Fragebögen

Die Fallschirmspringer füllten den Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler und Sportlerinnen (Kellmann & Kallus, 2000) drei Wochen vor dem Trainingslager, am ersten Sprungtag sowie am letzten Tag der EKG-Aufzeichnungen aus.

Ein modifizierter Kurzfragebogen nach Hackfort & Schlattmann (1995) wurde zur Erfassung der aktuellen Stimmung und Befindlichkeit der Probanden eingesetzt. Die Skalen haben sich als valides und reliables Instrument zur Messung etabliert. Die ursprünglichen Skalen beinhalten acht Items zur Erhebung der aktuellen Befindlichkeit und unterteilen sich in: Aktiviertheit, Kontaktbereitschaft, Selbstsicherheit, Fröhlichkeit, Nervosität, Müdigkeit, Gereiztheit und Deprimiertheit. In dieser Untersuchung wurde ein Punkt, zur Evaluation der emotionalen Ermüdung der Fallschirmspringer, hinzugefügt. Der Schnelltest mit insgesamt neun Items wurde von den Fallschirmspringern fünfmal, jeweils zu den EKG-Testzeitpunkten (siehe Kapitel Testzeitpunkte), ausgefüllt. Der verwendete Fragebogen, siehe Anhang, enthält zum besseren Verständnis der Items, für jede Abfrage Wortgruppen mit Eigenschaftswörtern. Der modifizierte Kurzfragebogen ist im Anhang dieser Arbeit zu finden.

7.2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 21 für Windows (IBM). Zur Überprüfung der Hypothesen wurden einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung mit zwei bis sechs Messzeitpunkten durchgeführt. Die genauen Stufenanzahlen sind in den jeweiligen Kapiteln angeführt. In dieser Arbeit werden die korrigierten Werte nach Greenhouse-Geisser berichtet.

7.1.6 Mögliche Fehlerquellen

Die aufgenommenen Daten mussten in das Programm Medilog Darwin eingespielt werden, um die Zeitinformationen der einzelnen R-Zacken exportieren zu können. In diesem Schritt erfolgte keine Datenbereinigung. Die Datenbereinigung erfolgte mit der Software Kubios HRV 2.0. Um eine Weiterbearbeitung der Daten zu ermöglichen, wurden sie mit der Software MatLab transponiert und in das Programm Excel kopiert. Im Office-Programm konnten die einzelnen Zwischenschlagintervalle ausgerechnet und die Zeit zwischen den einzelnen R-Zacken berechnet werden. Die Zwischenschlagintervalle, auch als Interbeatintervalle (IBIS) bezeichnet, wurden für die Analyse ins Programm Kubios mit Hilfe eines Textfiles eingespielt. Die errechneten Interbeatintervalle stellten die Grundlage für die weiteren Berechnungen dar.

8 Ergebnisse

Im ersten Unterkapitel erfolgt die Beschreibung der Ergebnisse des Erholungs-Belastungs-Fragebogens. Der aktuelle Befindlichkeitstest und die Herzratenvariabilität mit der Herzfrequenz werden in den darauffolgenden Kapiteln angeführt. Eine Widergabe der einzelnen Methoden erfolgt deskriptiv und analytisch. Die anschließende Zusammenfassung der Ergebnisse dient zur Erläuterung der wichtigsten Erkenntnisse der jeweiligen Unterkapitel.

8.1 Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler/innen

Der EBF für Sportler/innen ist als standardisierte psychologische Methode nach Kellmann und Kallus (2000) im Rahmen der Erholungs-Beanspruchungs-Diagnostik besonders gut geeignet. Der Fragebogen mit 76 Items beinhaltet 19 Subtests, die in vier Dimensionen zusammengefasst werden. Die allgemeine Beanspruchung, die allgemeine Erholung, die sportspezifische Belastung und die sportspezifische Erholung beschreiben den psychophysischen Zustand von Sportler/innen. Er gilt als relativ stabiles, zuverlässiges, sensitives und ökonomisches Instrument zur Erfassung von Anzeichen eines Übertrainingszustandes (Kellmann, 2000). Weitere Autoren bestätigen diese Stabilität. Der quantitative Test eignet sich sowohl zur Diagnose und als auch zum Verlaufsmonitoring von Übertrainingszuständen (Birrner, 2004).

8.1.1 Deskriptive Statistik des EBF 76 für Sportler/innen

Im Rahmen dieser Studie wurde der quantitative Erholungs-Belastungs-Fragebogen dreimal erhoben. Die Basismessung wurde von allen Probanden 24 Tage vor dem Trainingslager durchgeführt. Die weiteren Abfragen wurden am Tag 3 als Prätest und am Tag 17 als Posttest des Trainings in Florida durchgeführt.

In Tabelle 6 sind die Erhebungen der drei Messungen der Beanspruchungsdimension der einzelnen Fallschirmspringer ersichtlich. Auf der linken Seite sind die dazugehörigen Identifikationsnummern, wie sie in dieser Untersuchung verwendet wurden, abgebildet.

Tabelle 6: Beanspruchungswerte der Probanden

Beanspruchung				
		Basis	Tag 3	Tag 17
ID	1	1,54	2,14	1,21
	2	1,18	1,64	1,36
	3	1,29	1,50	1,43
	4	1,11	1,25	1,54
	5	0,75	0,93	0,82

Die folgende Abbildung zeigt die sportspezifischen Belastungswerte der Fallschirmspringer des Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler/innen gegliedert auf die einzelnen Sportler, die in dieser Grafik mit der Identifikationsnummer (Legende) gekennzeichnet sind sowie die drei Messzeitpunkte.

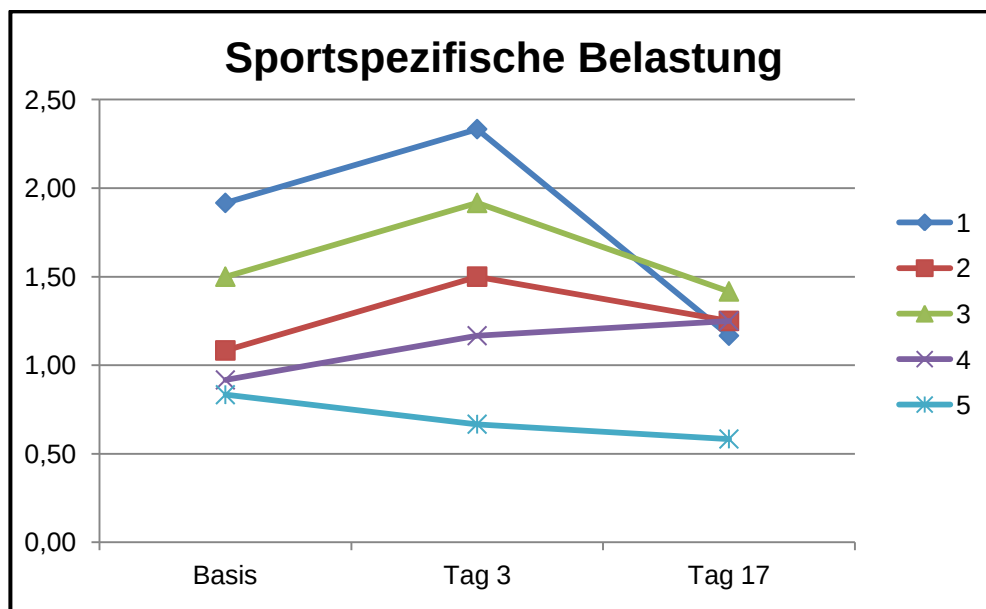


Abbildung 11: Grafische Darstellung sportspezifischer Belastungswerte der Fallschirmspringer

Die Erholungsskalen der Probanden werden in der Abbildung 12 dargestellt. In der Legende, die auf der rechten Seite der Grafik zu finden ist, werden die Identifikationsnummern der Fallschirmspringer angezeigt.

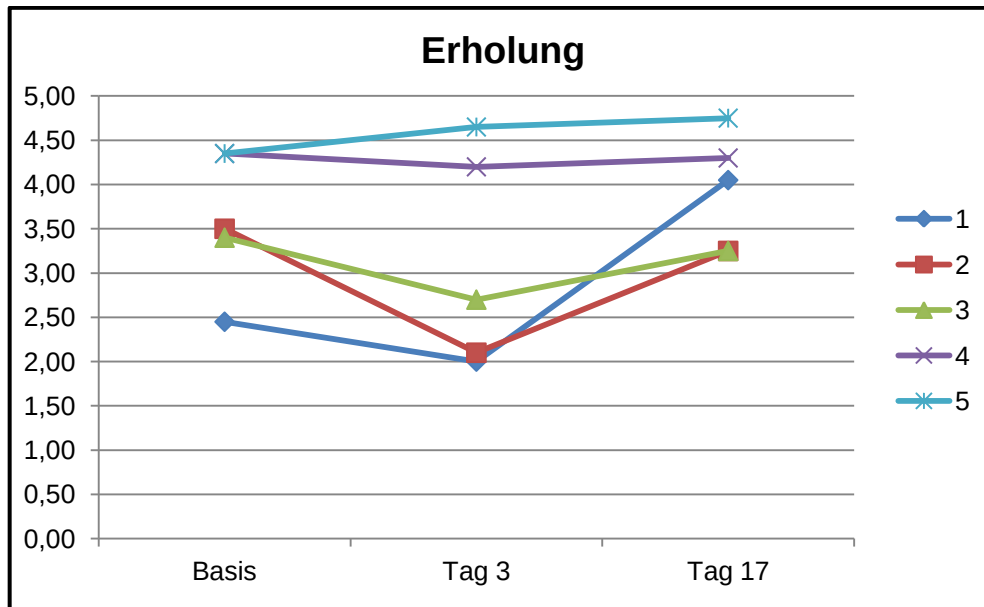


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Erholungswerte der Probanden

Die sportsspezifische Erholung, als einer der vier Dimensionen des EBF für Sportler/innen, wird in der Tabelle 7 dargestellt. Die ID der Probanden ist in der linken Spalte ersichtlich.

Tabelle 7: Sportspezifische Erholung der Testpersonen

Sportspezifische Erholung				
		Basis	Tag 3	Tag 17
ID	1	3,44	2,75	3,94
	2	2,81	1,88	2,88
	3	3,50	2,69	3,31
	4	4,63	4,56	4,69
	5	3,13	4,75	5,19

Tabelle 8 zeigt die Mittelwerte mit den Standardabweichungen, die in Klammern angeführt sind, des Fallschirmspringerteams von allen drei Erhebungen. In der linken Spalte sind die einzelnen Unterkategorien und auf der rechten Seite die dazugehörigen Dimensionen des Fragebogens angeführt. Die Messzeitpunkte sind im Kapitel 7.1.4 ersichtlich. Die Beanspruchungs- beziehungsweise die Belastungswerte sollten Kenngrößen unter zwei aufweisen und die Werte für die Erholungsbereiche sind ideal, wenn sie Werte über vier erreichen (Birrner, 2004).

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der drei Tests des EBF

Subtest	Basis	Tag 3	Tag 17	Dimensionen
Allg. Beanspruchung	0,45 (0,27)	1,20 (0,69)	0,90 (0,29)	Beanspruchung
Emotionale Beanspruchung	0,75 (0,18)	0,80 (0,48)	0,95 (0,37)	
Soziale Beanspruchung	1,05 (0,45)	0,85 (0,55)	1,10 (0,68)	
Ungelöste Konflikte	1,35 (0,34)	1,30 (0,27)	1,60 (0,58)	
Übermüdung - Zeitdruck	1,75 (1,29)	2,05 (1,12)	1,35 (0,65)	
Energielosigkeit Unkonzentriert	0,85 (0,34)	2,00 (0,71)	1,15 (0,52)	
Somatische Beanspruchung	2,00 (0,31)	2,25 (1,00)	1,85 (0,14)	
Gestörte Pause	0,95 (0,65)	1,15 (0,78)	0,95 (0,54)	Sportspezifische Belastung
Emotionale Erschöpfung/Burnout	0,45 (0,37)	0,60 (0,65)	0,40 (0,29)	
Fitness/Verletzungsanfälligkeit	2,35 (0,70)	2,80 (1,01)	2,05 (0,33)	
Erfolg - Leistungsfähigkeit	2,95 (0,84)	2,40 (0,65)	2,85 (0,45)	Erholung
Soziale Erholung	3,00 (1,26)	3,75 (1,22)	4,40 (1,01)	
Somatische Erholung	4,30 (0,82)	2,90 (1,86)	4,25 (1,05)	
Allg. Erholung - Wohlbefinden	3,75 (0,35)	3,50 (0,73)	3,50 (0,61)	
Schlaf	4,05 (1,46)	3,10 (1,93)	4,60 (0,52)	
Fitness/In-Form-sein	3,75 (1,08)	2,75 (2,07)	4,10 (1,23)	Sportspezifische Erholung
Burnout/Persönliche Verwirklichung	3,25 (0,59)	3,60 (0,80)	3,50 (0,47)	
Selbstwirksamkeitsüberzeugung	3,50 (0,85)	3,60 (0,98)	4,00 (1,30)	
Selbstregulation	3,50 (0,95)	3,35 (1,42)	4,40 (0,95)	

In Abbildung 13 werden die Mittelwerte der Untersuchungsgruppe der drei Erhebungen grafisch dargestellt. Auf der X-Achse sind die Subdimensionen eingetragen und die Y-Achse spiegelt die sechsstufige Skala, die mit der Bewertung null beginnt und mit sechs endet, des EBF wider. Die vier Dimensionen sind auf der Oberseite der Grafik zu finden. Bei der Beanspruchung und der sportartspezifischen Belastung stellen die Zahlen den Grad der Beanspruchung beziehungsweise der Belastung dar, somit spiegelt die Zahl Null keine und die Zahl Sechs eine hohe Beanspruchung beziehungsweise Belastung wider.

Die strichlierte Linie ist ein Marker für ein eventuelles Übertraining oder einer Überbeanspruchung. Bei der Erholung und der sportspezifischen Erholung reflektiert der Skalenbereich sechs eine vollständige Regeneration. Je niedriger dieser Wert ist, desto geringer ist der Erholungsfaktor. Im Regenerationsbereich gelten Werte über vier als ideal und sind in der Grafik mit einer strichlierten Linie gekennzeichnet. In der Legende sind die drei Messzeitpunkte angeführt. Der Fragebogen wurde von allen Probanden 24 Tage vor dem Trainingscamp als Basismessung erhoben. Die erste Messung wurde am Tag 3 und die zweite Erhebung wurde am Tag 17 des Trainingslagers von den Fallschirmspringern ausgefüllt.

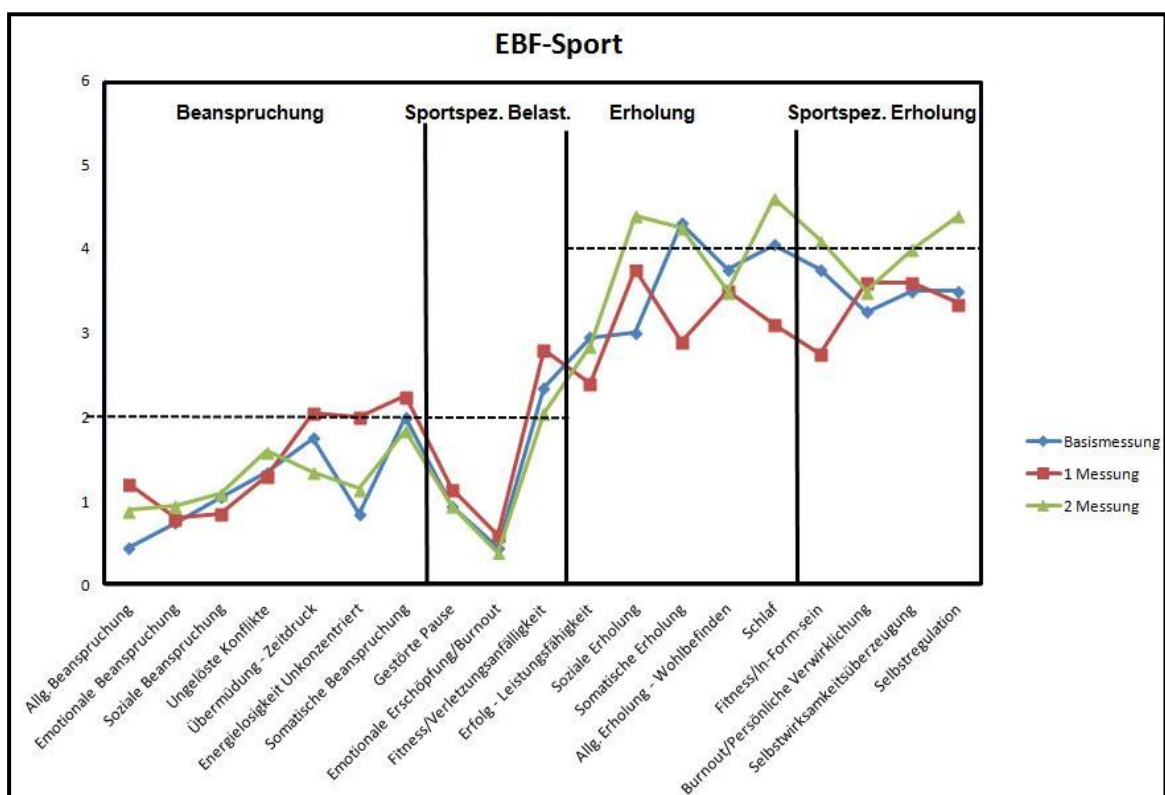


Abbildung 13: Grafische Darstellung der drei Erhebungen des EBF

8.1.2 Analytische Statistik des EBF- Sport

Um die Signifikanz zu überprüfen wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (3-stufig) durchgeführt. Die drei Stufen (drei Messzeitpunkte) sind für die vier Dimensionen und die 19 Subtests, die dieser Fragebogen beinhaltet, angewendet worden. In der Tabelle 9 und 10 werden die durch Greenhouse-Geisser korrigierten Werte berichtet.

Tabelle 9: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der vier Dimensionen des EBF:

Faktoren	df	F	p	ηp^2	Beobachtete Schärfe
Beanspruchung	2,8	2,583	0,179	0,392	0,250
Erholung	2,8	2,852	0,123	0,416	0,385
Sportspezifische Belastung	2,8	2,424	0,175	0,377	0,282
Sportspezifische Erholung	2,8	1,726	0,255	0,301	0,198

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 10: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der 19 Faktoren des EBF

Faktoren	df	F	p	ηp^2	Beobachtete Schärfe
Allgemeine Beanspruchung	2,8	5,748	0,066	0,590	0,487
Emotionale Beanspruchung	2,8	0,598	0,565	0,130	0,116
Soziale Beanspruchung	2,8	0,433	0,613	0,098	0,090
Konflikt/Leistungsdruck	2,8	0,861	0,420	0,177	0,121
Übermüdung	2,8	1,228	0,340	0,235	0,174
Energielosigkeit	2,8	7,330	0,040*	0,647	0,617
Somatische Beanspruchung	2,8	0,723	0,453	0,153	0,106
Erfolg-Leistungsfähigkeit	2,8	1,943	0,230	0,327	0,211
Soziale Erholung	2,8	2,769	0,146	0,409	0,321
Somatische Erholung	2,8	4,247	0,074	0,515	0,481
Allg. Erholung-Wohlbefinden	2,8	0,741	0,459	0,156	0,112
Schlaf	2,8	3,334	0,097	0,455	0,435
Gestörte Pause	2,8	0,379	0,670	0,086	0,089
Emotionale Erschöpfung	2,8	0,245	0,775	0,058	0,076
Verletzung	2,8	1,988	0,204	0,332	0,282
In Form sein	2,8	4,396	0,059	0,524	0,542
Persönliche Verwirklichung	2,8	0,839	0,462	0,173	0,144
SWÜ	2,8	0,762	0,453	0,160	0,114
Selbstregulation	2,8	1,705	0,259	0,299	0,188

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Der Erholungs-Belastungsfragebogen für Sportler/innen (Kellmann & Kallus, 2000) erfasst befindungsorientierte Belastungs- und Erholungsaktivitäten. Der Beanspruchungszustand wird durch eine quantitative Abbildung der Häufigkeit von Belastungen und Erholungsaktivitäten der letzten drei Tage und Nächte evaluiert (Kellmann, 2000).

In der Dimension der Beanspruchung (Tab. 9) gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Zeitpunkten. Diese Dimension setzt sich aus sieben Subtests zusammen, der allgemeinen, emotionalen und sozialen Beanspruchung, dem Konflikt/Leistungsdruck, der Übermüdung/Zeitdruck, der Energielosigkeit und der somatischen Beanspruchung (Tab.10). Im Subtest Energielosigkeit/Unkonzentriertheit ist ein signifikanter Unterschied festzustellen. Post-hoc-Analysen nach Bonferroni ergeben Unterschiede zwischen der Basismessung und der ersten Erhebung mit $p = 0,13$ und der zweiten Serie mit $p = 0,43$. Der Prätest zeigt somit die größte Signifikanz auf.

Klare Unterschiede sind bei einem weiteren Subtest zwischen den drei Messzeitpunkten zu erkennen, die jedoch nicht signifikant sind. Dies stellt die allgemeine Beanspruchung dar. Post-hoc-Analysen nach Bonferroni ergeben, dass sich beide Erhebungszeitpunkte im Vergleich zur Basismessung mit $p = 0,06$ unterscheiden.

Die restlichen Faktoren in dieser Dimension, die auf Unterschiede geprüft wurden, lassen keine Tendenzen erkennen. Jedoch sind die Beanspruchungswerte des Fallschirmspringerteams in den Subtests Übermüdung/Zeitdruck, Energielosigkeit und in der somatischen Beanspruchung bei der ersten Messung über dem Grenzwert zwei, das auf eine Überbeanspruchung hinweist (Abb. 13).

In der Dimension „sportspezifische Belastung“ (Tab. 9) sind keine signifikanten Unterschiede zu finden. Die Ergebnisse bei den Subdimensionen gestörte Pause, emotionale Erschöpfung/Bournout und Fitness/Verletzungsanfälligkeit (Tab. 10) sind bei der Unterschiedsprüfung gering. Der Faktor Fitness/Verletzungsanfälligkeit ist mit einer Signifikanz von $p = 0,20$ der auffälligste Wert in diesem Bereich. Die Kenngrößen liegen bei den Faktoren gestörte Pause und emotionale Erschöpfung/Burnout deutlich unter dem Wert zwei. Interessanter Weise liegen die Werte des Subtests (Fitness/Verletzungsanfälligkeit) von allen drei Messzeitpunkten über dem Normwert, wobei die erste Messung mit 2,8 Punkten am auffälligsten ist (Tab. 8; Abb. 13).

Die Erholung, die bei diesem Fragebogen eine eigene Kategorie darstellt, zeigt bei den drei Zeitpunkten der Messung, keine Signifikanz. Diese Dimension setzt sich aus fünf Subtests (Erfolg/Leistungsfähigkeit, soziale Erholung, somatische Erholung, allgemeine Erholung/Wohlbefinden und Schlaf) zusammen. Der größte Unterschied zeigte sich im Subtest „Schlaf“ (Tab. 10). Die Kenngrößen für die Erholungsbereiche sind ideal, wenn

die Ergebnisse über vier liegen. Zwei Probanden (Abb. 12) haben zu allen drei Erhebungszeiten des Erholungsbereiches Werte über vier, die anderen drei Fallschirmspringer haben bei der Basismessung bereits Werte unter vier und bei der zweiten Messung eine weitere Absenkung der Erholungswerte. Am Ende des Trainings beziehungsweise bei der letzten Testung, sind keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum Basistest zu finden.

In der Dimension "sportspezifische Erholung" (Tab. 9) kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Kategorie Erholung beinhaltet vier Subtests (Fitness/In Form sein). Der größte Unterschied, der jedoch nicht signifikant ist, zeigt sich beim Faktor Fitness/In-Form-sein. Post-hoc-Analysen nach Bonferroni ergeben einen Unterschied zwischen Ausgangsmessung und Prätest von $p=0,35$ und zum Posttest keine Differenz.

Gleich wie bei der allgemeinen Erholung sollen die Kennwerte eine Zahl über vier darstellen, die nur eine Testperson erreichte. Bei allen anderen Probanden zeigten bereits die Basistests Werte unter vier, wobei drei Springer bei der zweiten Messung noch niedrigere Ergebnisse erreichten (Tab. 7). Am Ende des Trainingslagers pendelte sich bei fast allen Fallschirmspringern der Wert wieder auf das Niveau des Ausgangstests ein.

8.2 Stimmungs- und Befindlichkeitsskalen

Um die aktuelle Stimmung und Befindlichkeit der Probanden des Trainingsverlaufs festzustellen wurden die Stimmungs- und Befindlichkeitsskalen (SBS-BZ) von Hackfort und Schlattmann (1995) modifiziert und als zusätzliches Erhebungsinstrument eingesetzt. Der Schnelltest mit insgesamt neun Items wurde von den Fallschirmspringern fünfmal, jeweils zu den EKG-Testzeitpunkten (siehe Kapitel Testzeitpunkte), ausgefüllt. In den folgenden Unterkapiteln (8.2) wird die Erhebung deskriptiv und analytisch wiedergegeben. Zum Abschluss werden die Ergebnisse zusammengefasst.

8.2.1 Deskriptive Statistik der SBS-BZ

Der quantitative Test gibt den Probanden die Möglichkeit fünf aktuelle Zustände zu beschreiben. Die Antwortmöglichkeiten "trifft gar nicht zu" bis "trifft vollkommen zu" wurden für die Beschreibung der einzelnen Zustände von null bis fünf erfasst. Die aktuelle Gesamtbefindlichkeit kann somit wiedergegeben werden und ist das Ergebnis von der aktuell positiven Stimmungs- und Befindlichkeitsskala minus der aktuell negativ Stimmungs- und Befindlichkeitsskala. Somit spiegelt ein hoher Wert eine gute, aktuelle Stimmung und Befindlichkeit der Probanden wider. In der Abbildung 14 sind die Fallschirmspringer mit ihrer Identifikationsnummer und deren Ergebnisse für die aktuelle Stimmungs- und Befindlichkeitswerte der Messzeitpunkte abgebildet. Für diese Untersuchung wurde der Kurzfragebogen fünfmal angewendet. Die Basismessung wurde von allen Probanden 24 Tage vor dem Trainingslager erhoben. Die weiteren Abfragen wurden am 3 Tag, 8 Tag, 13 Tag und am 17 Tag des Trainings in Florida durchgeführt. . Die Basismessung zeigt, im Gegenstück zu ersten (Tag 3) und vierten Messung (Tag 4), nur geringfügige Abweichungen innerhalb des Teams.

Am Beginn des Trainings hatten drei Probanden deutlich niedrigere Werte und zwei Testpersonen höhere Werte im Vergleich zur Basismessung. Die visuelle Darstellung der Werte von allen Fallschirmspringern, die mit der Identifikationsnummer in der Legende der Grafik zugeordnet sind, wird in der Abbildung 14 gezeigt.

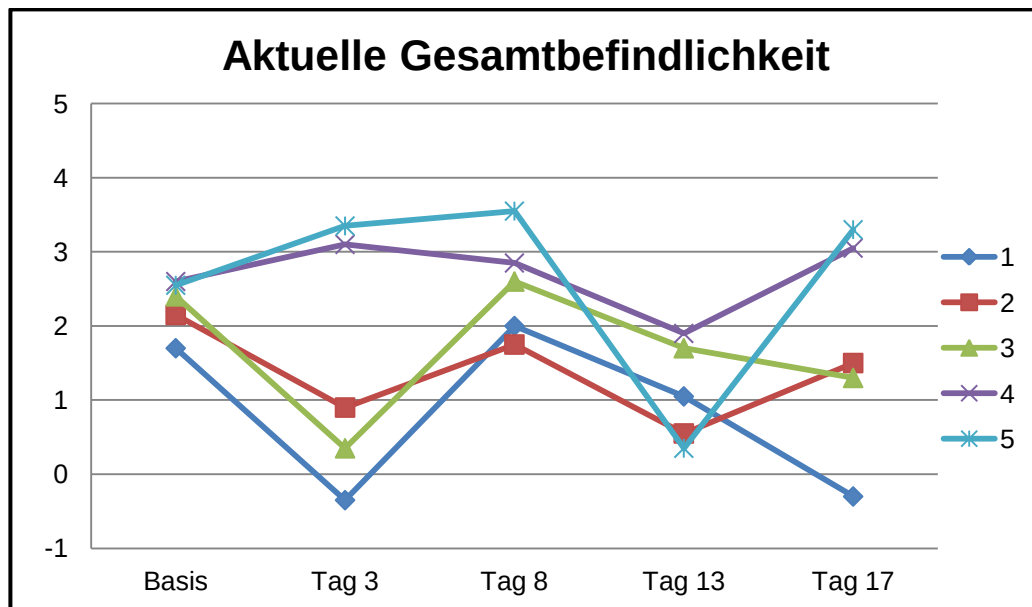


Abbildung 14: Grafische Darstellung der Skalenwerte bei fünf Messungen der einzelnen Testpersonen

Die Mittewerte der Stimmungs- und Befindlichkeitsskalen des Teams werden in der Abbildung 15 sichtbar, ebenso wie die dazugehörigen Standardabweichungen. Die Basismessung hat mit einem Wert von 2,28 (0,37) die geringste und die erste Messung mit 1,47 (1,66) die größte Standardabweichung. Bei der letzten Erhebung sind die Unterschiede im Team ebenso deutlich mit 1,77 (1,46). Die geringsten Standardabweichungen während des Trainingslagers, zeigte die zweite Messung 2,55 (0,71) und die dritte Befragung 1,11 (0,68) der Teammitglieder (Standardabweichung in Klammern).

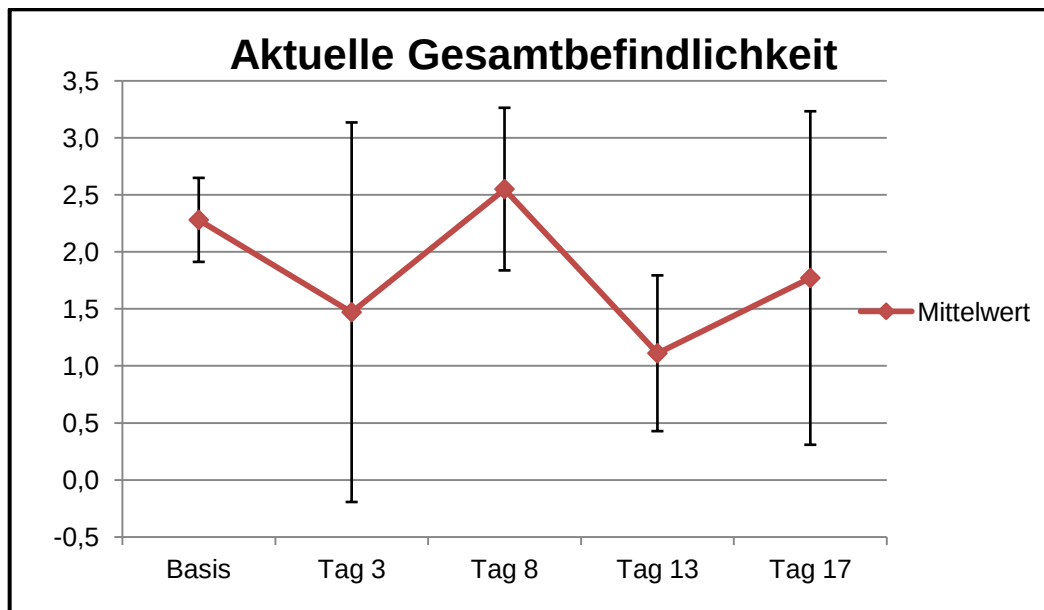


Abbildung 15: Grafische Darstellung der aktuellen Gesamtbefindlichkeit des Teams mit Standardabweichung

Der SBS-BZ Test besteht aus zwei Subdimensionen und vier der neun Punkte beschreiben die aktuellen positiven Zustände der Probanden. Der Maximalwert (fünf) wurde von keinem Teammitglied, ersichtlich in Tabelle 11, erreicht. Die einzelnen Fallschirmspringer sind in dieser Tabelle mit der Identifikationsnummer und den erreichten Werten der Erhebungszeitpunkte dargestellt.

Tabelle 11: Aktuelle positive Skalenwerte der einzelnen Testpersonen von allen Erhebungen

Aktuelle positive Befindlichkeitsskala						
		Basis	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	2,50	1,25	3,00	2,25	1,50
	2	2,75	2,50	2,75	1,75	2,50
	3	3,00	1,75	3,00	2,50	2,50
	4	3,00	3,50	3,25	2,50	3,25
	5	2,75	3,75	3,75	1,75	3,50

In der Abbildung 16 sind die Mittelwerte von den fünf Teilnehmern der Untersuchung des positiven Teils der Erhebung abgebildet. Die vertikalen Balken stellen die Standardabweichungen der einzelnen Messzeitpunkte dar.

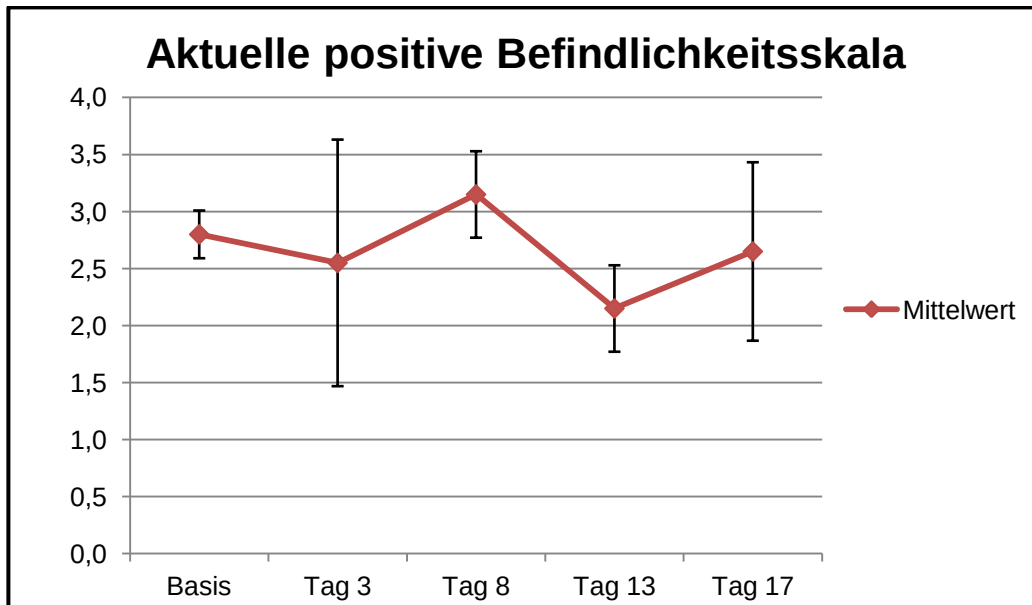


Abbildung 16: Grafische Darstellung der Mittelwerte der positiven Skala des Springerteams

Die neun Itemskala (SBS-BZ) beinhaltet fünf Punkte, die mit der aktuellen negativen Stimmungs- und Befindlichkeitsmessung in Zusammenhang gebracht werden. Die Ergebnisse von der Gruppe, anhand der Mittelwerte, werden in der Tabelle 12 präsentiert. Die Standardabweichungen werden in der rechten Spalte dargestellt. Am Beginn und am Ende des Trainings sind wieder die größten Abweichungen innerhalb des Teams zu finden. In der Abbildung 17 sind die einzelnen Probanden und die Zeitpunkte der fünf Erhebungen grafisch dargestellt. Die Identifikationsnummern der Teammitglieder sind am rechten Rand der Grafik ersichtlich.

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der negativen Skalenwerte des Fallschirmspringerteams

Aktuelle negative Befindlichkeitsskala		
	Mittelwert	Standardabweichung
Basis	0,52	0,23
Tag 3	1,08	0,63
Tag 8	0,60	0,37
Tag 13	1,04	0,33
Tag 17	0,88	0,69

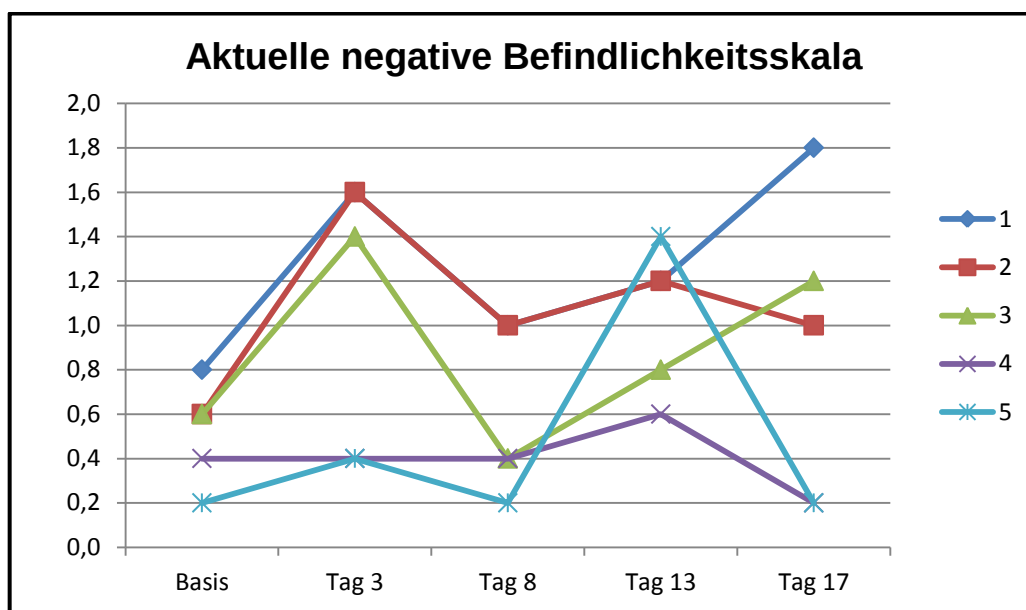


Abbildung 17: Grafische Darstellung der negativen Skalenwerte der Teammitglieder von allen Erhebungen des SBS-BZ

8.2.2 Analytische Statistik des Befindlichkeitsfragebogens

Die Signifikanzprüfung wurde mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung (5-stufig) durchgeführt. Die Zeitpunkte der Erhebung stellen die Stufen dar und wurden für die drei Dimensionen der Skalen angewendet. Die gesamte aktuelle Stimmungs-Befindlichkeitsskala, die aktuellen positiven Stimmungs-Befindlichkeitswerte und die aktuellen negativen Bewertungen, wurden auf ihre Signifikanz geprüft. Die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte werden in der Tabelle 13 berichtet.

Tabelle 13: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung des SBS-BZ

Faktoren	df	F	p	ηp^2	Beobachtete Schärfe
Akt. Gesamtbefindlichkeit	4,16	2,52	0,17	0,39	0,28
Akt. positive Befindlichkeit	4,16	2,28	0,19	0,36	0,25
Akt. negative Befindlichkeit	4,16	2,89	0,12	0,42	0,39

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Für den aktuellen Stimmungs- und Befindlichkeitstest wurden keine signifikanten Unterschiede (Tab. 13) der fünf Probanden für den Erhebungszeitraum gefunden. Bei der Abbildung 14 ist eine Zweiteilung der Fallschirmgruppe bei den Testerhebungen zu erkennen. Drei der fünf Probanden haben die Zeitverschiebung, die eine Reise nach Florida beinhaltet, psychisch und physisch nicht so gut überstanden wie die restlichen zwei Teilnehmer des Teams. Bei der zweiten Messung sind die Unterschiede innerhalb der Gruppe wieder geringer und bei der dritten Erhebung sind die Werte bei allen Probanden deutlich gefallen. Am Ende des Trainingslagers scheint es so, dass sich zwei Teilnehmer besser erholt haben, als die restlichen drei Probanden. Dennoch ist in Abbildung 15 erkennbar, dass sich gegenüber der Basismessung die Werte im Verlauf des Trainings permanent verschlechterten

8.3 Herzratenvariabilität und Herzfrequenz

Im folgenden Unterkapitel werden die Ergebnisse der Auswirkungen psychischer und physischer Beanspruchung auf die Herzratenvariabilität und die Herzfrequenz in zwei Teilen dargestellt. Im ersten Abschnitt werden die Ergebnisse der Nacht analysiert und im zweiten Teil werden ausgewählte Fallschirmabsprünge miteinander verglichen.

8.3.1 Deskriptive Statistik der Nachtruhe

In diesem Teil der Arbeit wird die Nachtruhe der Probanden, die vor Florida zweimal und viermal verteilt im Laufe des Trainingslagers (siehe Kapitel 7.1.4), in der Zeit- und in der Frequenzdomäne beschrieben.

In der Tabelle 14 wird der mittlere Abstand der RR-Intervalle und den fünf Fallschirmspringern der Testzeitpunkte dargestellt. Bei der Testperson mit der Identifikationsnummer drei wurden bei der ersten Messung keine Aufzeichnungen durchgeführt, weil diese bei der Ankunft in Florida erkrankte. Die durchschnittliche Herzfrequenz ist durch eine Umrechnung der Mean RR Werte möglich. Ein Abstand von 1000 Millisekunden bedeutet eine durchschnittliche Herzfrequenz von 60 Schlägen/Minute. Die Werte in den Klammern sind die durchschnittlichen, gerundeten Herzfrequenzen der Teilnehmer.

Tabelle 14: Mittlerer Abstand der RR-Intervalle der Probanden während der Nachtruhe

Mean RR Nacht [ms]							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	1.141,56 (53)	1.202,60 (50)	1.006,61 (60)	1.017,32 (59)	984,75 (61)	851,15 (70)
	2	1.279,67 (47)	1.236,79 (49)	1.189,08 (50)	1.179,75 (51)	1.132,05 (53)	1.127,04 (53)
	3	962,83 (62)	963,55 (62)		920,60 (65)	962,51 (62)	855,27 (70)
	4	1.160,05 (51)	1.178,98 (51)	1.010,66 (60)	1.159,15 (52)	1.038,85 (58)	1.101,69 (54)
	5	1.234,50 (49)	1.256,93 (48)	1.083,93 (55)	1.159,16 (52)	1.049,10 (58)	1.113,40 (54)

Die Abbildung 18 zeigt, dass sich die Werte nach den zwei Basismessungen verringerten. Der mittlere Abstand der NN-Intervalle ist, mit Fortdauer des Trainings bei allen Probanden gesunken.

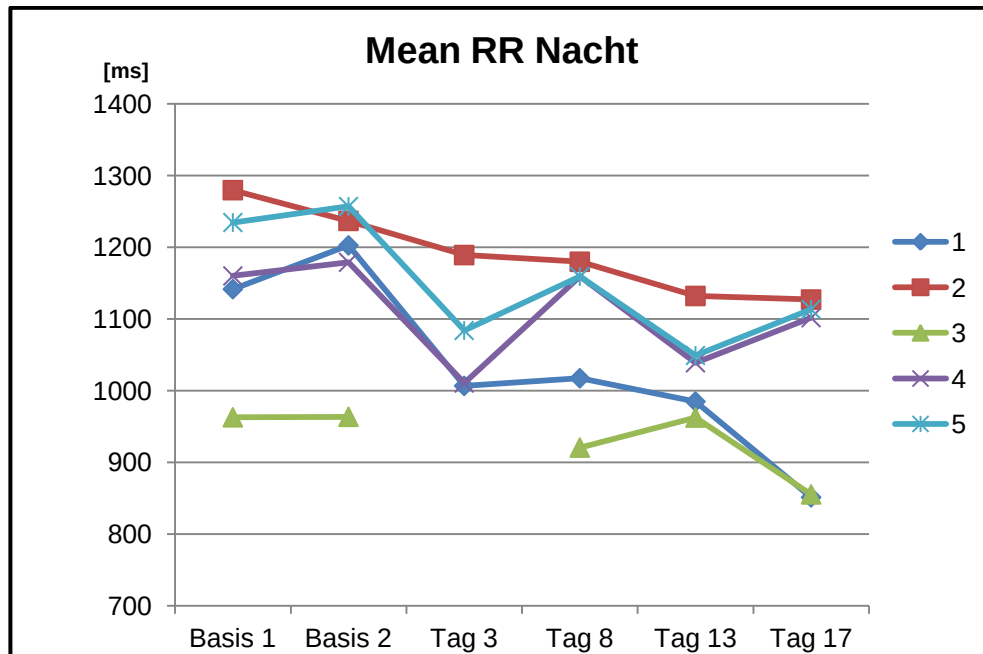


Abbildung 18: Grafische Darstellung der Mittelwerte der Probanden zu allen Messzeitpunkten

Eine tendenzielle Abnahme des RMSSD (root mean square of successive differences) Parameterwertes bei allen fünf Fallschirmspringern ist in der Abbildung 19 grafisch dargestellt.

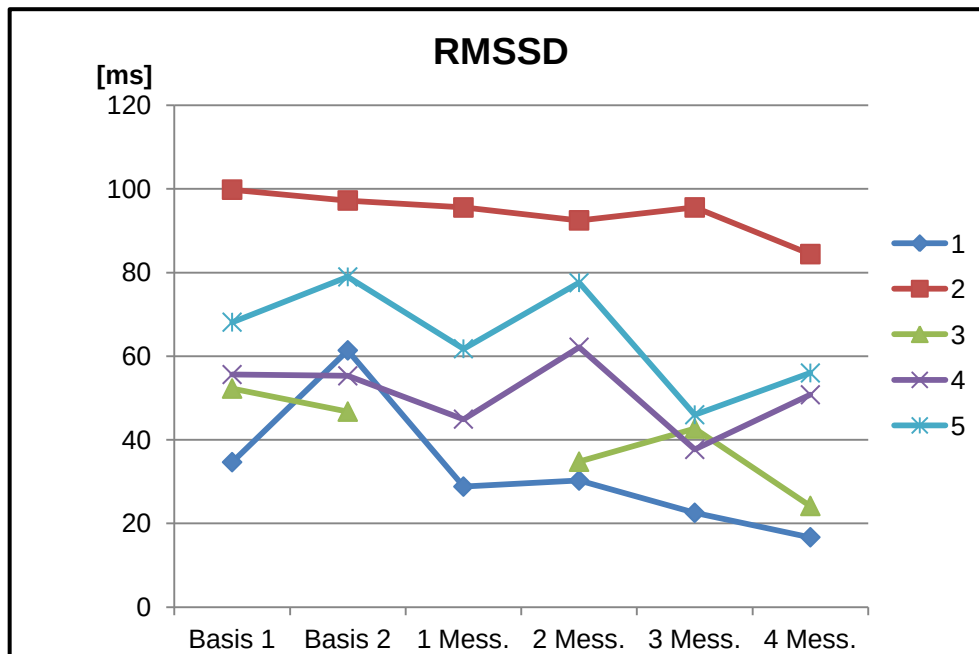


Abbildung 19: Grafische Abbildung der RMSSD-Parameterwerte der Fallschirmspringer während der Nachtruhe

Die Prozentangabe der Anzahl der benachbarten RR-Intervalle mit mehr als 50 Millisekunden Differenz wird von allen Aufzeichnungen der Nachtruhe in der Tabelle 15 dargelegt. Die individuellen Unterschiede der Teammitglieder sind in der folgenden Tabelle zu erkennen, dennoch sind bei allen Springern eine prozentuelle Abnahme gegenüber den zwei Basismessungen ersichtlich.

Tabelle 15: pNN50-Werte der Fallschirmspringer während der Nachtruhe

pNN50							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	10,69	38,62	6,31	8,38	3,01	1,28
	2	65,50	63,39	58,37	60,81	60,18	53,21
	3	24,73	22,15		10,13	17,95	4,38
	4	37,90	36,61	23,74	42,57	16,40	31,67
	5	46,28	54,22	38,66	52,89	26,28	37,42

Die folgenden Tabellen (Tab. 16 bis 20) zeigen die wichtigsten HRV-Parameter, die mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation für die Nachtruhe ermittelt wurden. Durch die Vielzahl der verwendeten Parameter wird in dem anschließenden Teil der Analysen und Ergebnisse auf die Werte näher eingegangen.

Tabelle 16: LF-Power [ms²] der Fallschirmspringer von der Nachtruhe anhand der FFT

LF-Power [ms ²]							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	1.292,38	2.666,77	1.358,62	1.691,67	925,93	710,11
	2	3.063,50	3.483,65	4.156,06	3.039,32	3.181,58	3.127,91
	3	3.046,20	1.970,58		1.513,07	2.530,18	1.216,82
	4	1.250,70	1.451,89	1.694,59	1.703,16	1.219,48	1.376,89
	5	2.700,12	2.700,89	3.324,13	3.510,63	2.024,27	2.357,80

Tabelle 17: HF-Power [ms²] während der Nachtruhe mittels FFT

HF-Power [ms ²]							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	297,45	993,83	217,75	213,32	123,81	60,74
	2	2.311,24	2.158,71	2.201,33	2.174,65	2.532,41	1.904,85
	3	774,15	722,73		339,34	490,61	149,15
	4	1.008,48	981,75	736,14	1.313,90	499,83	892,87
	5	1.238,66	1.694,41	1.035,89	1.706,86	609,55	901,75

Tabelle 18: LF-Power (n.u.) während der Nachtruhe anhand der FFT

LF-Power (n.u.)							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	81,27	72,84	86,17	88,79	88,19	92,11
	2	56,99	61,72	65,36	58,28	55,66	62,14
	3	79,72	73,15		81,66	83,74	89,06
	4	55,34	59,64	69,70	56,42	70,91	60,64
	5	68,55	61,44	76,23	67,28	76,84	72,33

Tabelle 19: HF-Power der Ruhephasen mittels der FFT

HF-Power (n.u.)							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	18,71	27,15	13,81	11,20	11,79	7,88
	2	42,99	38,25	34,62	41,70	44,31	37,84
	3	20,26	26,83		18,31	16,24	10,92
	4	44,62	40,33	30,28	43,53	29,06	39,32
	5	31,45	38,55	23,75	32,71	23,14	27,66

Tabelle 20: LF/HF-Quotient der einzelnen Probanden von der Nachtruhe mittels FFT

LF/HF-Quotient							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	4,34	2,68	6,24	7,93	7,48	11,69
	2	1,33	1,61	1,89	1,40	1,26	1,64
	3	3,93	2,73		4,46	5,16	8,16
	4	1,24	1,48	2,30	1,30	2,44	1,54
	5	2,18	1,59	3,21	2,06	3,32	2,61

Einen Überblick über die Werte, die durch das Autoregressive Modell (AR- Modell) gewonnen wurden, sollen die Tabellen (Tab. 21 bis 25) liefern. In dem Kapiteln 8.3.2 (Analyse) wird auf die Parameter und deren Ergebnisse eingegangen.

Tabelle 21: LF-Power [ms²] der Nachtruhe mittels AR-Modell

LF-Power [ms ²]							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	1.199,86	2.556,22	1.206,92	1.617,15	830,80	668,50
	2	2.914,54	3.413,98	4.041,23	2.869,28	3.077,69	2.951,26
	3	2.794,19	1.810,58		1.398,29	2.211,52	1.054,87
	4	1.070,91	1.308,85	1.471,83	1.483,50	1.016,77	1.221,39
	5	2.588,52	2.447,18	3.151,56	3.366,99	1.852,38	2.166,12

Tabelle 22: HF- Power [ms²] der Ruhephase anhand des AR-Modells

HF-Power [ms ²]							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	310,67	998,52	223,09	219,28	127,64	62,10
	2	2.304,58	2.128,62	2.169,23	2.168,60	2.531,50	1.889,92
	3	773,67	721,62		337,61	494,76	149,44
	4	1.031,99	990,96	754,97	1.318,29	504,08	912,11
	5	1.233,90	1.697,85	1.039,36	1.715,66	601,27	903,39

Tabelle 23: LF Power (n.u.) der Nachtruhe mittels AR-Modells

LF-Power (n.u.)							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	79,41	71,90	84,39	88,05	86,67	91,49
	2	55,83	61,58	65,05	56,94	54,85	60,95
	3	78,30	71,49		80,53	81,70	87,57
	4	50,90	56,89	66,08	52,92	66,84	57,22
	5	67,71	59,03	75,19	66,24	75,48	70,56

Tabelle 24: HF- Power (n.u.) der Ruhephase anhand des AR-Modells

HF-Power (n.u.)							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	20,56	28,09	15,60	11,94	13,31	8,50
	2	44,15	38,39	34,92	43,04	45,12	39,03
	3	21,68	28,49		19,44	18,28	12,41
	4	49,05	43,07	33,89	47,02	33,13	42,73
	5	32,28	40,95	24,80	33,75	24,50	29,43

Tabelle 25: LF/HF-Quotient der einzelnen Teammitglieder während der Nachtmessung (AR-Modell)

LF/HF-Quotient							
		Basis 1	Basis 2	Tag 3	Tag 8	Tag 13	Tag 17
ID	1	3,86	2,56	5,41	7,37	6,51	10,76
	2	1,26	1,60	1,86	1,32	1,22	1,56
	3	3,61	2,51		4,14	4,47	7,06
	4	1,04	1,32	1,95	1,13	2,02	1,34
	5	2,10	1,44	3,03	1,96	3,08	2,40

8.3.2 Analytische Statistik der Nachtruhe

Um die Unterschiede zu überprüfen, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Datengewinnung erfolgte aus zwei Basistestungen und vier EKG-Aufzeichnungen. Bei der sechs-stufigen Varianzanalyse wurde die Signifikanzprüfung bei vier Testpersonen angewandt, durch einen krankheitsbedingten Ausfall eines Fallschirmspringers, konnte die erste Messung bei einer Person nicht durchgeführt werden. Darum wurde eine zusätzliche einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit fünf Stufen durchgeführt, wobei die erste Aufzeichnung weggelassen wurde. Die Datenanalyse erfolgte auf Basis der Parameter der Zeit- und der Frequenzdomäne. In der Frequenzdomäne konnten mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation und dem Autoregressiven Model der Ordnung 20 die Parameter für den sechsständigen Analysebereich ermittelt werden (Kapitel 7). Die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte werden in den folgenden Tabellen (Tab. 26 bis 31) angeführt.

Tabelle 26: Einfaktorielle Varianzanalyse der Zeitdomäne (6-stufig)

Faktoren	df	F	p	ηp^2	Beobachtete Schärfe
Mean RR	5,15	9,236	0,025*	0,755	0,754
SDNN	5,15	2,307	0,187	0,435	0,287
Mean HR	5,15	6,216	0,062	0,674	0,516
RMSSD	5,15	4,626	0,058	0,607	0,558
pNN50	5,15	5,043	0,055	0,627	0,568

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 27: Einfaktorielle Varianzanalyse der Zeitdomäne (5-stufig)

Faktoren	df	F	p	ηp^2	Beobachtete Schärfe
Mean RR	4,16	8,884	0,009**	0,690	0,884
SDNN	4,16	1,220	0,345	0,234	0,202
Mean HR	4,16	7,036	0,024*	0,638	0,731
RMSSD	4,16	5,047	0,035*	0,558	0,666
pNN50	4,16	4,716	0,042*	0,541	0,626

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 28: Einfaktorielle Varianzanalyse der Frequenzdomäne (FFT, 6-stufig)

Faktoren (FFT)	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
LF Peak [HZ]	5,15	1,548	0,294	0,340	0,191
HF Peak [HZ]	5,15	0,850	0,484	0,221	0,148
LF Power [ms ²]	5,15	2,952	0,124	0,496	0,389
HF Power [ms ²]	5,15	2,390	0,175	0,443	0,306
HF Power (n.u)	5,15	3,230	0,107	0,518	0,423
LF Power (n.u)	5,15	3,233	0,106	0,519	0,423
LF/HF	5,15	1,426	0,318	0,322	0,143

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 29: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (AR, 6-stufig)

Faktoren (AR)	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
HF Peak [HZ]	5,15	0,710	0,468	0,191	0,096
LF Power [ms ²]	5,15	2,674	0,138	0,471	0,372
HF Power [ms ²]	5,15	2,318	0,182	0,436	0,297
HF Power (n.u)	5,15	2,883	0,126	0,490	0,387
LF Power (n.u)	5,15	2,885	0,126	0,490	0,388
LF/HF	5,15	1,311	0,336	0,304	0,135

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 30: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (FFT, 5-stufig)

Faktoren (FFT)	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
LF Peak [HZ]	4,16	1,031	0,390	0,205	0,153
HF Peak [HZ]	4,16	1,763	0,232	0,306	0,268
LF Power [ms ²]	4,16	1,371	0,306	0,255	0,230
HF Power [ms ²]	4,16	2,864	0,115	0,417	0,410
HF Power (n.u)	4,16	4,045	0,056	0,503	0,572
LF Power (n.u)	4,16	4,049	0,056	0,503	0,572
LF/HF	4,16	2,989	0,151	0,428	0,288

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 31: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (AR, 5-stufig)

Faktoren (AR)	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
HF Peak [HZ]	4,16	0,418	0,553	0,095	0,080
LF Power [ms ²]	4,16	1,536	0,265	0,277	0,268
HF Power [ms ²]	4,16	2,762	0,123	0,408	0,395
HF Power (n.u)	4,16	3,543	0,073	0,470	0,516
LF Power (n.u)	4,16	3,547	0,073	0,470	0,516
LF/HF	4,16	2,764	0,165	0,409	0,269

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Die Unterschiedsprüfungen in der Zeitdomäne wurden fünf- und sechsstufig durchgeführt. Bei der Prüfung mit den sechs Messzeitpunkten waren vier Fallschirmspringer beteiligt. Ein signifikanter Unterschied, in Tabelle 26 ersichtlich, konnte bei dem Faktor "Mean RR" festgestellt werden. Die Tabelle 14 und die Abbildung 18 zeigen eine Abnahme der RR-Abstände im Verlauf des Trainings gegenüber der Basismessung. Post-hoc-Analysen nach Bonferroni ergeben signifikante Unterschiede zwischen der ersten Basismessung und dem Tag 3 ($p=0,03$) und dem Tag 13 ($p=0,02$). Alle anderen möglichen Vergleiche sind nicht signifikant.

Bei den Zeitbereichswerten RMSSD und pNN50 konnten nur knapp keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Jedoch verdeutlicht die in Tabelle 15 sowie die in Grafik 19 dargestellten Ergebnisse, dass eine eindeutige Reduktion der eben genannten Werte über den Trainingsverlauf hinweg zu erkennen ist.

Die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde ohne die erste Messung des Trainingslagers durchgeführt, wodurch die Belastung der Zeitverschiebung weg fiel. Infolge konnte die Unterschiedsprüfung mit fünf Fallschirmspringern durchgeführt werden. Bei der 5-stufigen Messung (Tab. 27) konnten signifikante Unterschiede bei den Faktoren, Mean RR, Mean HR, RMSSD und pNN50 gefunden werden. Die durchschnittliche Herzfrequenz erhöhte sich im Verlauf des Trainings während alle anderen genannten Zeitbereichsparameter sanken. Post-hoc-Analysen ergeben Unterschiede beim Mean RR zwischen der ersten Basismessung und dem Tag 8 ($p=0,3$), dem Tag 13 ($p=0,1$) und dem Tag 17 ($p=0,2$). Die zweite Ausgangsmessung unterscheidet sich nicht von der ersten Aufzeichnung. Bei Parametern der Herzfrequenz ergeben die Post-hoc-Analysen Unterschiede zwischen der ersten Aufzeichnung und dem Tag 8 ($p=0,3$), dem Tag 13 ($p=0,2$) und dem Tag 17 ($p=0,3$). Beim RMSSD zeigen die Post-hoc-Analysen Unterschiede zwischen der ersten Basismessung und dem Tag 13 ($p=0,1$) und dem letzten Tag der Aufzeichnung ($p=0,1$). Post-hoc-Analysen nach Bonferroni weisen beim pNN50 Unterschiede zwischen der ersten Ausgangsmessung und dem Tag 13 ($p=0,2$) und dem Tag 17 ($p=0,09$) auf.

Die Signifikanzprüfungen die anhand der Parameter der Frequenzdomäne durchgeführt wurden, führten zu keinen signifikanten Unterschieden. Dennoch sind einige Tendenzen erkennbar (Tab. 28 bis 31). Die LF-Power und die HF-Power fielen während des Trainingslagers bei beiden Analysemethoden durch die FFT oder dem AR-Modell, des 6-stufigen Tests. Die LF-Power der FFT Analyse erreichte bei der Unterschiedsprüfung (Tab. 28) den Wert $p=0,12$ und die HF-Power $p=0,17$. Post-hoc-Analysen nach Bonferroni zeigen bei der LF-Power keinen Unterschied zwischen den Stufen. Bei der HF-

Power gibt es zwischen der ersten Basismessung und dem Tag 3 ($p=0,4$) und dem Tag 17 ($p=0,3$) einen Unterschied.

Die ermittelten Koeffizienten des Autoregressiven Modells erreichten bei der Signifikanzprüfung nahezu identische Werte (Tab. 29). Die Prüfung der Faktoren HF-Power (n.u.) und der LF-Power (n.u.) ergab ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (Tab. 28, FFT).

Beim 5-stufigen Test hat sich die HF-Power der FFT und des AR-Modells bei der Signifikanzprüfung und bei den Koeffizienten der genannten Analysen, gegenüber der 6-stufigen Varianzanalyse und dem HF-Power Wert verringert (Tab. 30 u. 31). Post-hoc-Analysen nach Bonferroni ergeben einen Unterschied zwischen der Basismessung und dem Tag 17 ($p=0,1$). Zwischen den restlichen Stufen gibt es keine Differenzen. Die HF-Power ist bei der letzten Aufzeichnung der Nachtruhe bei den meisten Probanden deutlich gesunken (Tab. 17 u. 22.).

Die LF- und HF-Power (n.u.) der FFT und die LF- und HF-Power (n.u.) des AR-Modells konnten bei der einfaktoriellen Analyse mit fünf Probanden nahezu signifikante Unterschiede erreichen. Für die LF- und der HF-Power der Fast Fourier Transformation (n.u.) ergeben die Post-hoc-Analysen nach Bonferroni einen Unterschied zwischen der Basismessung und dem Tag 13 ($p=0,7$) und dem Tag 17 ($p=0,07$). Im Vergleich zu den anderen Zeitpunkten gibt es keine Differenz. Beim Autoregressiven Model ergeben sich bei der Post-hoc-Analyse für die LF- und HF-Power (n.u.) Koeffizienten Differenzen zwischen der ersten Aufzeichnung und dem Tag 13 ($p=0,7$) und dem Tag 17 ($p=0,1$). Generell ist zu erkennen, dass die Power [ms^2] im Verlauf des Trainingscamps gefallen ist. Die LF-Power (n.u.) konnte im Gegensatz zur HF-Power (n.u.) zulegen.

8.4 Fallschirmabsprünge

In diesem Abschnitt der Arbeit werden einzelne Fallschirmabsprünge, die ausgewählt wurden, durch die Kennwerte der HRV und die Herzfrequenz beschrieben und miteinander verglichen, um Rückschlüsse für die Hypothesen gewinnen zu können. Zum Zweck der Vergleichbarkeit der verschiedenen Phasen eines Sprungablaufes (Kapitel 7, Testzeitpunkte), sind die einzelnen Abschnitte standardisiert. Bei der Auswahl der Sprünge wurde darauf geachtet, dass die Tageszeit und die Untersuchungsbedingungen möglichst ident waren.

8.4.1 Deskriptive Statistik von Fallschirmabsprüngen

Für die Auswertung erfolgte eine Gliederung der Sprünge in vier Phasen mit jeweils drei Minuten Dauer (Kapitel 7, Abb. 8):

- 1. Phase: 10 min vor dem Absprung
- 2. Phase: 5 min vor dem Absprung
- 3. Phase: Freifall und Schirmfahrt
- 4. Phase: Landung

Die Abbildung 20 beschreibt die mittleren RR-Abstände der ersten zwei Phasen, die bei dem ersten Sprung von den vier Messzeitpunkten des Trainingslagers analysiert wurden. Die Mittelwerte wurden aus den Daten von vier Fallschirmspringern errechnet.

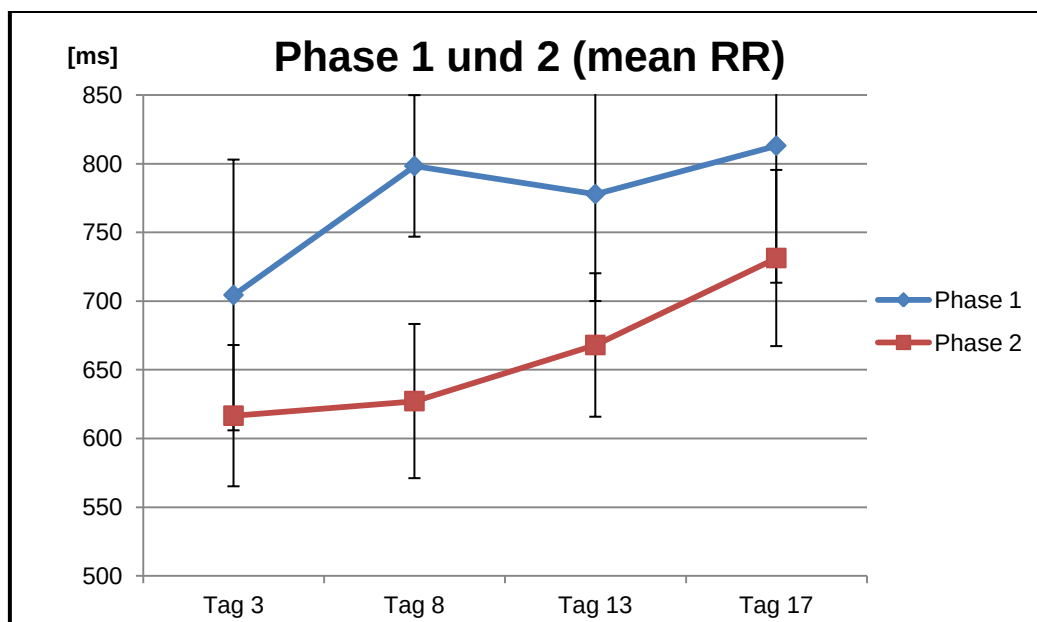


Abbildung 20: Mittelwerte der RR-Abstände von Phase 1 und Phase 2

Die durchschnittliche Herzfrequenz mit der Standardabweichung (siehe Klammern) der ersten zwei Phasen des Fallschirmsprunges an den vier Sprungtagen wird in der Tabelle 32 wiedergegeben.

Tabelle 32: Durchschnittliche Herzfrequenz der ersten zwei Phasen

Durchschnittliche Herzfrequenz		
Zeitpunkt	Phase 1 (SD)	Phase 2 (SD)
Tag 3	87 (11)	100 (7)
Tag 8	76 (5)	97 (9)
Tag 13	78 (7)	91 (7)
Tag 17	75 (9)	84 (8)

Die grafische Darstellung (Abb. 23) beschreibt den durchschnittlichen RMSSD-Kennwert der ersten Sprünge, der an den vier Sprungtagen erstellt wurde. Der Mittelwert wurde aus den Daten von vier Fallschirmspringern der ersten zwei Phasen bestimmt.

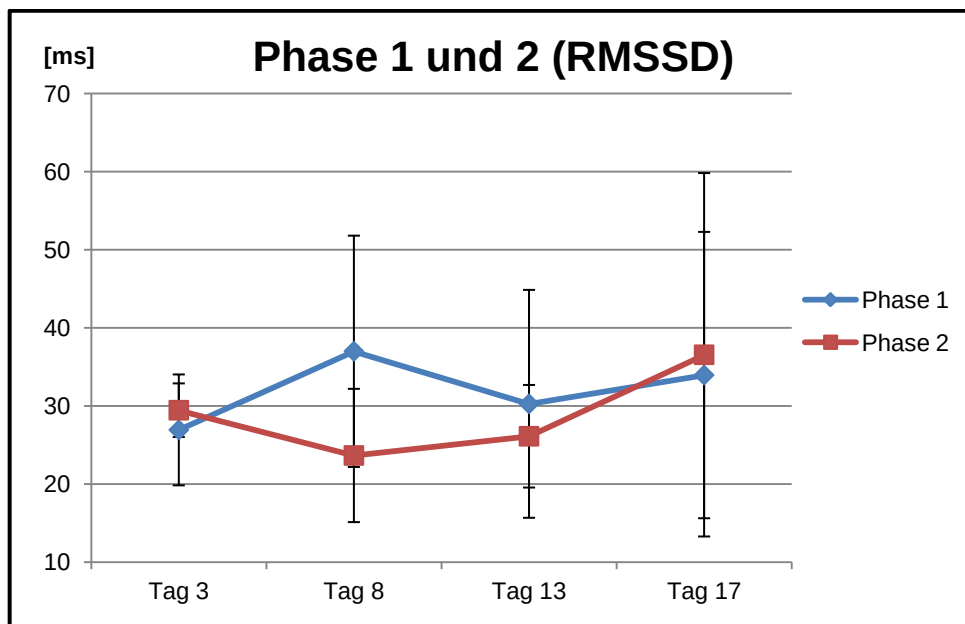


Abbildung 21: Mittelwert des RMSSD-Zeitbereichsparameters der ersten beiden Phasen

Die Veränderung der mittleren LF-Power mit der Standardabweichung (Klammern) der ersten zwei Phasen wird in der Tabelle 33 gezeigt. Bei dieser Tabelle und der Abbildung 22 handelt es sich wiederum um den ersten Sprung, der jeweils an den vier Sprungaufzeichnungstagen absolviert wurde.

Tabelle 33: Mittelwerte der LF-Power [ms^2] der zwei Phasen im Verlauf des Trainingslagers

LF-Power [ms^2]		
Zeitpunkt	Mittelwert Phase 1 (SD)	Mittelwert Phase 2 (SD)
Tag 3	1.301,28 (252)	1.185,93 (551)
Tag 8	1.478,83 (813)	1.353,15 (664)
Tag 13	1.120,04 (225)	1.022,96 (446)
Tag 17	1.602,34 (975)	2.067,14 (1238)

Die Grafik 22 zeigt den Verlauf der zwei Analysebereiche, die zu den vier Messzeitpunkten beim ersten Sprung des Tages aufgezeichnet wurden.

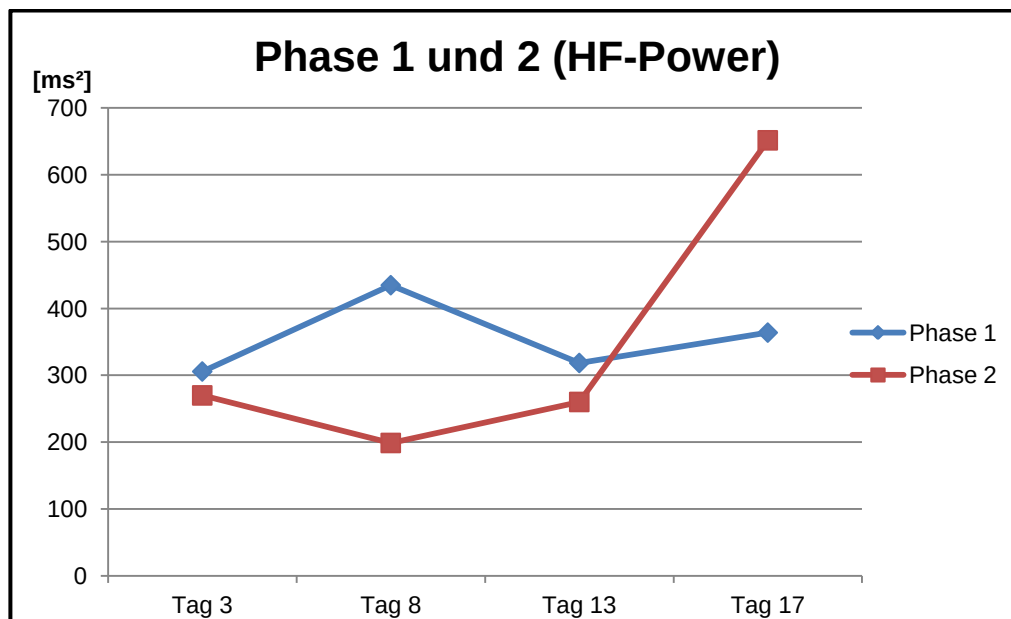


Abbildung 22: Grafische Darstellung der mittleren HF-Power im Verlauf des Trainingslagers

Die folgenden deskriptiven Tabellen und Grafiken spiegeln den Sprung und den dreiminütigen Bereich nach der Landung wider. Für die Phasen drei und vier wurden die Fallschirmsprünge ausgewählt, die kurz nach der Mittagszeit getätigt wurden. Bei der Untersuchung handelt es sich um "Free Fly-Sprünge", die an den vier Testzeitpunkten

anhand von drei Probanden beschrieben werden. Die ersten zwei Phasen werden im analytischen Teil anhand von Testtabellen wiedergegeben.

Die grafische Darstellung in Abbildung 23 zeigt die LF- und HF-Power von vier Fallschirmsprüngen, die den freien Fall und die Schirmfahrt beinhaltet. Die beiden Kurven der drei Testpersonen, zeigen einen eindeutigen Trend im Verlauf des Trainingslagers.

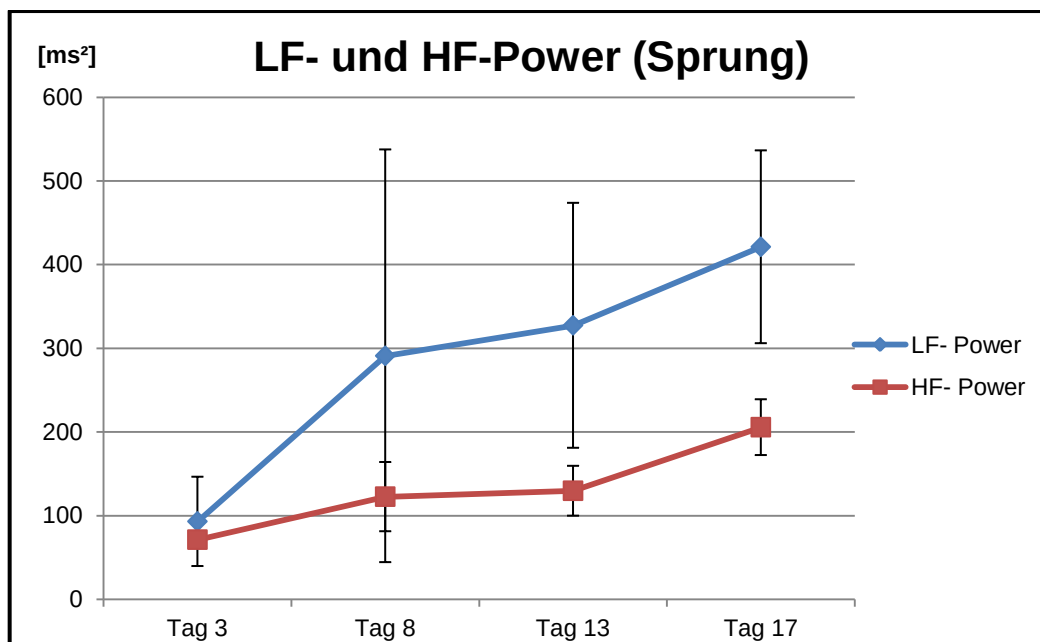


Abbildung 23: Mittelwerte der LF- und HF-Power in Phase 3

Die mittleren Abstände der RR-Intervalle mit der Standardabweichung (in Klammer) werden in Tabelle 34 dargestellt. Die letzte Phase spiegelt die Zeit nach der Landung wider.

Tabelle 34: Mittelwert der RR-Abstände nach der Landung

Mean RR Phase 4 [ms]	
Zeitpunkt	Mittelwert (SD)
Tag 3	461,20 (57)
Tag 8	514,20 (55)
Tag 13	541,45 (51)
Tag 17	505,00 (27)

Die folgenden zwei Tabellen und zwei Grafiken zeigen vier Sprünge mit allen vier Analyseteilen (Phase 1 bis 4). Bei drei von den vier Sprüngen handelt es sich um den jeweils Ersten des Tages, beim vierten Sprung um den Zweiten des Tages. Um die

Entspannung und die Sprungsequenzen zu vergleichen, wird die dreiminütige Basismessung, die am Morgen vor dem Aufwachen erstellt wurde, ebenfalls mit einbezogen. Zu den ersten beiden Messzeitpunkten wurde ein Wingsuitsprung durchgeführt. Der vorletzte und letzte Tag der Aufzeichnung repräsentiert einen Freeflysprung. Die Abbildung 26 zeigt den grafischen Verlauf der Mean RR über die vier Phasen.

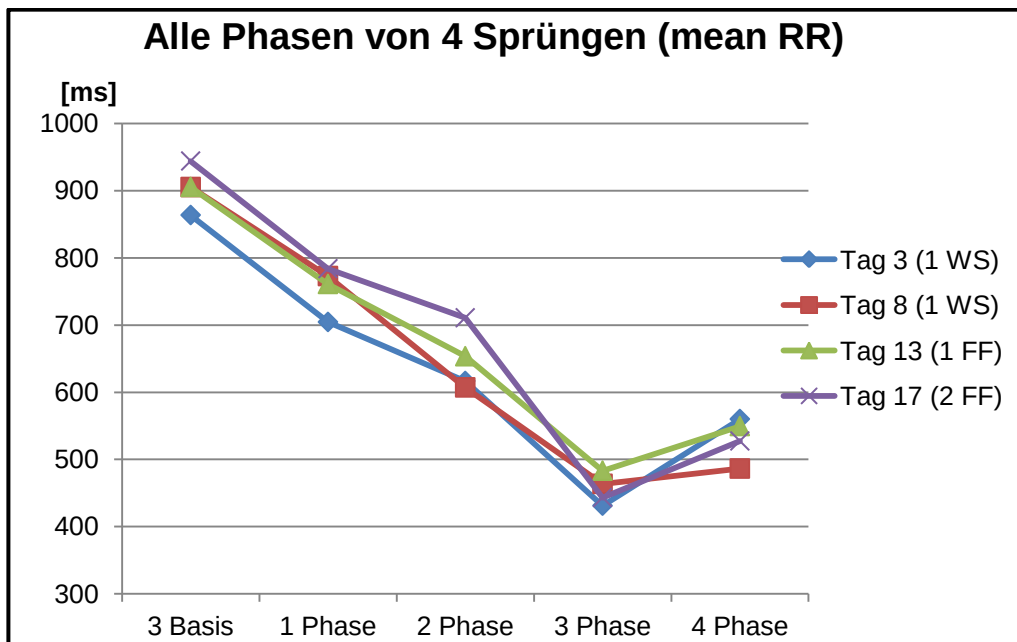


Abbildung 24: 4 Sprünge und 4 Phasen

In der Tabelle 39 sind die RMSSD-Kennwerte mit der Standardabweichung (Klammern) angegeben.

Tabelle 35: RMSSD-Kennwert von vier Sprüngen und allen Phasen

RMSSD [ms]					
Zeitpunkte	3 Basis	1 Phase	2 Phase	3 Phase	4 Phase
Tag 3 (1 WS)	51,97 (18)	26,91 (7)	29,44 (3)	28,24 (8)	25,80 (6)
Tag 8 (1 WS)	33,52 (7)	32,75 (15)	20,83 (9)	25,92 (9)	23,41 (9)
Tag 13 (1 FF)	42,62 (12)	29,17 (12)	24,69 (6)	29,29 (16)	20,83 (7)
Tag 17 (2 FF)	45,12 (19)	29,53 (18)	32,01 (22)	23,23 (11)	14,68 (10)

Die einzelnen Mittelwerte von allen Abschnitten der LF-Power sind in der Tabelle 36 ersichtlich. Die Standardabweichungen befinden sich in den angeführten Klammern.

Tabelle 36: LF-Power von vier Sprüngen und allen Abschnitten

LF Power [ms ²]					
Zeitpunkte	3 Basis	1 Phase	2 Phase	3 Phase	4 Phase
Tag 3 (1 WS)	3.529,51 (3131)	1.301,28 (252)	1.185,93 (551)	266,33 (229)	447,29 (290)
Tag 8 (1 WS)	1.737,72 (1041)	1.279,41 (833)	1.140,00 (747)	255,48 (290)	342,43 (353)
Tag 13 (1 FF)	3.604,45 (1293)	1.144,41 (202)	1.022,86 (386)	732,17 (732)	297,55 (270)
Tag 17 (2 FF)	1.986,71 (1076)	1.372,32 (988)	1.808,89 (1218)	379,83 (210)	353,82 (381)

Die grafische Darstellung der Mittelwerte von der HF-Power der dreiminütige Basismessung und den vier Sequenzen des Sprungablaufes sind in der Abbildung 27 offenbart.

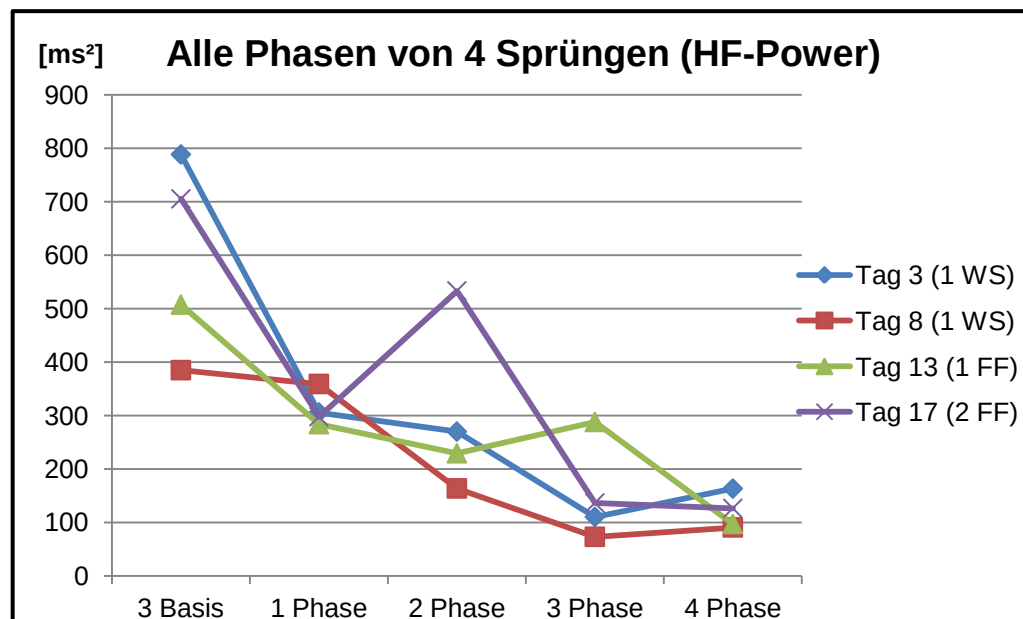


Abbildung 25: HF-Power von vier Sprüngen und allen Analyseteilen

8.4.2 Analytische Statistik der Fallschirmabsprünge

Die Unterschiede wurden mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung in vier Stufen geprüft. Die Analysebereiche, die jeweils drei Minuten umfassen, wurden auf Basis der Faktoren der Zeitdomäne und der Frequenzdomäne (AR-Modell) untersucht. In den folgenden Tabellen werden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte berichtet.

Tabelle 37: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 1 (4-stufig)

Faktoren	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
Mean RR	3,9	2,046	0,238	0,406	0,201
SDNN	3,9	1,264	0,348	0,297	0,173
Mean HR	3,9	2,513	0,198	0,456	0,234
RMSSD	3,9	1,162	0,374	0,279	0,169
pNN50	3,9	1,103	0,386	0,269	0,148
LF Peak	3,9	1,620	0,285	0,351	0,186
HF Peak	3,9	0,214	0,743	0,067	0,067
LF Power [ms ²]	3,9	0,508	0,567	0,145	0,088
HF Power [ms ²]	3,9	0,853	0,460	0,221	0,127
LF Power (n.u.)	3,9	0,338	0,641	0,101	0,074
HF Power (n.u.)	3,9	0,340	0,640	0,102	0,074
LF/HF	3,9	0,170	0,748	0,054	0,062

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 38: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 2 (4-stufig)

Faktoren	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
Mean RR	3,9	6,509	0,056	0,685	0,546
SDNN	3,9	1,326	0,334	0,306	0,142
Mean HR	3,9	6,503	0,045*	0,684	0,611
RMSSD	3,9	1,125	0,371	0,273	0,126
pNN50	3,9	1,254	0,346	0,295	0,131
LF Peak	3,9	2,959	0,184	0,497	0,229
HF Peak	3,9	1,000	0,391	0,250	0,111
LF Power [ms ²]	3,9	1,578	0,293	0,345	0,173
HF Power [ms ²]	3,9	0,925	0,408	0,236	0,107
LF Power (n.u.)	3,9	0,445	0,592	0,129	0,083
HF Power (n.u.)	3,9	0,444	0,593	0,129	0,083
LF/HF	3,9	1,351	0,329	0,311	0,183

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 39: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 3 (4-stufig)

Faktoren	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
Mean RR	3,6	1,796	0,286	0,473	0,185
SDNN	3,6	0,928	0,467	0,317	0,126
Mean HR	3,6	1,757	0,293	0,468	0,178
RMSSD	3,6	1,698	0,309	0,459	0,156
pNN50	3,6	1,533	0,338	0,434	0,131
HF Peak	3,6	2,778	0,193	0,581	0,249
LF Power [ms ²]	3,6	5,994	0,109	0,750	0,360
HF Power [ms ²]	3,6	7,688	0,068	0,794	0,502
LF Power (n.u.)	3,6	1,448	0,352	0,420	0,116
HF Power (n.u.)	3,6	1,389	0,360	0,410	0,114
LF/HF	3,6	1,435	0,353	0,418	0,116

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Tabelle 40: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 4 (4-stufig)

Faktoren	df	F	p	η^2	Beobachtete Schärfe
Mean RR	3,6	4,510	0,136	0,693	0,309
SDNN	3,6	0,649	0,513	0,245	0,082
Mean HR	3,6	3,745	0,170	0,652	0,252
RMSSD	3,6	0,256	0,777	0,114	0,070
pNN50	3,6	0,084	0,842	0,040*	0,055
LF Power [ms ²]	3,6	1,200	0,391	0,375	0,124
HF Power [ms ²]	3,6	0,794	0,495	0,284	0,102
LF Power (n.u.)	3,6	0,559	0,563	0,218	0,082
HF Power (n.u.)	3,6	0,564	0,561	0,220	0,083
LF/HF	3,6	0,801	0,494	0,286	0,104

Berechnung unter Verwendung von Alpha = 0,05

Es konnte nur ein signifikanter Unterschied bezüglich der vier Phasen festgestellt werden. Kurz vor dem Absprung (Phase 2), wurde bei dem Faktor Mean HR (Tab. 38) ein signifikanter Unterschied festgestellt. Post-hoc-Analysen ergeben einen signifikanten Unterschied zwischen dem Tag 13 und dem Tag 17 ($p= 0,03$). Alle anderen möglichen Vergleiche sind nicht signifikant. Die abfallende Herzfrequenz, im Verlauf des Trainingscamps, ist ebenso in der ersten Phase erkennbar.

Dennoch ist bei einigen Parametern eine Tendenz feststellbar. In den Phasen 1 und 2 (Tab. 36) ist zu erkennen, dass die mittleren RR-Abstände (Abb. 20) im Verlauf des Trainings stiegen und das Signifikanzniveau nur knapp nicht erreichten. Beim RMSSD,

einem weiteren Zeitbereichsparameter, zeichnet sich ein leichter Aufwärtstrend ab (Abb. 21).

Die Frequenzdomäne der LF- und HF-Power zeigt bei fast allen vier Bereichen einen Anstieg (Abb. 22 u. 23, Tab. 33). Die Auswertung der Sprünge (Phase 3) ergab die größten Unterschiede für die LF-Power ($p=0,1$) und für die HF-Power ($p=0,06$ in Tab. 39).

9 Diskussion

Ziel dieser Studie war es, physiologische Kennwerte der Herzratenvariabilität (HRV) und der Herzfrequenz (Hf) zu finden, um auf verschiedene Anpassungseffekte während eines 19-tägigen Fallschirmsprungtrainingslagers, das eine Zeitverschiebung von sechs Stunden beinhaltete, Rückschlüsse ziehen zu können. Zur Erhebung des psychophysischen Zustandes der Fallschirmspringer wurden zusätzlich zwei quantitative Messinstrumente ausgewählt, um die subjektiven Empfindungen der Sportler festzuhalten. Bereits im Vorfeld konnte man vermuten, dass die Wechselbeziehung zwischen Erholung und Belastung eine wesentliche Rolle spielen. Auf Grund der psychischen und physischen Beanspruchung, die mit fortschreitender Dauer des Trainingslagers stieg, konnten mit Hilfe der Kennwerte der HRV und der HF, verschiedene Effekte aufgezeigt werden. Die Fragestellungen, die die Grundlage der Untersuchung darstellten, werden im Anschluss diskutiert.

Hypothese 1: Es besteht eine signifikante Veränderung zwischen den Erholungs- und Belastungsfaktoren des EBFs mit Fortdauer des Trainingscamps.

Der Fragebogen erfasste die bedarfsorientierten Belastungs- und Erholungsaktivitäten der jeweils letzten drei Tage und Nächte der Fallschirmspringer. Grundsätzlich konnte die Hypothese nicht bestätigt werden, einige Ergebnisse des Fragebogens stellten sich jedoch als sehr interessant heraus. Am auffallendsten bei diesem Test sind die Ergebnisse der ersten Erhebung, die kurz nach der Ankunft in Florida durchgeführt wurden. Die vier Dimensionen waren zu diesem Zeitpunkt vor allem durch die Strapazen der Reise und die Zeitverschiebung gekennzeichnet. Die genaue Betrachtung der Ergebnisse lässt vermuten, dass die Mehrheit der Probanden durch den Jet Leg sehr beansprucht war. Der Basistest und der letzte Test, der am Ende des Trainingslagers durchgeführt wurde zeigten jeweils ähnliche Werte. Im Bereich der Erholung verbesserten sich mit Ende des Trainingslagers einige Kennwerte. Die Subdimension Energielosigkeit/Unkonzentriertheit zeigte zwischen Anfang und Ende des Trainingslagers einen signifikanten Unterschied. Der Autor Birrer (2004) nimmt an, dass bei Personen die sich energielos fühlen die Wahrnehmung so gesteuert wird, dass sich der Fokus dieser Personen auf weitere Hinweisreize ihrer Antriebslosigkeit richten, mit dem Resultat, dass sich diese noch energieloser fühlen. Das kann eine negative Spirale nach sich ziehen. Die Interpretation des Fragebogens kann durch die Kennwerte, die der Test für die Beanspruchung, die sportspezifische Belastung, die Erholung und die sportspezifische Erholung liefert, erfolgen. Aus dieser Sichtweise ist bei drei Testzeitpunkten auffallend, dass sich bereits bei der Basismessung die Erholungswerte teilweise unter dem Idealwert

vier befinden. Für eine genaue Analyse dieser Situation, die durch individuelle Unterschiede gekennzeichnet ist, wären Einzelgespräche notwendig gewesen (Kellmann, 2000).

Hypothese 2: Es besteht eine signifikante Veränderung zwischen den aktuellen Befindlichkeitsskalen mit Fortdauer des Trainingscamps.

Bei der Prüfung der Ergebnisse des aktuellen Stimmungs- und Befindlichkeitstests konnten keine signifikanten Unterschiede der fünf Messzeitpunkte festgestellt werden. Die Hypothese muss daher verworfen werden. Die kleine Stichprobe und die individuellen Unterschiede innerhalb des Teams könnten eine Ursache für die nicht signifikanten Ergebnisse sein. Außerdem könnte sich die Wettersituation, auf Grund derer im letzten Drittel des Trainingslagers deutlich weniger Sprünge absolviert werden konnten auf die Ergebnisse ausgewirkt haben. Die Erholungsphasen am Ende waren daher größer, das die subjektiv empfundene Stimmung und Befindlichkeit beeinflusst haben könnte.

Hypothese 3: Es bestehen signifikante Unterschiede in der Herzfrequenz bezüglich psychischer und physischer Beanspruchung mit Fortdauer des Trainingscamps

Durch die Analyse der Kennwerte, die während der Nachtruhe erhoben wurden, kann die oben angeführte Hypothese in mehreren Bereichen bestätigt werden. Bei allen sechs Messzeitpunkten, die nur bei vier Probanden erhoben wurden, konnte ein signifikanter Unterschied bei der Mittelwertsmessung der Interbeatintervalle festgestellt werden. Bei der ersten Messung, die in Florida stattfand, sank bei drei Probanden der Abstand der Mean RR gegenüber den Basismessungen deutlich. Bei der zweiten Ruhemessung, die beim Trainingslager durchgeführt wurde, stiegen die RR Abstände wieder leicht an. Demnach ist zu vermuten, dass sich drei Teilnehmer von der Reise und der Zeitverschiebung noch nicht vollständig erholt hatten. Studien belegen, dass sich die physiologischen Kennwerte erst nach fünf bis sechs Tagen, bei einer westlichen Zeitverschiebung von sechs Stunden, normalisieren. Es wurden bei diesen Untersuchungen jedoch individuelle Unterschiede zwischen den Athleten/innen festgestellt (Avidan & Colwell, 2010; Lemmer, Kern, Nold & Lohrer, 2002).

Noch deutlichere Ergebnisse wurden bei der einfaktoriellen Varianzanalyse mit fünf Probanden und ebenso vielen Messzeitpunkten gefunden. Durch den Wegfall der ersten Messung (Jet Lag) und die Erhöhung der Probandenanzahl konnte ein noch größerer Effekt in den Kennwerten Mean RR ($p=0,009$) und Mean HR ($p=0,024$) erzielt werden. Die Herzfrequenz wird im Sport seit vielen Jahren zur Belastungssteuerung und Beanspruchungskontrolle eingesetzt. Vor allem die Ruheherzfrequenz stellt im Sport einen einfachen, aber wirksamen Kontrollparameter zur Erfassung der Erholung

beziehungsweise der Belastung dar (Hottenrott, 2009). Die Ergebnisse bezüglich der Herzfrequenz in Ruhe und deren Anstieg im Verlauf des Trainingslagers lassen vermuten, dass die Belastungen und die Beanspruchung gegen Ende anstiegen. Die Ruhe-Herzfrequenz wird von Hottenrott (2011) als integrierte Zustandsgröße der sympathikovagalen Aktivität beschrieben. Die Herzfrequenz in Ruhe ist Ausdruck des zu einem beliebigen Zeitpunkt bestehenden instantanen Gleichgewichts zwischen efferenter Sympathikus- und Vagusaktivität (Hottenrott, 2011). Wie im Kapitel 4.3.2 (Beanspruchung-Ermüdung-Wohlbefinden) beschrieben ist, wird nach Bossmann (2012) eine zehnprozentige Abweichung der Herzfrequenz in Ruhe als kritisch erachtet. Demnach sind die Fallschirmspringer gegen Ende des Trainings überbeansprucht. Die deutlichen Erhöhungen der Ruheherzfrequenz sind bei den letzten beiden Messungen ersichtlich.

Hypothese 6: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Entspannungsbedingungen und des Fallschirmsprunges bezüglich der Herzfrequenz.

Bei den Fallschirmabsprüngen zeigte sich kurz vor dem Absprung ein signifikanter Unterschied in der Herzfrequenz. Im Gegensatz zur Nachtruhe, bei der die Herzfrequenz anstieg, sank sie bei den Sprüngen im Verlauf des Trainings. Dieser Effekt lässt vermuten, dass die Anspannung kurz vor dem Absprung, mit steigender Sprunganzahl, immer mehr nachgelassen hat. In der ersten Phase ist die Herzfrequenz ebenfalls gesunken, ein signifikanter Unterschied konnte aber nicht festgestellt werden. Eine vergleichbare Studie (Hynynen et al., 2009) stellte signifikante Unterschiede in der Herzfrequenz zwischen Novizen und Experten kurz vor dem Absprung, während des Sprungs und kurz nach der Landung fest. Die Herzrate der Novizen, rund um den Sprung, war im Vergleich zu den Experten/innen höher. Das ließ die Autoren vermuten, dass es für die Anfänger/innen ein stressvolleres Ereignis sei und dies eine höhere Aktivierung des Sympathikus zu Folge hatte (Hynynen et al., 2009). Diese Einschätzung würde für gegenständliche Untersuchung bedeuten, dass die Senkung der Herzfrequenz kurz vor dem Absprung im Verlauf des Trainingslagers, eine Anpassung beziehungsweise eine Senkung des Stresslevels zur Folge hatte. Während des Sprungs und kurz nach der Landung konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Herzfrequenz diagnostiziert werden. Da die Sprünge immer verschiedene Aktionen beinhalteten und somit unterschiedliche Untersuchungsbedingungen herrschten, war der Vergleich der Herzfrequenz schwierig.

Hypothese 4: Es bestehen signifikante Unterschiede in den HRV-Parametern bezüglich psychischer und physischer Beanspruchung mit Fortdauer des Trainingscamps

Bei den Nachtmessungen konnten in Bezug auf den Zeitbereichsparameter RMSSD und den pNN50 signifikante Unterschiede durch die einfaktorielle Varianzanalyse mit fünf Stufen festgestellt werden. Die Analyse, die alle Messungen von vier Probanden beinhaltet, konnte das Signifikanzniveau von $p < 0,05$ knapp nicht erreichen. Aufgrund der Minderung der RMSSD Werte, die als Indikatoren einer veränderten vagalen Regulationsleistung gelten, kann mit zunehmender Dauer des Trainingscamps von einer hohen psychophysischen Belastung ausgegangen werden (Hottenrott, 2009).

Unterstützt wird diese These von weiteren Parametern der Frequenzanalyse, die trotz der nicht signifikanten Ergebnisse Tendenzen erkennen ließen. Durch die FFT und das AR-Spektrum konnte bei den Faktoren LF-Power und HF-Power eine Abnahme der Ruhemessungen festgestellt werden. In der Studie von (Hottenrott & Hoos, 2006) wurden die Zusammenhänge zwischen den HRV-Parametern und der Erholung beschrieben. Demnach kann das Verhalten der Herzfrequenz nach Belastungsende vor allem auf die sich erholende efferente vagale Aktivität zurückgeführt werden. Diese nähert sich im Laufe der kurz-, mittel- und langfristigen Erholung (5 min - 72 h) erst langsam wieder dem Ausgangsniveau vor der Belastung an. Die Art der Erholung, die Trainingsdauer, die Trainingsmethode und der Trainingszustand beeinflussen vor allem den Wiederanstieg des parasympathisch modulierten HF-Bandes. (Kaikkonen, Rusko & Martinmäki, 2008; Martinmäki & Rusko, 2008; Mourot, Bouhaddi, Tordi, Rouillon & Regnard, 2004) Im Verlauf der langfristigen Erholungsphase (24 - 72 h) erfolgt, in Abhängigkeit der genannten Einflussgrößen, eine Annäherung der spektralen Gesamtleistung und der prozentualen HF-Leistung an das Ausgangsniveau. Es werden die Werte im Sinne eines vagalen Reboundeffektes zum Teil sogar übertroffen (Hottenrott & Hoos, 2006; Mourot et al., 2004).

Bei der gegenständlichen Untersuchung haben die Probanden bei allen vier Messungen, die in Amerika aufgezeichnet wurden, das Ausgangsniveau (Baseline in Österreich 3 Wochen vor dem Camp) in den HRV-Parametern nicht wieder erreicht. Ermüdungserscheinungen, Leistungseinbußen oder erste Symptome eines Übertrainings können durch fehlende Vergleichswerte der HRV nicht beurteilt werden. Eine vorübergehende Ermüdung und Belastungserscheinungen in Abhängigkeit der Sprunganzahl und der Zeit, können durch HRV-Parameter ersichtlich gemacht werden.

Hypothese 5: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Entspannungsbedingungen und des Fallschirmsprunges bezüglich der HRV-Parameter.

Bei der Prüfung der Frequenzdomäne konnten bei den vier Phasen der Sprünge keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Jedoch wurde beim RMSSD Parameter eine Zunahme in der ersten und zweiten Sprungphase im Verlauf des Trainings beobachtet. Durch die, mit steigender Sprunganzahl zunehmenden Erhöhung der HRV, kann man auf eine Vergrößerung des parasympathischen Anteils schließen. Aufgrund des physiologischen Musters könnte man davon ausgehen, dass die mentale und physische Belastung mit steigender Sprunganzahl nachließ (Hynynen et al., 2009). In der Untersuchung von Hottenrott (2011), die sich mit HRV- Biofeedback beschäftigte wird beschrieben, dass sich die Aktivierung des parasympathischen Anteils, mittels Entspannung und bewusster, langsamer und tiefer Atmung, in Form einer erhöhten Herzratenvariabilität äußert. Betrachtet man die logarithmische HF-Power in Phase 3 des Sprunges, erkennt man eine Steigerung zwischen erster und letzter Messung. Die vermehrte parasympathische Tätigkeit, die durch einige Parameter der HRV bei den einzelnen Sprungphasen beobachtet werden konnte, weist darauf hin, dass die Stresssituationen und die mentalen Belastungen abgenommen haben könnten (Hottenrott, 2011).

9.1 Schlussfolgerungen

Die geringe Anzahl der Probanden führte dazu, dass die Hypothesen nicht immer eindeutig bestätigt werden konnten, dennoch war in einigen Fällen ein signifikanter Unterschied festzustellen. Es wurden anhand der HRV-Kennwerte Tendenzen festgestellt, die bei einer größeren Stichprobenanzahl eventuell zu eindeutigeren Ergebnissen geführt haben könnte.

Die Effektgrößen fallen häufig sehr hoch aus. Durch die kleine Testgruppe und deren Datenausreißer konnten bei den Korrelationsprüfungen (Pearson und Spearman) zwischen den Fragebögen und den HRV-Werten geringe Zusammenhänge gefunden werden, daher wurde auf eine Darstellung in der gegenständlichen Arbeit verzichtet.

Bei der Ausführung der untersuchten Sprünge erfolgte keine Standardisierung. Um die Sequenzen des freien Falls vergleichen zu können, wären standardisierte Vorgaben sowie Sprünge mit identischen Aufgaben von Nöten gewesen. Die Anzahl der getätigten Sprünge im Tages- und Trainingsverlaufs variierte auf Grund des Wetters, was den Vergleich zwischen den einzelnen Sprüngen und den Testzeitpunkten erschwerte. Darum wurden nur Sprünge ausgewählt, die ähnliche Bedingungen aufzuweisen hatten und zur selben Tageszeit durchgeführt wurden. Durch die Berücksichtigung der genannten Bedingungen konnten nicht immer alle Probanden in die Analysen einbezogen werden.

Die dreiminütigen Basismessungen wurden im Nachhinein anhand der EKG-Aufzeichnungen ausgewählt, wodurch es teilweise zu großen Standardabweichungen kam. Um die Abweichungen geringer zu halten, wäre eine standardisierte Vorgabe von Vorteil gewesen.

Trotz der geringen Probandenanzahl konnte eine Überbeanspruchung und somit nicht ausreichende Regenerationszeiten durch die Zeitbereichsparameter und teilweise durch die Kennwerte der Spektralanalyse festgestellt werden. Des Weiteren gibt es Hinweise hinsichtlich einer Reduktion des Stresslevels mit zunehmender Sprunganzahl. Demnach können durch Kennwerte der HRV Rückschlüsse auf den Stressfaktor, die Ermüdung, die Belastung und auf das Wohlbefinden gezogen werden. Um aussagekräftigere HRV-Parameter für die sportpsychologische Diagnostik zu erhalten sind weitere Untersuchungen notwendig.

Literaturverzeichnis

Anfilogoff, R., Hale, P.J., Nattrass, M., Hammond, V.A. & Carter, J.C. (1987). Physiological response to parachute jumping. *British medical journal (Clinical research ed)*, 295 (6595), 415.

Appelhans, B.M. & Luecken, L.J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of General Psychology*, 10 (3), 229–240.

Avidan, A. & Colwell, C. (2010). Jet lag syndrome: circadian organization, pathophysiology, and management strategies. *Nature and Science of Sleep*, 187.

Birrer, D. (2004). Einsatz psychometrischer Instrumente in der Übertrainingsdiagnostik. *Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 52 (2), 57–61.

Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D. & Aubert, A.E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 42 (9), 709–714.

Bossmann, T. (2012). Auswirkungen eines Ultralangstreckenlaufs auf ausgewählte physiologische und psychologische Parameter als mögliche Marker von Überbelastungen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 60 (1), 21–25.

Breivik, G., Roth, W.T. & Erik Jørgensen, P. (1998). Personality, psychological states and heart rate in novice and expert parachutists. *Personality and Individual Differences*, 25 (2), 365–380.

Davis IV, H., Orzeck, T. & Keelan, P. (2007). Psychometric item evaluations of the Recovery-Stress Questionnaire for athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 8 (6), 917–938.

Fenz, W.D. & Epstein, S. (1967). Gradients of Physiological Arousal in Parachutists as a Function of an Approaching Jump. *Psychosomatic Medicine*, 29 (1), 33–51.

Fenzl, M. & Schlegel, C. (2010). Herzratenvariabilität - Diagnosemittel für die Gesundheit. Altersbezogene Effektgrößen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 58 (4), 134–140.

Finkenzeller, T., Doppelmayr, M. & Amesberger, G. (2012). Herzfrequenzvariabilität als Indikator des Aufmerksamkeitsfokus bei Golfern unterschiedlichen Leistungsniveaus. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 19 (1), 26–36.

Friedrich, W. (2007). *Optimales Sportwissen. [Grundlagen der Sporttheorie und Sportpraxis für die Schule]* (2. Aufl.). Balingen: Spitta-Verl.

- González-Boto, R., Salguero, A., Tuero, C., González-Gallego, J. & Márquez, S. (2008). Monitoring the effects of training load changes on stress and recovery in swimmers. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 64 (1), 19-26.
- Haarmann Andrea (2007). *Der Einsatz psychophysiologischer Variablen bei der adaptiven Automatisierung am Beispiel einer Flugsimulationsaufgabe*. Wissenschaftliche Abschlussarbeit. Wuppertal: Bildungswissenschaften, Bergischen Universität Wuppertal.
- Hackfort, D. & Schlattmann, A. (1995). *Die Stimmungs- und Befindensskalen. (SBS)* (Arbeitsinformation Sportwissenschaft, 7). Neubiberg: Inst. für Sportwissenschaft und Sport.
- Hilz, M.J. & Dütsch, M. (2005). Methoden zur quantitativen Untersuchung des autonomen Nervensystems. *Der Nervenarzt*, 76 (6), 767–780.
- Hon, E.H. (1958). The electronic evaluation of the fetal heart rate. preliminary report. *American Journal of Ostetrics and Gynecology*, 75 (6), 1215–1230.
- Horn, A. (2004). *Diagnostik der Herzfrequenzvariabilität in der Sportmedizin. Rahmenbedingungen und methodische Grundlagen*: Ruhr-Universität Bochum, Universitätsbibliothek.
- Hottenrott, K. (2004). *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport. Symposium am 8. November 2003 in Halle (Saale)*. Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K. (Hrsg.) (2006). *Herzfrequenzvariabilität. Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin ; internationales Symposium am 5. November 2005 in Halle (Saale)* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 162). Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K. (2009). *Herzfrequenzvariabilität: Risikodiagnostik, Stressanalyse, Belastungssteuerung. Internationales Symposium am 1. November 2008 in Halle (Saale)*. Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K. (2011). *Herzfrequenzvariabilität. Gesundheitsförderung, Trainingssteuerung, Biofeedback: internationales Symposium vom 29. und 30. Oktober 2010 in Halle (Saale)*. Hamburg: Czwalina Verlag.
- Hottenrott, K. & Hoos, O. (2006). Einführung in das Assessmentverfahren der Herzfrequenzvariabilität. In, *Assessmentverfahren in Gesundheitssport und Bewegungstherapie: Messen, Testen, Beurteilen, Bewerten ; Jahrestagung der Dvs-Kommission Gesundheit vom 23. - 24. September 2004 in Saarbrücken* (S. 170–182): Czwalina; Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft / Kommission Gesundheit.

- Hynynen, E., Konttinen, N. & Rusko, H. (2009). Heart rate variability and stress hormones in novice and experienced parachutists anticipating a jump. *Aviation, space, and environmental medicine*, 80 (11), 976–980.
- Kaikkonen, P., Rusko, H. & Martinmäki, K. (2008). Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18 (4), 511–519.
- Kellmann, M. (2000). Psychologische Methoden der Erholungs-Beanspruchungs-Diagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (7), 253–258.
- Kellmann, M. & Kallus, K.W. (2000). *Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler*. EBF-Sport. Frankfurt: Swets Test Services.
- Klaperski, S., Seelig, H. & Fuchs, R. (2012). Sportaktivität als Stresspuffer. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 19 (2), 80–90.
- Leach, J. & Griffith, R. (2008). Restrictions in working memory capacity during parachuting: a possible cause of ‘no pull’ fatalities. *Applied Cognitive Psychology*, 22 (2), 147–157.
- Lemmer, B., Kern, R.-I., Nold, G. & Lohrer, H. (2002). Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition. *Chronobiology International*, 19 (4), 743–764.
- Litscher, G. (2007). Bioengineering Assessment of Acupuncture, Part 7: Heart Rate Variability, 35 (3-4), 183–195.
- Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A.J., Kleiger, R.E., Malliani, A., Moss, A.J. & Schwartz, P.J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17 (3), 354–381.
- Martinmäki, K. & Rusko, H. (2008). Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 102 (3), 353-360.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.-D. & Regnard, J. (2004). Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 92 (4-5), 508-517.
- Movescount (2013). *Movescount*. Finland: Suunto Corporation.
- Mück-Weymann, M. (Hrsg.) (2002). *Körperliche und seelische Fitness im Spiegel der Herzfrequenzvariabilität* (Biopsychologie & Psychosomatik, 10). Lage: Hans Jacobs.

- Niizeki, K. & Saitoh, T. (2011). Incoherent oscillations of respiratory sinus arrhythmia during acute mental stress in humans. *AJP: Heart and Circulatory Physiology*, 302 (1), H359.
- Raaf, S., Hermann, H.D., Löllgen, D. & Mayer, J. (2011). Effektivität von HRV-Biofeedback im Stressmanagement am Arbeitsplatz. In, *Herzfrequenzvariabilität: Gesundheitsförderung, Trainingssteuerung, Biofeedback: Satellitensymposium: Training und Therapie in künstlicher Höhe ; Internationales Symposium vom 29. und 30. Oktober 2010 in Halle (Saale)* (S. 127–137): Feldhaus, Ed. Czwalina.
- Schiedek, S. (2004). *Angst und Leistung im Rahmen der Katastrophentheorie. Untersuchungen zum optimalen Erregungsniveau bei Fallschirmspringern*. Dissertation.
- Schmidt, R.F. & Lang, F. (2007). *Physiologie des Menschen* (Springer-Lehrbuch). New York: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (2003). *Taschenatlas der Physiologie* (6. Aufl.). Stuttgart ; New York: Thieme.
- Thews, G. & Vaupel, P. (2005). *Vegetative Physiologie* (Springer-Lehrbuch) (5. Aufl.). Berlin: Springer.
- TOM Medical Entwicklungs GmbH (2006). *Medilog Darwin*. United Kingdom: Huntleigh Healthcare.
- University of Eastern Finland (2012). *Kubios HRV*. Kuopio Finland: Biosignal Analysis and Medical Imaging Group.
- Wolf, S. (1967). The end of the rope. The role of the brain in cardiac death. *Canadian Medical Association Journal*, 97, 1022–1025.
- Wormer, E. & Bauer, J.A. (2004). *Medizin und Gesundheit. Neues großes Lexikon ; [Medizin von A - Z, Labor und Diagnose, Arzneimittel, Anti-Aging, Nahrungsergänzungsmittel, Naturheilverfahren, Heilpflanzen, Erste Hilfe, Symptome-Register]* (Genehmigte Sonderausg.). Köln: Lingen.

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Herz-Kreislauf-System (Silbernagl & Despopoulos, 2003, S. 187)</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 2: Erregungsbildungs- und Leitungssystem(Silbernagl & Despopoulos, 2003, S. 195).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 3: EKG-Kurve (Silbernagl & Despopoulos, 2003, S. 197).....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 4: RR- Intervall, NN- Intervall oder Interbeatinterval.....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 5: Wingsuitformation (Florida 2013).....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 6: Freelyformation.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 7: Befestigung der Holter EKG Geräte</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 8: Vier Analysebereiche eines Fallschirmabsprungs (Movescount, 2013).....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 9: Befestigung der Elektroden.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 10: Berechnungszeiträume der HRV- u. HF-Analyse.....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 11: Grafische Darstellung sportspezifischer Belastungswerte der Fallschirmspringer</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 12: Grafische Darstellung der Erholungswerte der Probanden</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 13: Grafische Darstellung der drei Erhebungen des EBF.....</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 14: Grafische Darstellung der Skalenwerte bei fünf Messungen der einzelnen Testpersonen</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 15: Grafische Darstellung der aktuellen Gesamtbefindlichkeit des Teams mit Standardabweichung.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 16: Grafische Darstellung der Mittelwerte der positiven Skala des Springerteams.....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 17: Grafische Darstellung der negativen Skalenwerte der Teammitglieder von allen Erhebungen des SBS-BZ.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 18: Grafische Darstellung der Mittelwerte der Probanden zu allen Messzeitpunkten</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 19: Grafische Abbildung der RMSSD-Parameterwerte der Fallschirmspringer während der Nachtruhe.....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 20: Mittelwerte der RR-Abstände von Phase 1 und Phase 2.....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 21: Mittelwert des RMSSD-Zeitbereichsparameters der ersten beiden Phasen</i>	<i>66</i>

<i>Abbildung 22: Grafische Darstellung der mittleren HF-Power im Verlauf des Trainingslagers</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 23: Mittelwerte der LF- und HF-Power in Phase 3</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 24: 4 Sprünge und 4 Phasen.....</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 25: HF-Power von vier Sprüngen und allen Analyseteilen</i>	<i>70</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Etablierte Parameter der Zeitbereichsanalyse modifiziert nach (Malik et al., 1996).....</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 2: HRV-Parameter in der Frequenzdomäne für Kurzeitmessungen modifiziert nach (Malik et al., 1996)</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 3: Mittelwerte von metabolischen Produkt- und Hormonkonzentrationen von acht Fallschirmspringer/innen vor und nach dem ersten Fallschirmabsprung. (Anfilogoff et al., 1987, S. 415).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 4: Trainingstage und Anzahl der absolvierten Sprünge den Probanden zugeordnet (ID Identifikationsnummer)</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 5: Ausschnitt einer Excel-Tabelle mit den zugehörigen Zeitinformationen.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 6: Beanspruchungswerte der Probanden.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 7: Sportspezifische Erholung der Testpersonen.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der drei Tests des EBF</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 9: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der vier Dimensionen des EBF:</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 10: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der 19 Faktoren des EBF</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 11: Aktuelle positive Skalenwerte der einzelnen Testpersonen von allen Erhebungen.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der negativen Skalenwerte des Fallschirmspringerteams</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 13: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung des SBS-BZ.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 14: Mittlerer Abstand der RR-Intervalle der Probanden während der Nachtruhe .</i>	<i>54</i>
<i>Tabelle 15: pNN50-Werte der Fallschirmspringer während der Nachtruhe</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 16: LF-Power [ms²] der Fallschirmspringer von der Nachtruhe anhand der FFT .</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 17. HF-Power [ms²] während der Nachtruhe mittels FFT</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 18: LF-Power (n.u.) während der Nachtruhe anhand der FFT.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 19: HF-Power der Ruhephasen mittels der FFT.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 20: LF/HF-Quotient der einzelnen Probanden von der Nachtruhe mittels FFT</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 21: LF-Power [ms²] der Nachtruhe mittels AR-Modell</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 22: HF- Power [ms²] der Ruhephase anhand des AR-Modells.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 23: LF Power (n.u.) der Nachtruhe mittels AR-Modells</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 24: HF- Power (n.u.) der Ruhephase anhand des AR-Modells.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 25: LF/HF-Quotient der einzelnen Teammitglieder während der Nachtmessung (AR-Modell)</i>	<i>60</i>

<i>Tabelle 26: Einfaktorielle Varianzanalyse der Zeitdomäne (6-stufig)</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 27: Einfaktorielle Varianzanalyse der Zeitdomäne (5-stufig)</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 28: Einfaktorielle Varianzanalyse der Frequenzdomäne (FFT, 6-stufig)</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 29: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (AR, 6-stufig)</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 30: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (FFT, 5-stufig)</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 31: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (AR, 5-stufig)</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 32: Durchschnittliche Herzfrequenz der ersten zwei Phasen</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 33: Mittelwerte der LF-Power [ms²] der zwei Phasen im Verlauf des Trainingslagers</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 34: Mittelwert der RR-Abstände nach der Landung</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 35: RMSSD-Kennwert von vier Sprüngen und allen Phasen</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 36: LF-Power von vier Sprüngen und allen Abschnitten</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 37: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 1 (4-stufig) ..</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 38: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 2 (4-stufig) ..</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 39: Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung der Phase 3 (4-stufig) ..</i>	<i>72</i>

Anhang

Ablauf des Trainingslagers

Tag 1: Um 08:15 Uhr trafen sich alle Mitglieder des Teams in Salzburg, um das notwendige Equipment zu verladen. Um ca. 09:00 Uhr checkten alle beim Salzburger Flughafen ein. Die Airline startete um 10:20 Uhr in Salzburg. Nach einem kurzen Aufenthalt in Frankfurt ging die Reise nach Amerika weiter. Mit 6 Stunden Zeitverschiebung landeten die Fallschirmspringer um 17:20 Uhr in Orlando. Es dauerte zwei Stunden bis die erforderlichen Maßnahmen für die Einreise und die Weiterreise nach St. Sebastian erledigt waren. Um 23:30 Uhr checkten drei Springer in einem Hotel in Florida ein. Zwei Springer des Teams verbrachten den Abend noch in Orlando, um auf einen Springer, der erst am 19.2.2013 von Puerto Rico anreiste, zu warten

Tag 2: Die erste Nacht war für die meisten Probanden nicht sehr erholsam, da sie aufgrund der Zeitumstellung, in der Früh sehr bald aufwachten. Um 09:00 Uhr trafen sich alle Springer beim Frühstück. Ein Proband klagte über Halsschmerzen und darum entschloss er sich an diesem Tag nicht zu springen. Um 10:00 Uhr fuhren alle zu dem nahegelegenen Flugplatz, um sich bei der Dropzone zu registrieren. Nach Abschluss aller Formalitäten, fuhr der Springer mit den Halsschmerzen zurück ins Hotel, um sich auszukurieren. Die restlichen Springer absolvierten an diesem Tag 3 bis 4 Sprünge. Am Nachmittag füllten die Probanden beide Fragebögen aus. Nach dem Duschen wurden um zirka 21:00 Uhr die EKG-Geräte angelegt.

Tag 3: Erster Tag der Sprungaufzeichnungen. Beim EKG-Gerät eines Springers mussten nach einer kurzen Unterbrechung die Batterien gewechselt werden. An diesem Tag führten die vier Testpersonen 6 bis 7 Freeflysprünge durch. Ein Proband war krank und musste den Tag im Hotel verbringen.

Tag 4: Vier Springer tätigten an diesem Tag 2 Wingsuitsprünge und vier bis fünf Freeflysprünge. Der kranke Springer konnte noch nicht springen.

Tag 5: Auf Grund einer Schlechtwetterfront waren an diesem Tag nur zwei bis drei Sprünge möglich.

Tag 6: Alle Springer des Teams konnten an diesem Tag 6 bis 7 Sprünge absolvieren. Bei den ersten drei Sprüngen wurden mehrere Wingsuitformationen trainiert.

Tag 7: Auf Grund des Wetters (Bewölkung) wurden an diesem Tag nur 3 bzw. 4 Fallschirmabsprünge getätigt. Am Nachmittag wurde mit dem Springen aufgehört und am Abend wurden bei allen Probanden die EKG- Geräte angelegt.

Tag 8: Zweiter Sprungtag mit den angelegten Geräten. An diesem Tag war es sehr schwül. Durch den Schweiß lösten sich bei zwei Probanden die Elektroden, die rasch ersetzt wurden. Bei einem Probanden piepste das Gerät wiederholt und nachdem der Batteriewechsel keine Veränderung brachte, wurde es um 11:39 Uhr ausgeschaltet. Durch ein Ersatzgerät konnte die Aufzeichnung um 16:00 Uhr fortgesetzt werden. An diesem Tag absolvierten das gesamte Team 6 bis 7 Sprünge. Die ersten zwei Sprünge waren eine Wingsuitformation. Am Abend, nach einem Bier, füllten die Fallschirmspringer den 9 Item Fragebogen aus. Nachdem die Geräte abgenommen wurden, besuchte das Team eine Privatparty.

Tag 9: Auf Grund des schlechten Wetters wurde an diesem Tag pausiert. Nach dem gemeinsamen Mittagessen waren die Springer noch einkaufen und anschließend wurde am Strand relaxt.

Tag 10: Zwei Wingsuitsprünge und drei Freeflysprünge waren an diesem Tag möglich. Anschließend wurden die Teammitglieder von einem Einheimischen zu einer kleinen Party eingeladen.

Tag 11: Perfektes Wetter zum Springen. Zuerst wurden 5 bis 6 Freeflysprünge und am Abend Aufnahmen von zwei Wingsuitsprüngen gemacht.

Tag 12: Am Vormittag war es stark bewölkt. Zwei Springer des Teams brachten ihren Kameramann nach Orlando zum Flughafen, der weiter nach Arizona flog. Die restlichen drei Springer absolvierten um ca. 12:00 Uhr den ersten Sprung. Um 14:00 Uhr war das Team wieder komplett und es folgten noch 3 bis 6 Trainingssprünge. Nach dem Duschen wurden zum dritten Mal, die EKG- Geräte angelegt. Einige Probanden klagten an diesem Tag über Müdigkeit.

Tag 13: Am dritten Tag der Aufzeichnung war es außergewöhnlich kalt, dennoch absolvierte das Team 3 bis 4 Sprünge. Auf Grund der schlechten Wetterbedingungen (Bewölkung, Wind) wurde der Sprungbetrieb um ca. 12:45 Uhr eingestellt. Um 14:00 Uhr wäre der Sprungbetrieb von Seiten des Flugplatzes wieder aufgenommen worden. Wegen der Wetterbedingungen, der Müdigkeit der letzten Tage und der fehlenden Motivation entschied sich das Team jedoch nicht weiter zu springen. Ein Proband hatte an diesem Nachmittag starke Kopfschmerzen beziehungsweise Migräne. Die Fragebögen wurden im Hotel von den Teammitgliedern ausgefüllt. Der Proband mit den Kopfschmerzen holte den Test am nächsten Tag nach.

Tag 14: An diesem kalten Tag machte ein Proband einen Sprung mit einer neuen Wingsuit. Den restlichen Springern des Teams war es zu kalt und die Motivation zum

Springen hatte auch stark nachgelassen. Um 13:00 Uhr verließ das Team, aufgrund des starken Windes, geschlossen den Sprungplatz.

Tag 15: Es war sonnig und nicht mehr so kalt. Beim ersten Start landeten die Teammitglieder mit dem Flugzeug wieder, weil eine Turbine der Twin Otter in 2700 m Höhe teilweise aussetzte. Aus diesem Grund entschied der Pilot, nachdem er die Höhe nicht mehr halten konnte, die Maschine mit der vollen Besatzung zu landen. Erst am Nachmittag, kam der Sprungbetrieb wieder in Schwung. Trotz der Zwischenfälle konnten die Probanden an diesem Tag fünf Freeflysprünge machen.

Tag 16: Perfekte Bedingungen zum Springen. Das gesamte Team absolvierte an diesem Tag 10 bis 11 Freeflysprünge. Am Abend wurden zum letzten Mal die EKG-Geräte angelegt.

Tag 17: Vierter und letzter Tag der Sprungaufzeichnungen. In der Früh war es stark bewölkt und windig, weshalb der erste Sprung erst um 11:34 Uhr möglich war. Ein Proband testete die neue Wingsuit in Formation mit zwei weiteren Teammitgliedern. Die windigen Bedingungen zwangen das Team nach zwei Sprüngen um 13:00 Uhr das Training abubrechen. Ein externer Springer sprang weiter, und verletzte sich. Um 15:00 Uhr wurde der Sprungplatz verlassen und die EKG-Geräte abgelegt. Im Anschluss daran wurden die beiden Fragebögen aufgefüllt.

Tag 18: Am letzten Tag des Trainingslagers tätigte das Team noch drei Sprünge, bevor es sich auf den Weg nach Orlando macht. Um 13:30 Uhr wurde die Dropzone verlassen. Das Flugzeug startet um 20:20 Uhr.

Tag 19: Nach der Nacht im Flieger und einem Zwischenaufenthalt in Frankfurt landete das Team wohlbehalten in Salzburg. Um 13:10 Uhr wurde in Salzburg gelandet.

SBS-BZ

Name:.....

Datum:

Aktuell fühle ich mich überwiegend aktiviert, anstrengungsbereit

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend kontaktfreudig, gesellig, mitteilsam.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend gelöst, heiter, locker, entspannt, zufrieden, gelassen.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend nervös, kribbelig, zerfahren.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend körperlich müde, körperlich erschöpft, körperlich verausgabt.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend emotional müde, emotional erschöpft, emotional verausgabt.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend ärgerlich, gereizt, ungehalten.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Aktuell fühle ich mich überwiegend betrübt, niedergeschlagen, traurig.

--	--	--	--	--

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu
---------------------	-----------------	-------------	-----------------------	----------------------

Aktuell fühle ich mich überwiegend selbstsicher, überlegen, routiniert.

trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils teils	trifft überwiegend zu	trifft vollkommen zu

Erholungs- Belastungsfragebogen für Sportler

Name.....Vorname.....Geb.-Datum.....

1. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich ferngesehen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

2. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich zu wenig Schlaf						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

3. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich wichtige Arbeiten abgeschlossen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

4. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich unkonzentriert						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

5. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich gereizt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

6. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich gelacht						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

7. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich körperliche Beschwerden						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

8. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich missgestimmt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

9. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mich körperlich entspannt gefühlt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

10. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich guter Dinge						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

11. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mich schlecht konzentrieren						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

12. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich Konflikte mit mir herumgetragen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

13. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich ausgeglichen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

14. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mit Freunden schöne Stunden verbracht						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

15. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich Kopfdruck oder Kopfschmerzen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

16. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhat mich die Arbeit stark ermüdet						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

17. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich Erfolg						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

18. In den letzten (3) Tagen/Nächtengingen mir die gleichen Gedanken immer wieder durch den Kopf						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

19. In den letzten (3) Tagen/Nächtenbin ich zufrieden und entspannt eingeschlafen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

20. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mich körperlich wohl gefühlt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

21. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mich über andere geärgert						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

22. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich niedergeschlagen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

23. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich Freunde getroffen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

24. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich betrübt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

25. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich nach meiner Arbeit todmüde						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

26. In den letzten (3) Tagen/Nächtensind mir andere „auf die Nerven gegangen“						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

27. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar mein Schlaf erholsam						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

28. In den letzten (3) Tagen/Nächtenlitt ich unter Ängsten oder Hemmungen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

29. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich körperlich fit						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

30. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich die Nase voll						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

31. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich meine Arbeit nur schleppend erledigen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

32. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mich vor Fremden bewähren müssen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

33. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mich amüsiert						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

34. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich gute Laune						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

35. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich übermüdet						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

36. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich unruhig geschlafen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

37. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mich geärgert						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

38. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich leistungsfähig						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

39. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich aufgebracht						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

40. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich Arbeiten vor mir hergeschoben						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

41. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich wichtige Entscheidungen getroffen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

42. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich körperlich matt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

43. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich glücklich						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

44. In den letzten (3) Tagen/Nächtenstand ich unter Leistungsdruck						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

45. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwurde mir alles zu viel						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

46. In den letzten (3) Tagen/Nächtenbin ich nachts ohne äußeren Anlass aufgewacht						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

47. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich zufrieden						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

48. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich böse auf andere						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

49. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich gute Ideen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

50. In den letzten (3) Tagen/Nächtentaten mir Teile meines Körpers weh						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

51. In den letzten (3) Tagen/Nächtenbin ich in den Pausen nicht zur Ruhe gekommen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

52. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich überzeugt, dass ich das gesteckte Ziel gut erreichen könnte						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

53. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mich körperlich gut erholen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

54. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich durch meinen Sport ausgebrannt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

55. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich in meinem Sport viel Lohnendes erreicht						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

56. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mich mental auf meine sportlichen Leistungen vorbereiten						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

57. In den letzten (3) Tagen/Nächtenlitt ich während meiner sportlichen Leistungen unter Muskelverhärtungen oder Muskelverspannungen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

58. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich den Eindruck, zu wenig Pausen zu haben						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

59. In den letzten (3) Tagen/Nächten ...						
--	--	--	--	--	--	--

...war ich überzeugt, dass ich meine Leistungsziele jederzeit erreichen könnte						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

60. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mich effektiv um die Probleme in meinem Team kümmern						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

61. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich körperlich in guter Verfassung						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

62. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mich während meiner sportlichen Leistungen selbst antreiben						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

63. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich durch meinen Sport gefühlsmäßig ausgelaugt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

64. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhatte ich nach meinen sportlichen Leistungen Muskelschmerzen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

65. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich überzeugt, dass ich optimal vorbereitet bin						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

66. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwurde ich in den Pausen stark beansprucht						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

67. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mich vor meinen sportlichen Leistungen voll motivieren						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

68. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar mir danach, mit dem Sport aufzuhören						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

69. In den letzten (3) Tagen/Nächtenfühlte ich mich energiegeladener						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

70. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich gut nachvollziehen, was in meinem Team vorging						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

71. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich überzeugt, gut trainiert zu haben						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

72. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwaren die Pausen an den falschen Stellen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

73. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich empfindlich gegenüber Verletzungen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

74. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhabe ich mir für meine sportlichen Leistungen klare Ziele gesetzt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

75. In den letzten (3) Tagen/Nächtenwar ich körperlich entspannt						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

76. In den letzten (3) Tagen/Nächtenhat mich mein Sport frustriert						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

77. In den letzten (3) Tagen/Nächtenkonnte ich mit gefühlsmäßigen Problemen in meinem Team gut umgehen						
Nie	Selten	Manchmal	Mehrmals	Oft	Sehr oft	Immerzu

Bitte Zutreffendes ankreuzen:

- 1 kein Pflichtschulabschluss
- 2 Pflichtschulabschluss oder Realschule ohne Abschluss
- 3 Abgeschlossene Berufsausbildung bzw. Fachschule (12-12 Jahre Ausbildung)
- 4 Abitur, Matura, Abschluss einer Fachschule (12-13 Jahre Ausbildung)
- 5 Universitätsabschluss, Hochschulabschluss
- ? Bildungsgrad nicht bekannt

Lebenslauf



Persönliche Daten:

Name: Michael Ludwig Löberbauer
Geburtsdatum: 27. Februar 1977
Geburtsort: Gmunden (OÖ)
Staatsbürgerschaft: Österreich
Wohnort: Salzburger Str. 55 D; Thalgau

Aus- & Weiterbildung:

10/2003 bis dato: Studium an der Universität Wien; Lehramt Bewegung und Sport; Informatik und Informatikmanagement
2002-2003: Berufsreifeprüfung
1991-1995: HTBLA Steyr; Fachschule für Maschinenbau und KFZ
1987-1991: Hauptschule Sierning
1983-1987: Volksschule Sierning

Beruflicher Werdegang:

2008-bis dato: Angestellter Fallschirmspringer bei den Flyingbulls
1995- 2002: Militärperson auf Zeit

Fremdsprache:

Englisch

Interessen:

Fallschirmspringen, Skifahren, Skitourengehen, Laufen, Wandern...

Thalgau, 20. Jänner 2014

Michael Ludwig Löberbauer

Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht noch von anderen Personen vorgelegt“.

Thalgau, 20. Jänner 2014

Michael Ludwig Löberbauer