

# **Belastungsmonitoring im Ski Alpin: Eingrenzungsmöglichkeiten und Schwellenwerte**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Gian Sgier**

an der  
Universität Freiburg, Schweiz  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät  
Abteilung Medizin  
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
PD Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer 1:  
Björn Bruhin

Betreuerin 2:  
Marie Javet

Tersnaus, Januar 2021

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	3
1 Einleitung .....	4
1.1 Ski Alpin .....	4
1.2 Belastungsmonitoring.....	6
1.3 Ziel der Arbeit .....	14
2 Methode.....	16
2.1 Untersuchungsgruppe.....	16
2.2 Studiendesign .....	16
2.3 Instrumente.....	16
2.4 Datenauswertung .....	19
3 Resultate .....	21
3.1 Zusammenhang von subjektiven Parametern und objektiven Parametern.....	21
3.2 Zusammenhang EBF-Sport und den objektiven Parametern. ....	22
3.3 Individuelle Verlaufsgrafiken .....	23
4 Diskussion .....	27
4.1 Submax HF.....	27
4.2 CMJ .....	29
4.3 6-sec Wattbike.....	31
4.4 Schwellenwerte/rote Zonen.....	32
4.5 Limitationen .....	34
5 Schlussfolgerung .....	35
6 Literatur.....	36
7 Anhang .....	43
8 Dank .....	51

## **Zusammenfassung**

**Einleitung.** Das Belastungsmonitoring ist heutzutage aus dem Trainingsalltag von Athletinnen und Athleten nicht mehr wegzudenken. Mit dem Belastungsmonitoring können Erklärungen zu Veränderungen der Leistung gegeben werden. Zudem kann mittels Belastungsmonitoring das Risiko von Verletzungen, Krankheiten, OTS und NFOR minimiert werden. Zur Quantifizierung der Trainingsbelastung werden objektive (z. B. HF) und subjektive (z. B. RPE) Messverfahren eingesetzt. Ziel dieser Arbeit war es, Zusammenhänge von subjektiven und objektiven Messverfahren im Belastungsmonitoring von Skirennfahrerinnen und Skirennfahrer zu untersuchen und individuelle Schwellenwerte zu definieren.

**Methoden.** Für die Datenerhebung wurden 17 Athletinnen und Athleten (fünf Männer und zwölf Frauen), welche eine Swiss-Ski-Kaderzugehörigkeit hatten, ausgewählt. Das Durchschnittsalter betrug  $19.0 \pm 2.9$  Jahre und das Durchschnittsgewicht  $88.0 \pm 12.1$  kg. Das Testprotokoll beinhaltete mehrere Schritte, wobei der EBF-Sport als subjektives Messinstrument und der Submax HF, der CMJ sowie der 6-sec Wattbike als objektive Messinstrumente benutzt wurden. Mittels linearer Regression wurden die einzelnen objektiven Parameter mit den subjektiven Parametern auf einen allfälligen Zusammenhang geprüft. Zusätzlich wurden individuelle Schwellenwerte mittels *Mann-Whitney-U-Test* auf Signifikanz geprüft.

**Resultate.** Der objektive Parameter CMJpmaxrel des CMJ sowie die objektiven Parameter Prel, Pmax und Pmean des 6-sec Wattbike zeigten signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern Erholung, Beanspruchung und dem EBF-Sport-Gesamtscore. Die Vergleiche der definierten Schwellenwerte MW + STD, MW + STD 5 % und MW + STD 10 % mit dem MW zeigten signifikante Unterschiede.

**Diskussion und Schlussfolgerung.** Aufgrund der vorliegenden Resultate ist der Submax HF kein geeignetes Instrument für das Belastungsmonitoring bei Skirennfahrerinnen und Skirennfahrer. Auch die Nutzung des CMJ als Messinstrument für das Belastungsmonitoring scheint im vorliegenden Setting fraglich zu sein. Demgegenüber kann der 6-sec Wattbike als geeignetes objektives Messinstrument angenommen werden. Obwohl die definierten Schwellenwerte statistisch signifikant waren, ist es fraglich, wie aussagekräftig diese wirklich sind. Die vorliegenden Resultate bestätigen die Schwierigkeit, diese Schwellenwerte zu definieren. Zukünftige Studien könnten die definierten Schwellenwerte und deren Übertretungen mit den eingetretenen Fällen von Verletzung, Krankheit, NFOR oder OS vergleichen, damit nachträglich aussagekräftige Schwellenwerte definiert werden können.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ski Alpin

Der alpine Skirennsport ist eine beliebte Wintersportart im Alpenraum. Er besteht aus den vier Hauptdisziplinen Slalom (SL), Riesenslalom (Giant Slalom, GS), Super-G (SG) und Abfahrt (Downhill, DH). Hinzu kommen weitere Disziplinen wie die Kombination, der Parallel-Wettkampf sowie der Team-Event. Die einzelnen Disziplinen unterscheiden sich in der Renndauer, den Durchschnitts- sowie Maximalgeschwindigkeiten, der Anzahl Richtungsänderungen oder im Streckenprofil (Gilgien, Reid, Raschner, Supej & Holmberg, 2018).

Verschiedene Entwicklungen in den letzten Jahren, wie beispielsweise die verbesserte Pistenpräparation, die verbesserte Ausrüstung und das Material, die veränderte Schneebeschaffenheit (z. B. Kunstschnee), haben die Anforderungen an die Athletinnen und Athleten im alpinen Skirennsport weiter verändert (Spörri, Kröll, Blake, Amesberger & Müller, 2010). Gilgien et al. (2018) haben versucht, ein möglichst vollständiges Bild des Trainings von olympischen Ski-Alpin-Athletinnen und -Athleten zu zeichnen und zu zeigen, wie dieses verbessert werden kann. Ein breites Spektrum an physischen, technischen, mentalen wie auch sozialen Fähigkeiten ist für eine erfolgreiche Athletin oder einen erfolgreichen Athleten im alpinen Skirennsport unabdingbar (Raschner, Hildebrandt, Mohr & Müller, 2017; Gilgien et al., 2018; Turnbull, Kilding & Keogh, 2009). Neben technischen und taktischen Anforderungen stellt der alpine Skirennsport auch hohe physische Anforderungen an die Athletinnen und Athleten. Kraft (Maximalkraft, Kraftausdauer und Stabilität), aerobe und anaerobe Kapazität, Gleichgewicht, Koordination und Bewegungskontrolle sowie Mobilität sind im alpinen Skirennsport bedeutend (Gilgien, Kröll, Spörri, Crivelli & Müller, 2018; Gilgien et al., 2018; Hydren, Volek, Maresh, Comstock & Kraemer, 2013; Neumayr et al., 2003; Polat, 2016). Nach Neumayr et al. (2003) sind vor allem die aerobe Leistungsfähigkeit und die Kraft der unteren Extremitäten entscheidend. Mit seiner Untersuchung bestätigte Polat (2016), dass der alpine Skirennsport von hochintensiven Leistungen gekennzeichnet ist, bei welcher die anaerobe Leistungsfähigkeit für die Disziplin GS wesentlich ist. Weiter zeigte die Studie, dass die hohe aerobe Kapazität die Erholungszeiten während der sich wiederholenden Trainingsläufe verkürzt. Daher ist es wichtig, die Effizienz des Trainings zu steigern. Gilgien et al. (2018) erklären, dass das physische Training sehr komplex ist, da es sich auf mehrere Fähigkeiten wie Kraft und Ausdauer während des gleichen Zeitraums konzentriert. Gemäss Ferguson (2010) ist der alpine Skirennsport durch wiederholte isometrische und exzentrische Kontraktionen von hoher Kraft gekennzeichnet. Ferguson (2010)

führt weiter aus, dass der hohe intramuskuläre Druck und der verringerte Blutfluss unweigerlich zu einer Anhäufung von metabolischen Nebenprodukten, welche sich auf die krafterzeugenden Eigenschaften des Muskels auswirken, führen. Auch Turnbull et al. (2009) berichten, dass der alpine Skirennsport facettenreich ist und die Leistung von verschiedenen Energiesystemen abhängig ist. Das erschwere Untersuchungen und Quantifizierungen im physiologischen Bereich ungemein. Für Turnbull et al. (2009) ist es unabdingbar, dass Kenntnisse der Muskelphysiologie und der Nutzung des Energiesystems im alpinen Skirennsport vorhanden sind, da diese wichtig für zukünftige Leistungssteigerung, Verletzungsprävention, Talentidentifikation und Trainingsverordnung sind. Zu diesen Kenntnissen zählt auch das Belastungsmonitoring.

Gilgien, Spörri, Kröll, Crivelli und Müller (2014) haben die interdisziplinären Unterschiede von verschiedenen Parametern (Sprungweite, Geschwindigkeit u. ä.), welche mit dem Verletzungsrisiko in Verbindung gebracht werden, untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Geschwindigkeit nicht der einzige Faktor für Verletzungen ist. Ein wichtiger Faktor ist demnach die Müdigkeit und die Einwirkungszeit beziehungsweise die Belastungszeit. Weitgehend lasse sich die erhöhte Anzahl Verletzungen pro 1000 Läufe im SG und DH mit der Belastungszeit und der Müdigkeit erklären. Eine ähnliche Thematik untersuchten Gilgien, Crivelli, Spörri, Kröll und Müller (2015). Ziel ihrer Untersuchung war es, die Beziehung zwischen Kurssetzung und Geländegeomorphologie und der Geschwindigkeit herauszufinden. Gilgien et al. (2015) bestätigten die Hypothese, dass die Geschwindigkeit der Skifahrerinnen und Skifahrer mit der Geländeneigung und der Kurssetzung zusammenhängt. Diese Resultate könnten als Grundlage dienen, um zu beurteilen, ob das Verletzungsrisiko mit der Kurssetzung reduziert werden kann. Die Studie von Müller L., Hildebrandt, Müller E., Fink und Raschner (2017) hat den Zusammenhang zwischen den anthropometrischen Merkmalen, dem biologischen Reifegrad sowie Parametern der körperlichen Fitness mit dem Risiko von traumatischen oder Überlastungsverletzungen bei jungen alpinen Skirennfahrerinnen und Skirennfahrern untersucht. Es zeigte sich, dass der biologische Reifegrad, die anthropometrischen Merkmale und die Rumpfstabilität bedeutende Risikofaktoren für Verletzungen sind. Aufgrund zahlreicher Verletzungen über die letzten Jahre haben Spörri et al. (2010) versucht, potenzielle Risikofaktoren für Verletzungen im alpinen Skirennsport zu identifizieren und einzustufen. Die folgenden Parameter wurden als Hauptrisikofaktoren identifiziert und eingestuft: Ausrüstung (Ski, Bindung, Platte, Skischuh), Veränderungen bei den Schneesverhältnissen, physische Parameter, Geschwindigkeit und Kurssetzung sowie Ermüdung. Auch die Studie von Spörri, Kröll, Gilgien und Müller (2017) hat versucht, Risikofaktoren für Verletzungen im alpinen Skirennsport zu definieren. Bei fünf Faktoren zeigten sich direkte Zusammenhänge mit dem Verletzungsrisiko: ungenügende

Rumpfstabilität, Geschlecht (Männer haben grundsätzlich ein höheres Verletzungsrisiko als Frauen), ungünstige genetische Veranlagungen sowie die Merkmale des Skimaterials (stark tailliert, kurzen und breiten Skis).

## **1.2 Belastungsmonitoring**

Das Belastungsmonitoring ist heutzutage ein zentraler Bestandteil im Trainingsalltag von Athletinnen und Athleten sowie Trainerinnen und Trainer (Halson, 2014). Das Belastungsmonitoring befasst sich mit der systematischen Erfassung von Daten zur Dauer, Intensität und zum Inhalt einer Trainingseinheit (Roos, Taube, Brandt, Heyer & Wyss, 2013). Mehrere Autoren (Bourdon et al., 2017; Halson, 2014; Roos et al., 2013; Taylor, Chapman, Cronin, Newton & Gill, 2012) bestätigen die Bedeutung des Belastungsmonitorings und erklären, dass das Belastungsmonitoring eine wissenschaftliche Erklärung für Veränderungen der Leistung bieten kann. Dies lässt nicht nur eine rückblickende Untersuchung und Interpretation der erhobenen Daten zu, sondern ergibt auch einen Nutzen bei der zukünftigen Planung des Trainings (Halson, 2014). Weitere Autoren (Borresen & Lambert, 2008; Foster et al., 2001) bestätigen, dass die Überwachung des Trainings entscheidend ist für die Erstellung und Verordnung von individualisierten Trainingsplänen. Während die Fähigkeit, ein Training zu planen, früher auf jahrelange Erfahrung basierte, bedient sie sich heute wissenschaftlicher Ansätze (Borresen & Lambert, 2009; Halson, 2014). Trotzdem ist die Erfassung und das Monitoring von Erholung und Belastung eine komplexe Aufgabe (Kellmann et al., 2018). Trotz der zunehmenden Anzahl an Studien und der steigenden Popularität des Belastungsmonitorings gibt es noch immer kein Instrument, welches alleine angewendet werden kann und genau und zuverlässig ist (Halson, 2014; Saw, Main & Gatin, 2016). Ein weiterer wichtiger Grund, welcher für das Belastungsmonitoring spricht, ist gemäss Bourdon et al. (2017) und Roos et al. (2013) der Umstand, dass das Risiko von Verletzungen, Krankheiten, overtraining syndrome (OTS) oder nonfunctional overreaching (OR) minimiert werden kann.

Zur Quantifizierung der Trainingsbelastung können mehrere Methoden eingesetzt werden. Zu diesen Methoden zählen etwa Fragebögen, Tagebücher, physiologische Überwachung und direkte Beobachtung (Borresen & Lambert, 2009). Auch nach Saw et al. (2016) gibt es mehrere Möglichkeiten für das Belastungsmonitoring, dazu gehört die Überwachung von leistungsbezogenen Parametern, von physiologischen Parametern, von biochemischen Parametern als auch von subjektiven Parametern. Die Diagnose- und Monitoring-Instrumente lassen sich in subjektive und objektive Verfahren unterteilen. Mit objektiven Instrumenten werden physiologische, biochemische oder Leistungsparameter erfasst. Beispiele für objektive Leistungsparameter sind

etwa die Herzfrequenz (HF) oder die Laktatkonzentration. Mit subjektiven Instrumenten werden psychologische Variablen wie das Wohlbefinden oder die Schlafqualität erfasst (Bourdon et al., 2017; Fuchs & Gerber, 2018; Roos et al., 2013). Foster et al. (2001) zeigten, dass zwischen objektiven (summierte Herzfrequenzzonen) und subjektiven Methoden (RPE) eine hohe Korrelation besteht. Dementsprechend können auch sehr einfache subjektive Methoden (RPE) zur Quantifizierung der Belastung in einer Vielzahl von sportlichen Anwendungen nützlich sein. Im Gegensatz dazu besagt Saw et al. (2016), dass es keine beziehungsweise unbedeutende generelle signifikante Zusammenhänge zwischen objektiven und subjektiven Verfahren gibt. Trotzdem seien subjektive Verfahren mögliche Methoden für das Belastungsmonitoring. Saw et al. (2016) heben hier vor allem die Methode POMS (Profile of mood states) zur Überprüfung der Stimmungsschwankungen, den Erholungs-Belastungs-Fragebogen Sport sowie das Verfahren zur Überprüfung von Stresssymptomen DALDA hervor. Mehrere Autoren (Bourdon et al., 2017; Fuchs & Gerber, 2018; Meeusen et al., 2013; Saw et al., 2016) weisen darauf hin, dass es wichtig ist, subjektive und objektive Verfahren für das Belastungsmonitoring zu nutzen. Saw et al. (2016) erklärt, dass die fehlenden Zusammenhänge von subjektiven und objektiven Verfahren den Einbezug beider Methoden im Belastungsmonitoring bestärkt. Auch Kellmann et al. (2018) halten fest, dass die Balance zwischen Erholung und Beanspruchung ein individueller Zustand ist, welcher nur durch das Zusammenspiel verschiedener Indikatoren erfasst werden kann.

Für Meeusen et al. (2013) muss erfolgreiches Training eine Überlastung beinhalten, damit ein Trainingsreiz gesetzt wird. Eine Kombination von übermässiger Überlastung und unzureichender Erholung muss jedoch vermieden werden. Die Resultate eines solchen Ungleichgewichts resultieren sich in einem OR oder sogar in einem OTS. Das OR stellt hierbei die mildere Form dar. Diese ist eine Anhäufung von trainingsbedingten und/oder nichttrainingsbedingten Belastungen, die zu einer kurzfristigen Verminderung der Leistungsfähigkeit mit oder ohne entsprechende physiologische und psychologische Anzeichen und Symptome einer Fehlanpassung führt. Die Wiederherstellung dieser Leistungsfähigkeit kann mehrere Tage bis zu mehreren Wochen dauern (Meeusen et al., 2013). Das OTS hingegen führt zu einer langfristigen Leistungsabnahme, wobei die Wiederherstellung mehrere Wochen oder Monate dauern kann. Damit diese Zustände nicht erreicht werden, ist eine regelmässige Überwachung von verschiedenen Marker Indikatoren gemäss Meeusen et al. (2013) unabdingbar. Zu diesen Indikatoren gehören unter anderem leistungsbezogene, physiologischen und psychologische Marker (Meeusen et al., 2013).

In seiner Studie hat Gabbett (2016) den Zusammenhang zwischen der Trainingsbelastung und Verletzungen analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass es einen Zusammenhang zwischen hohen Trainingsbelastungen und Verletzungen gibt. Jedoch zeigte sich auch, dass eine gut ausgebildete Physis vor Verletzungen schützt. Die Art und Weise der Trainingsbelastung scheint also ein wichtiger Indikator für Verletzungen zu sein. Claudino et al. (2012) haben in ihrer Studie den Leistungszustand und Ermüdungszustand von Athletinnen und Athleten vor der jeweiligen Trainingsbelastung evaluiert, um dann die nachfolgende Trainingseinheit zu regulieren. Als Testinstrument wurde der Countermovement Jump (CMJ) herangezogen. Es ergab sich eine Verringerung der Gesamttrainingsbelastung ohne Störungen der Leistungssteigerung. Gemäss Bourdon et al. (2017) wird das Aufkommen neuer Technologien in Verbindung mit neuen analytischen Ansätzen wohl immer leistungsfähigere Instrumente zur Vorhersage von Leistung und Verletzungsrisiko hervorbringen.

Für Taylor et al. (2012) ist es wesentlich, dass für alle Arten von Beurteilungen von Erholungs- und Ermüdungszuständen Schwellenwerte beziehungsweise rote Zonen festgelegt werden. Diese Schwellenwerte sollten so definiert werden, dass negative Veränderungen der Leistungen aussagekräftig und bedeutend sind. Diese Schwellenwerte werden nach Taylor et al. (2012) als die kleinsten, lohnenden Veränderungen (smallest, worthwhile changes, SWC) bezeichnet und ändern sich von Athletin zu Athletin und Athlet zu Athlet. Mögliche Schwellenwerte liegen laut Taylor et al. (2012) bei Veränderungen im Bereich von 5 - 10 % der Leistung vom Mittelwert (MW) oder beim MW zuzüglich Standardabweichung (STD). Taylor et al. (2012) führen weiter aus, dass sich wenig Literatur finden lässt, welche dieses Verfahren anwenden. Auch Robertson, Bartlett und Gatin (2017) haben in ihrer Studie versucht, mithilfe eines Ampelsystems Zonen zu definieren, welche als Entscheidungshilfe dienen sollten, wenn eine Athletin oder ein Athlet eine Pause benötigt. Auch hier wurden Daten aus einer bestimmten Sitzung beziehungsweise aus einer bestimmten Periode vom Belastungsmonitoring benutzt.

**1.2.1 Erholungs-Belastungs-Kurzfragebogen Sport (EBF-Sport).** Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen Sport ist ein Instrument, welches eine systematische Messung des Erholungs-Belastungs-Zustandes einer Person misst. Damit lassen sich Aussagen machen, inwieweit Menschen emotional, sozial, geistig oder körperlich gestresst sind und ob in den vergangenen Tagen ausgleichende Erholungszustände oder Aktivitäten stattgefunden haben oder nicht (Kallus & Kellmann, 2016). Dabei wird vom Scheren-Modell von Kallus und Kellmann ausgegangen. Die Grundüberlegungen dieses Modells sind: Je grösser die Belastung ist, desto grösser

muss auch die Erholung werden. Athletinnen und Athleten können also relativ hohe Belastungen handhaben, wenn auch die Erholungsmassnahmen hoch sind (Kellmann, 2002).

Da der Erholungs-Belastungs-Fragebogen Sport sehr umfangreich und dementsprechend zeitraubend ist, wurde der Erholungs-Belastungs-Kurzfragebogen Sport (EBF-Sport) entwickelt. Dieser misst die Häufigkeit aktueller Belastungssymptome zusammen mit der Häufigkeit von erholungsfördernden Aktivitäten und Zuständen der letzten drei Tage und Nächte. Durch die gleichzeitige Erfassung von Belastung und Erholung kann mittels EBF-Sport ein aktuelles Bild des Belastungs-Erholungs-Zustandes gegeben werden, da dieser von vorangehenden Belastungsreizen und Erholungsaktivitäten bestimmt wird (Kallus & Kellmann, 2016). Die Besonderheit des EBF-Sport besteht darin, dass er eine systematische und direkte Messung von bewerteten Ereignissen, Zuständen und Aktivitäten hinsichtlich ihrer Häufigkeit ermöglicht, wobei gleichzeitig Stress- und Erholungsprozesse berücksichtigt werden. Weiter unterscheidet er zwischen sportspezifischen und generellen Bereichen von Stress und Erholung (Kallus & Kellmann, 2016; Kellmann, 2010). Gemäss Kellmann (2000) liegt die Reliabilität des EBF-Sport bei  $r = .79$ , sodass von einer guten Reproduzierbarkeit ausgegangen werden kann. Mehrere Untersuchungen würdigen den EBF-Sport als nützliches und geeignetes Instrument für die Untersuchung der Beziehung von Belastung und Erholung (Becker-Larsen, Henriksen & Stambulova, 2017; Bouget et al., 2006; Coutts, Wallace & Slattery, 2007; Davis, Orzeck & Keelan, 2007; Freitas, Nakamura, Miloski & Samulski, 2014; González-Boto, Salguero, Tuero, González-Gallego & Márquez, 2008; Saw et al., 2016). Bei mehreren Studien (Siehe Tabelle 1) zeigten sich Zusammenhänge zwischen Parametern des EBF-Sport und anderen Belastungsparametern (Bouget, Rouveix, Michaux, Pequignot & Filaire, 2006; Brink et al., 2010; Coutts et al., 2007; Filho et al., 2015; Freitas et al., 2014; González-Boto et al., 2008; Kellmann & Günther, 2000; Laux, Krumm, Diers & Flor, 2015; Otter, Brink, van der Does & Lemmink, 2015).

Tabelle 1

*Studien, welche Zusammenhänge zwischen Parametern des EBF-Sport und anderen Parametern zeigen*

Autoren	Untersuchte Parameter	EBF-Sport Subskalen
Bouget et al. (2006)	Hormonelle Marker	Fatigue, Emotional Stress, Social Stress, General Well-Being, Being in Shape, Personal Accomplishment
Brink et al. (2010)	Verletzungen und Krankheit	Emotional Stress, Social Stress, Conflicts/Pressure, Fatigue, Lack of Energy, Physical Complaints, Social Recovery, General Well-Being, Sleep Quality, Disturbed Breaks, Emotional Exhaustion, Fitness/Injury, Being in Shape
Coutts et al. (2007)	Erhöhung des Belastungsumfangs	Lack of Energy, Emotional Exhaustion, Success, Social Recovery, General Well-Being, Being in Shape
Filho et al. (2015)	Leistungsvoraussage/-bestimmung	Physical Recovery, Injury, General Well-Being, Conflicts/Pressure, Lack of Energy
Freitas et al. (2014)	Erhöhung des Belastungsumfangs	Fatigue, Injury, Physical Complaints
González-Boto et al. (2008)	Erhöhung des Belastungsumfangs	Success, Physical Recovery, Emotional Exhaustion, Injury, Being in Shape, Self-Efficacy
Kellmann & Günther (2000)	Erhöhung des Belastungsumfangs	Being in Shape, Lack of Energy, Injury
Laux et al. (2015)	Verletzungsrisiko	Fatigue, Disturbed Breaks, Injury, Sleep Quality
Otter et al. (2016)	Submaximale HF	Emotional Stress, Social Stress, Injury, Self-Efficacy

*Anmerkungen.* Aufgrund von Verständnisüberlegungen, sind die EBF-Sport Subskalen in englischer Originalsprache geschrieben.

Weitere Studien erachten den EBF-Sport als möglichen Prädiktor für OR in frühen Stadien (Coutts et al., 2007; González-Boto et al., 2008). Gemäss Saw et al. (2016) ist der EBF-Sport das einzige subjektive Verfahren, dass sowohl auf akute als auch chronische Trainingsbelastungen anspricht. Zudem zeigten sich in mehreren Studien (Garatachea et al., 2011; Kellmann & Günther, 2000), dass der EBF-Sport mit mehreren Parametern des Profile of Mood States (POMS) korreliert. Diese sind in der folgenden Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2

*Studien, welche Zusammenhänge zwischen Parametern des EBF-Sport und des POMS untersucht haben*

Autoren	Untersuchte Parameter EBF-Sport	Untersuchte Parameter POMS	Resultate
Garatachea et al. (2006)	Alle Subskalen	Alle Subskalen	Bei den Skalen des EBF-Sport wie des POMS, zeigten sich keine Veränderungen während einer 42-wöchigen Saison bei Kayakern.
Kellmann & Günther (2000)	Erholungs-Subskalen	Alle Subskalen	Positive Korrelation mit Elan/Kraft Negative Korrelation mit Anspannung, Depression, Wut, Müdigkeit und Verwirrung.
	Belastungssubskalen	Alle Subskalen	Negative Korrelation mit Elan/Kraft Positive Korrelation mit Anspannung, Depression, Wut, Müdigkeit und Verwirrung.

Der EBF-Sport kann demnach eine Ergänzung zu den physiologischen Belastungstests sein. Fragebögen können einfache und oft nützliche subjektive Informationen liefern, jedoch ist es bedeutend, dass Faktoren wie die Häufigkeit der Anwendung, die zum Ausfüllen der Fragen benötigte Zeit, die Sensibilität des Fragebogens, die Art der Antwort (schriftliche oder anzu-kreuzende Antworten), Tageszeit des Ausfüllens und die für ein angemessenes Feedback erforderliche Zeit alle beachtet werden (Halson, 2014). Gemäss Birrer (2004) ist weiter zu berücksichtigen, dass Fragebögen «durchschaubar» sind und somit auch manipulierbar sein können.

**1.2.2 Submaximale Herzfrequenz.** Die Überwachung der submaximalen Herzfrequenz (Submax HF) ist eines der gängigsten Mittel zur Beurteilung der Belastung (Halson, 2014; Karvonen & Vuorimaa, 1988). Gemäss Achten und Jeukendrup (2003) sowie Buchheit (2014) ist die Herzfrequenz (HF) im Vergleich zu anderen Indikatoren der Belastungsintensität leicht zu überwachen, relativ kostengünstig und kann in den meisten Situationen eingesetzt werden.

Gemäss Buchheit (2014) liefert die HF im Ruhezustand während fünf Minuten in Kombination mit der Submax HF während einer Belastung die nützlichsten Überwachungsparameter. Weiter eignet sich auch die Herzfrequenzvariabilität (HFV) in Ruhephasen als Überwachungsparameter, um akute (täglich) als auch chronische (drei bis viermal pro Woche) Reaktionen auf das Training zu analysieren. Auch Plews, Laursen, Stanley, Kilding und Buchheit (2013) beschreiben die HFV als ein geeignetes Instrument zur Überwachung des Belastungszustandes bei

Ausdauerathleten. Bei der Studie von Otter et al. (2015) zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen den untersuchten Parametern während einer submaximalen Herzfrequenzmessung und Parametern des EBF-Sport. Gemäss Siegl et al. (2017) und Lamberts, Lemmink, Durandt und Lambert (2004) haben auch Submax HF's das Potenzial, als praktische und nicht-invasive Überwachungsinstrumente zur Überwachung der Müdigkeit zu dienen.

Trotzdem zeigen sich einige Limitationen bei der Überwachung der HF. Gemäss Halson, (2014) müssen Faktoren (z. B.. Hydratation, Körpergewicht, Medikamenteneinnahme), welche die HF beeinflussen, jeweils beachtet werden. Die Beziehung zwischen HF und anderen Parametern wie beispielsweise die Sauerstoffaufnahme, die zur Vorhersage und Überwachung des Trainingsstatus einer Person verwendet werden, kann durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden. Es scheint beispielsweise eine kleine Variabilität der HF von Tag zu Tag zu geben. Zudem steigt die HF, wenn der Körper dehydriert ist. Wenn im dehydrierten Zustand ohne erhöhte Körpertemperatur trainiert wird, kann der Unterschied der HF bis zu 7.5 % sein. Es sind jedoch nicht nur physiologische Faktoren, welche die HF beeinflussen. Auch Umweltfaktoren wie Temperatur oder die Höhe über dem Meeresspiegel beeinflussen die HF (Achten & Jeukendrup, 2003). Auch Bagger, Petersen und Pedersen (2003) berichten von einer täglichen Variabilität der HF von bis zu 6.5 %. Gemäss Achten und Jeukendrup (2003) ergibt sich nach einer Periode der Überbelastung, die zu einem OR oder zu einem OTS führt, ein autonomes Ungleichgewicht, das in den meisten Fällen durch ein überstimuliertes sympathisches System und umgekehrt durch eine verringerte parasympathische Aktivität gekennzeichnet ist. Die Messung kann also als Instrument zur Überwachung des Leistungszustandes wie auch des Belastungszustandes dienen. Da HF-Messungen jedoch nicht alle Aspekte des Wohlbefindens, der Müdigkeit und der Leistung erfassen können, kann ihre Anwendung in Kombination mit anderen psychometrischen und nicht-invasiven Leistungsmarkern eine vollständige Lösung zur Überwachung der Reaktionen auf das Training bei Athletinnen und Athleten bieten (Buchheit, 2014).

**1.2.3 Countermovement Jump.** Der CMJ ist einer der meistverwendeten Tests zur Überprüfung des neuromuskulären Zustandes von Athletinnen und Athleten in Einzelsportarten und Teamsportarten (Claudino et al., 2012; Claudino et al., 2016; Cormack, Newton, McGuigan, & Cormie, 2008; Coutts, Reaburn, Piva & Murphy, 2007; Gathercole, Stellingwerff & Sporer, 2015; Twist & Highton, 2013). Nach Taylor et al. (2012) eignet er sich vor allem, weil er einfach und effektiv ist. Neben der Überprüfung des neuromuskulären Zustandes wird der CMJ

oft auch zur Überprüfung von Kraft-, Plyometrie-, Ausdauer- und Geschwindigkeitstraining benutzt (Claudino et al., 2016).

In einer Metastudie haben Claudino et al. (2016) die Wirksamkeit des CMJ als Testparameter für die Überprüfung der neuromuskulären Ermüdung untersucht. Dabei resultierte, dass die Durchschnittswerte beim CMJ bei der Überwachung und Erkennung von Ermüdung empfindlicher sind als die höchsten Werte beim CMJ. Dies obwohl meistens die höchsten Werte beim CMJ verwendet werden. Daraus konnte geschlossen werden, dass die mittlere CMJ-Höhe im Vergleich zur maximalen CMJ-Höhe die geeignetste Variable zur Überwachung des neuromuskulären Status zu sein scheint. Darüber hinaus wurden auch die folgenden Variablen beim CMJ als geeignet zur Beurteilung von Superkompensationseffekten deklariert: Maximale Leistung, mittlere Leistung, maximale Geschwindigkeit, maximale Kraft sowie mittlerer Impuls und mittlere Leistung, die mittels Gleichung berechnet wurden. Claudino et al. (2012) haben den CMJ als Instrument zur Evaluierung des Leistungs- und Ermüdungszustandes vor der Trainingsbelastung gebraucht. Aus den Resultaten folgt, dass die Verwendung der zu Beginn der Trainingseinheit erzielten CMJ-Leistung als Instrument zur Belastungsregulierung eine signifikante Verringerung der gesamten Trainingsbelastung ermöglichte, ohne die langfristigen Verbesserungen der vertikalen Sprungleistung zu verringern. Auch Gathercole et al. (2015) untersuchte die Eignung des CMJ als Instrument zur Überprüfung von Leistungs- und Ermüdungszuständen. Dabei zeigte sich, dass der CMJ ein nützliches Instrument zur Überwachung von Athletinnen und Athleten sowohl bei akuter Müdigkeit als auch bei trainingsinduzierten adaptiven Reaktionen, insbesondere bei Athletinnen und Athleten, die Sportarten wie Snowboardcross (SBX) betreiben, bei welchen mehrfach Sprünge vorkommen, zu sein scheint.

Im Gegensatz dazu zeigte sich in der Studie von Freitas et al. (2014), welche Elite-Volleyballspielerinnen und -spieler umfasste, keine Veränderung bei den CMJ-Resultaten, als sich die Trainingsbelastung erhöhte. Laut Taylor et al. (2012) muss ein effektives Belastungsmonitoring mindestens eine verkürzte Version des EBF-Sport enthalten, wenn mehrere Parameter des CMJ erhoben werden.

**1.2.4 6-sec Wattbike.** Die anaerobe Leistung ist eine wichtige Komponente in vielen Leistungssportarten (Mendez-Villanueva, Bishop & Hamer (2007). Klassischerweise wird hier der Wingate-Anaerobic-Test (WAnT) herbeigezogen, welcher von O-Bar und Kollegen entwickelt wurde (Bar-Or, 1987; Dotan & Bar-Or, 1983). Beim WAnT muss während 30 sec maximal gegen eine konstante Kraft getreten werden (Bar-Or, 1987).

Eine weitere Möglichkeit, die anaerobe Leistung zu bewerten, bietet der 6-sec all-out Wattbike-Test (6-sec Wattbike). Der 6-sec Wattbike ist stark von der Kraftleistung und vom anaeroben Stoffwechsel abhängig. Dadurch eignet sich dieser Test als genauer Indikator für die anaerobe Leistungsfähigkeit (Gaitanos, Williams, Boobis & Brooks, 1993). Im Vergleich zum WAnT ist der 6-sec Wattbike gemäss Wehbe, Gabbett, Hartwig und McLellan (2015) auch ein nützliches Instrument zur Überwachung der neuromuskulären Ermüdung. Dies jedoch nur, wenn dieses Instrument regelmässig angewendet wird. Zudem sei der 6-sec Wattbike ein praktischer und reliabler Feldtest, welcher mit minimaler Unterbrechung des Trainings durchgeführt werden kann. Laut McLean, Petrucelli und Coyle (2012) eignet sich die Messung der maximalen Leistungsabgabe auf einem Ergometer für das Belastungsmonitoring. Zudem liefert eine Implementierung eines subjektiven Messverfahrens, beispielsweise Fragebögen, zusätzliche nützliche Informationen. Gemäss Wehbe, Gabbett, Dwyer, McLellan und Coad (2015) eignet sich der 6-sec Wattbike um die spielbedingte neuromuskuläre Ermüdung in laufbasierten Mannschaftssportarten zu überprüfen. Es zeigte sich eine erhebliche Reduktion bei den maximalen Leistungen (peak power) beim 6-sec Wattbike 24 Stunden nach der Belastung. Zugleich stimmte dies mit den Resultaten des üblicherweise genutzten CMJ überein. Mendez-Villanueva et al. (2007) haben in ihrer Studie die Reproduzierbarkeit des 6-sec Wattbike analysiert. Die Studie besagt, dass sich zuverlässige Resultate erst zeigen, wenn die Probanden mit dem 6-sec Wattbike vertraut sind.

### **1.3 Ziel der Arbeit**

Wie für andere Sportarten ist das Belastungsmonitoring heutzutage auch ein bedeutender Teil des alpinen Skirennsports. Es ist jedoch unklar, welche Parameter und Messverfahren die geeignetsten sind.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Zusammenhänge von subjektiven und objektiven Messverfahren im Belastungsmonitoring von Skirennfahrerinnen und Skirennfahrern zu untersuchen und individuelle Schwellenwerte für den Parameter EBF-Sport-Gesamtscore aufzuzeigen und zu evaluieren. Dabei werden die Parameter, welche zur Quantifizierung der objektiven Belastungsmonitoring-Methoden (Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike) mit den Parametern zur Quantifizierung der subjektiven Methoden des Belastungsmonitoring (Schlaf, Erholung, Beanspruchung und EBF-Sport-Gesamtscore) verglichen. Weiter wird untersucht, ob beim Parameter EBF-Sport-Gesamtscore und Kombiparameter, mögliche individuelle Schwellenwerte, beziehungsweise rote Zonen, definiert werden können.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

- a) Besteht ein Zusammenhang zwischen den subjektiven Parametern der Belastungsmonitoring-Methoden (Schlaf, Erholung und Beanspruchung) und den objektiven Parametern der Belastungsmonitoring-Methoden (Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike)?
- b) Besteht ein Zusammenhang zwischen den objektiven Parametern der Belastungsmonitoring-Methoden (Submax HF, CMJ und 6-sec Wattbike) und den Resultaten des EBF-Sport-Gesamtscores?
- c) Können individuelle Schwellenwerte beziehungsweise rote Zonen für die Parameter EBF-Sport-Gesamtscore und Kombiparameter, bei Abweichungen von MW zuzüglich STD, MW zuzüglich STD + 5 % und MW zuzüglich STD + 10 % definiert werden?

## 2 Methode

### 2.1 Untersuchungsgruppe

Für die Datenerhebung wurden 17 Athletinnen und Athleten (fünf Männer und zwölf Frauen) ausgewählt. Das Durchschnittsalter betrug  $19.0 \pm 2.9$  Jahre und das Durchschnittsgewicht  $88.0 \pm 12.1$  kg. Die Athletinnen und Athleten besaßen alle eine Swiss-Ski-Kaderzugehörigkeit. Elf Athleten und Athletinnen waren Mitglieder der C-Kader-Trainingsgruppe. Fünf Athletinnen und Athleten waren Mitglieder der Europacup-Trainingsgruppe und ein/e Athlet/in war Mitglied der Weltcup-Trainingsgruppe. Die Untersuchung wurde von der Schweizerischen Ethikkommissionen zur Nachforschung am Menschen genehmigt.

### 2.2 Studiendesign

Der Ablauf des Projekts umfasste sechs Schritte. Zuerst wurde jeweils das Gewicht der Athletin oder des Athleten gemessen, danach wurde der Fragebogen ausgefüllt. Der nächste Schritt bestand aus der Erhebung der Submax HF bei 65 % und 85 % der maximalen Herzfrequenz auf dem Fahrradergometer. Nachfolgend erhielten die Athletinnen und Athleten fünf Minuten Zeit für ein individuelles Aufwärmen, welches immer gleich sein sollte. Nachdem das Aufwärmen beendet war, wurden drei CMJ absolviert. Zum Abschluss absolvierten die Athletinnen und Athleten einen 6-sec Wattbike.

### 2.3 Instrumente

**2.3.1 EBF-Sport.** Der vorliegende EBF-Sport bestand aus sechs Aussagen zum subjektiven Erholungs- und Belastungsempfinden und einem zusätzlichen Item (Schlaf), welches auf die 76-Item-Vollversion basiert (Kallus & Kellmann, 2016). Die Fragen bezogen sich auf belastende und erholsame Ereignisse und ihre subjektiven Folgen während der letzten drei Nächte/Tage und wurden auf einer Antwortskala von 0 (nie) bis 6 (immerzu) beantwortet. Gebrauchte wurden drei verschiedene Versionen mit den gleichen Items, jedoch mit unterschiedlichen Skalen (siehe Anhang). Der EBF-Sport wurde mittels Internet-Link ([myebf.ch](http://myebf.ch)) auf einem Tablet oder auf dem Smartphone der Athletinnen und Athleten online ausgefüllt. Zunächst mussten die Athletinnen und Athleten fünf Einstiegsfragen zum allgemeinen Zustand beantworten. Die Athletinnen mussten zusätzlich noch eine Frage zur Menstruation beantworten. Danach folgten sieben Fragen von einer der drei EBF-Sport Kurzversionen. Aus den

ausgefüllten Fragebögen wurden die Werte der Parameter EBF-Sport-Gesamtscore, Erholung, Beanspruchung und Schlaf für die Datenauswertung gezogen. Drei Items wurden dem Parameter Erholung und drei Items dem Parameter Beanspruchung zugeordnet. Dabei wurden für die Datenauswertung die Items 1, 3 und 4 dem Parameter Beanspruchung zugeordnet. Die Items 2, 5 und 6 wurden dem Parameter Erholung zugeordnet. Für den Parameter Schlaf wurde Item 7 (Sleep) benutzt. In der untenstehenden Tabelle 3 ist der Ablauf des EBF-Sport Fragebogens ersichtlich.

Tabelle 3  
Fragen und Ablauf des EBF-Sport Fragebogens

Teil	Subskala	Item	Ausprägungs-Skala
Einstiegsfragen		Was war die durchschnittlich gefühlte Intensität der letzten drei Trainingstage?	1 (keine Anstrengung) bis 10 (maximale Anstrengung)
		Zurzeit bin ich ...	gesund / krank <sup>1</sup> / verletzt <sup>2</sup>
		Wie motiviert bist du?	1 – 6 (Pfeile)
		Wie ist deine generelle Stimmung/Laune?	1 – 6 (Smileys)
		Menstruation?	Ja / Nein
EBF-Sport Kurzversion 1	General Stress	1a War ich missgestimmt?	Likert-Typ Skala <sup>3</sup>
	General Well-Being	2a Hatte ich gute Laune?	Likert-Typ Skala
	Fitness/Injury	3a Taten mir Teile meines Körpers weh?	Likert-Typ Skala
	Fatigue	4a Hatte ich zu wenig Schlaf?	Likert-Typ Skala
	Fitness/Being in Shape	5a Konnte ich mich körperlich gut erholen?	Likert-Typ Skala
	Somatic Relaxation	6a Habe ich mich körperlich entspannt gefühlt?	Likert-Typ Skala
Zusätzlich	Sleep	7a War mein Schlaf erholsam?	Likert-Typ Skala

*Anmerkungen.* <sup>1</sup>Wenn «Zurzeit bin ich ...» mit krank beantwortet wurde, musste eine Skala von 1 (nicht krank) bis 6 (maximal krank) angegeben werden. <sup>2</sup>Wenn «Zurzeit bin ich ...» mit verletzt beantwortet wurde, musste eine Skala von 1 (keine Schmerzen) bis 10 (maximale Schmerzen) angegeben werden. <sup>3</sup>Es wurde eine Likert-Typ Skala verwendet mit Werten zwischen 1 (nie) und 6 (sehr oft).

**2.3.2 Submax HF.** Der Submax HF wurde auf einem Fahrradergometer absolviert. Das Ablaufprotokoll umfasste mehrere Schritte. Vorgängig mussten jeweils die Sattelhöhe und die Lenkradhöhe für die Athletin oder den Athleten vorbereitet und eingestellt werden. Danach mussten die Gänge auf 65 % der maximalen Herzfrequenz (HFmax) sowie auf 85 % der HFmax eingestellt werden. Diese wurden beim ersten Test angepasst. Zusätzlich mussten die

Athletinnen und Athleten ihr Gewicht messen und einen Pulsgurt anlegen und die Pulsuhr wurde am Lenker des Fahrradergometers befestigt. Mit dem ersten Tritt wurde die Pulsuhr jeweils gestartet. Zunächst mussten sich die Athletinnen und die Athleten drei Minuten bei einer Trittfrequenz von ca. 70 bis 80 Umdrehungen pro Minute (rpm) aufwärmen. Zwischen Minute vier und fünf musste dann eine Trittfrequenz von 85 rpm erreicht werden. Bei Minute sieben wurde die subjektive Beurteilung mittels Rate of Perceived Exertion (RPE) auf einer Foster-Skala von 1-10 gemessen. Bis zur achten Minute mussten 65 % HFmax bei 85 rpm gehalten werden. Der MW während dieses Messzeitraums ergab den Wert für den Parameter HFmean65%. Nach acht Minuten erfolgte ein kurzer Sprint von zehn Sekunden. Nach diesem Sprint mussten 85 % HFmax bei 95 rpm bis Minute neun gehalten werden. Von Minute neun bis neuneinhalb mussten 85 % HFmax bei 100 rpm erreicht und bis Minute zehn gehalten werden. Der MW während dieses Messzeitraums ergab den Wert für den Parameter HFmean85%, welcher in die Datenauswertung einfluss. Nach diesen insgesamt zehn Minuten mussten die Athletinnen und Athleten anhalten und für eine Minute ruhig auf dem Fahrradergometer sitzen, ohne zu treten. Der MW aus diesem Zeitraum ergab den Wert für den Parameter HFmeanrec. Danach wurde die Pulsuhr gestoppt und der Test war beendet.

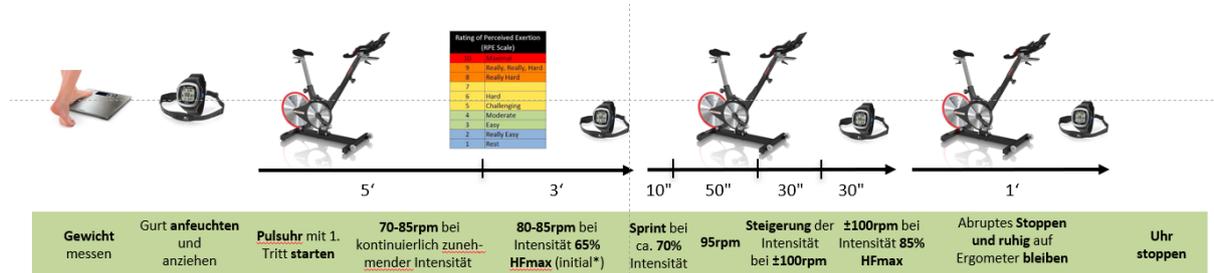


Abbildung 1. Ablaufprotokoll des Submax HF.

**2.3.3 6-sec Wattbike.** Der 6-sec Wattbike wurde auf einem Fahrradergometer absolviert. Vorgängig mussten jeweils die Sattelhöhe, die Lenkradhöhe sowie die Sitzlänge für die Athletin oder den Athleten vorbereitet und eingestellt werden. Diese wurden beim ersten Test notiert. Der Luft- und Magnetwiderstand wurde vom Computer des Fahrradergometers anhand des Körpergewichts, welches eingegeben wurde, eingestellt. Bei der Ausführung wurde darauf geachtet, dass die Athletinnen und Athleten im Sattel bleiben. Danach wurde auf dem Bildschirm des Fahrradergometers ein 5-Sekunden-Countdown gestartet. Nach Ablauf des Countdowns wurde der Test gestartet. Dieser musste immer aus der gleichen Ausgangsposition, also immer mit dem gleichen Tritt, gestartet werden. Nach den sechs Sekunden gab der Testleiter das

Zeichen zum Stopp. In die Datenauswertung flossen die Werte von drei Parametern des 6-sec Wattbike ein. Der Parameter Pmax stellte die maximale Leistung in Watt dar, welche während den sechs Sekunden erreicht wurde. Der Parameter Pmean stellte die mittlere Leistung in Watt dar, welche während den sechs Sekunden resultierte. Der Parameter Prel war ein relativer Wert, welcher sich aus der mittleren Leistung (Pmean) in Watt, dividiert durch das Körpergewicht der jeweiligen Probanden am Messtag in Kilogramm ergab. Beim Fahrradergometer handelte es sich um ein Wattbike-Pro-Modell der Firma Wattbike, USA. Das Wattbike ist ein luft- oder magnetgebremstes Ergometer, welches über eine Kraftmesszelle, die sich neben der Kette befindet, die Leistungsabgabe misst. Sobald die Kette über die Kraftmesszelle läuft, berechnet sie die Kräfte, welche von den Kurbeln auf die Kette übertragen werden.

**2.3.4 CMJ.** Der CMJ ist ein beidbeiniger Sprungtest. Es wurden jeweils drei Sprünge auf einer Kraftmessplatte absolviert. Der beste Sprung floss dann jeweils in die Datenauswertung ein. Bei den Sprüngen mussten die Athletinnen und Athleten mit einer hüftbreiten Fussstellung, mit den Händen in den Hüften, aufrecht auf der Kraftmessplatte stehen. Daraufhin gab der Testleiter die Befehle «eins, zwei UND Hopp!». Beim «UND» musste die Athletin oder der Athlet in die Knie gehen ( $90^\circ$  Kniewinkel) und bei «Hopp» erfolgte der Absprung. Auf eine saubere Ausführung wurde Wert gelegt. Bei Fehlern oder schlechter Ausführung wurden Korrekturen angebracht und der Sprung musste wiederholt werden. Für die Datenauswertung wurden drei Parameter des CMJ berücksichtigt. Der Parameter CMJPmaxrel stellte die maximale Leistung in Metern pro Sekunde ( $t_{max}$ ) dividiert durch das Körpergewicht in Kilogramm der Probanden dar. Der Parameter CMJP1/3rel stellte die mittlere Leistung von  $t_{v0}$  bis  $t_{1/3}$  dividiert durch das Körpergewicht in Kilogramm der Probanden dar. Der Wert  $t_{v0}$  war dabei der Umkehrpunkt beim CMJ. Der Umkehrpunkt ist jener Punkt beim CMJ, bei welchem die Geschwindigkeit gleich 0 ist. Der Wert  $t_{1/3}$  resultierte aus  $t_{v0} + ((t_{vmax} - t_{v0}) / 3)$ . Der Parameter CMJFv0 stellte die Leistung in Newton dar, welche beim Umkehrpunkt beim CMJ resultierte. Die Kraftmessplatten SPS bestanden aus zwei Kraftmessplatten (600x400x80) der Firma Fa. Sp Sportdiagnosegeräte GmbH, 6152 Trins, Österreich. Als Messsoftware für die CMJ kam das Modell «SPSport MLD 2010» zum Einsatz.

## **2.4 Datenauswertung**

Alle Daten wurden in Microsoft Excel (Microsoft Office 365, Microsoft Corporation, Redmond, USA) gesammelt und z-transformiert. Für die statistische Auswertung wurden nur

z-transformierte Daten benutzt. Die Datenauswertung erfolgte mittels des Statistikprogramms SPSS (IBM SPSS Statistics 27, IBM Corporation, Armonk, USA).

Für die Fragestellung eins und zwei wurden die Daten mittels linearer Regression auf einen Zusammenhang geprüft. Die Effektstärke wurde mittels Cohen's  $f$  geprüft. Für die dritte Fragestellung wurden individuelle Verlaufsgrafiken mit möglichen Schwellenwerten der Resultate des EBF-Sport-Gesamtscore und des Kombiparameter erstellt. Vorgängig wurden der MW zuzüglich STD, der MW zuzüglich STD + 5 % sowie der MW zuzüglich STD + 10 % als Schwellenwerte definiert. Für die statistische Nachweisbarkeit der Schwellenwerte wurden die MW des EBF-Sport-Gesamtscore der Athletinnen und Athleten mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) auf einen Unterschied untersucht. Weiter wurden die MW des EBF-Sport-Gesamtscore von *allen* Athletinnen und Athleten mit den MW der vorgängig definierten Schwellenwerte des EBF-Sport-Gesamtscore von *allen* Athletinnen und Athleten verglichen. Dabei wurde ein *Mann-Whitney-U-Test* gemacht.

Der Kombiparameter setzte sich aus mehreren Parametern zusammen. Zur Berechnung des Kombiparameter wurden der Pmax vom 6-sec Wattbike, die maximale Leistung (CMJPmax) beim CMJ sowie die Resultate des subjektiven Parameters Schlaf berücksichtigt. Die Berechnung sah folgendermassen aus:  $(2 \times Pmax + CMJPmax + Schlaf) / 4 = \text{Kombiparameter}$ .

Für alle statistischen Tests wurde ein  $p$ -Wert  $< .05$  als signifikant angenommen. Die Einteilung der Effektstärke erfolgte nach Cohen (1988). Dabei wurde ein Effekt von  $f = .10$  als schwacher,  $f = .25$  als mittlerer und  $f = .40$  als starker Effekt angenommen.

### 3 Resultate

#### 3.1 Zusammenhang von subjektiven Parametern und objektiven Parametern

Zwischen dem subjektivem Parameter Erholung und den objektiven Parametern CMJpmaxrel ( $F(1,56) = 9.345, p = .003$ ), Pmean ( $F(1,58) = 10.180, p = .002$ ), Pmax ( $F(1,62) = 13.163, p = .001$ ) und Prel ( $F(1,58) = 5.808, p = .019$ ) ergab die einfache lineare Regression signifikante Zusammenhänge.

Zwischen dem subjektivem Parameter Beanspruchung und den objektiven Parametern CMJpmaxrel ( $F(1,56) = 7.651, p = .008$ ), Pmean ( $F(1,58) = 8.676, p = .005$ ), Pmax ( $F(1,62) = 4.156, p = .046$ ) und Prel ( $F(1,58) = 9.997, p = .002$ ) ergab die einfache lineare Regression signifikante Zusammenhänge.

Die weiteren Resultate des Zusammenhangs zwischen den subjektiven Parametern Schlaf, Erholung und Beanspruchung und den objektiven Parametern Submax HF, CMJ und 6-sec Wattbike sind in den Tabellen 4 bis 6 ersichtlich. In diesen Tabellen werden die Werte  $R^2$ ,  $p$  und Cohen`s  $f$  dargestellt.

Tabelle 4

*Zusammenhang zwischen dem Parameter Schlaf und den objektiven Parametern Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike*

Parameter	R <sup>2</sup>	Schlaf Cohen`s $f$	$\beta$
<i>Submax HF</i>			
HFmean65%	.020	.143	-.143
HFmean85%	.035	.190	-.188
HFmeanrec	.048	.225	-.218
<i>CMJ</i>			
CMJpmaxrel	.015	.123	.124
CMJP1/3rel	.001	.032	-.028
CMJFv0	.001	.032	.033
<i>6-sec Wattbike</i>			
Prel	.003	.055	.053
Pmean	.019	.139	.139
Pmax	.046	.220	.215

Anmerkungen. \* =  $p < 0.05$ .

Tabelle 5

Zusammenhang von Parameter Erholung und den objektiven Parametern Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike

Parameter	Erholung		
	R <sup>2</sup>	Cohen`s f	β
<i>Submax HF</i>			
HFmean65%	.087	.309	.295
HFmean85%	.007	-.084	-.084
HFmeanrec	.000	.000	-.019
<i>CMJ</i>			
CMJPmaxrel	.143*	.408	.378
CMJP1/3rel	.000	.000	-.010
CMJFv0	.000	.000	-.020
<i>6-sec Wattbike</i>			
Prel	.091*	.316	.302
Pmean	.149*	.418	.386
Pmax	.175*	.461	.418

Anmerkungen. \* =  $p < 0.05$ .

Tabelle 6

Zusammenhang zwischen dem Parameter Beanspruchung und den objektiven Parametern Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike

Parameter	Beanspruchung		
	R <sup>2</sup>	Cohen`s f	β
<i>Submax HF</i>			
HFmean65%	.016	.128	.126
HFmean85%	.066	.266	.258
HFmeanrec	.003	.055	-.055
<i>CMJ</i>			
CMJPmaxrel	.120*	.369	-.347
CMJP1/3rel	.020	.143	-.141
CMJFv0	.000	.000	.004
<i>6-sec Wattbike</i>			
Prel	.147*	.415	-.383
Pmean	.130*	.387	-.361
Pmax	.063*	.259	-.251

Anmerkungen. \* =  $p < 0.05$ .

### 3.2 Zusammenhang EBF-Sport und den objektiven Parametern.

Zwischen dem subjektivem Parameter EBF-Sport Gesamtscore und den objektiven Parametern CMJPmaxrel ( $F(1,56) = 12.829, p = .001$ ), Pmean ( $F(1,58) = 13.860, p = .000$ ), Pmax ( $F(1,62)$

= 17.148,  $p = .000$ ) und Prel ( $F(1,58) = 10.369$ ,  $p = .002$ ) ergab die einfache lineare Regression signifikante Zusammenhänge.

Die weiteren Resultate des Zusammenhangs zwischen dem subjektivem Parameter EBF-Sport-Gesamtscore und den objektiven Parametern Submax HF, CMJ und 6-sec Wattbike sind in den Tabellen 7 ersichtlich. In diesen Tabellen werden die Werte  $R^2$ ,  $p$  und Cohen`s  $f$  dargestellt.

Tabelle 7

*Zusammenhang zwischen dem Parameter EBF-Sport-Gesamtscore und den objektiven Parametern.*

Parameter	EBF-Sport-Gesamtscore		
	$R^2$	Cohen`s $f$	$\beta$
<i>Submax HF</i>			
HFmean65%	.018	.135	.134
HFmean85%	.048	.225	-.218
HFmeanrec	.001	.032	.031
<i>CMJ</i>			
CMJPmaxrel	.186*	.478	.432
CMJP1/3rel	.005	.071	.070
CMJFv0	.000	.000	-.011
<i>6-sec Wattbike</i>			
Prel	.152*	.423	.389
Pmean	.193*	.489	.439
Pmax	.217*	.526	.465

Anmerkungen. \* =  $p < 0.05$ .

### 3.3 Individuelle Verlaufsgrafiken

Für die Auswertung wurden nur jene Probanden und Probandinnen berücksichtigt, welche den EBF-Sport mindestens zehn Mal ausgefüllt hatten. Die Resultate von fünf Probandinnen und Probanden wurden dementsprechend nicht berücksichtigt. Der Kombiparameter wurde aufgrund unvollständiger Datenlage ebenfalls nicht berücksichtigt.

Gesamthaft wurden 223 ( $-.12 \pm 1.38$ ) ausgefüllte Fragebögen berücksichtigt. Die deskriptive Statistik des EBF-Sport-Gesamtscore aller Probandinnen und Probanden ist in Tabelle 8 aufgeführt. Zwischen den MW der EBF-Sport-Gesamtscore der Probandinnen und Probanden fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 8

Deskriptive Statistik des EBF-Sport-Gesamtscore pro Probandinnen und Probanden.

Proband/in	EBF-Sport-Gesamtscore		
	MW	STD	n
Proband/in 1	-.05	.65	16
Proband/in 2	-.86	1.24	21
Proband/in 6	-.14	1.16	19
Proband/in 7	.29	.88	19
Proband/in 8	.07	1.00	22
Proband/in 9	-.03	1.34	22
Proband/in 10	-.24	1.34	23
Proband/in 11	.41	.99	11
Proband/in 12	.25	1.04	17
Proband/in 13	-.20	1.11	16
Proband/in 14	-.72	3.01	19
Proband/in 15	.06	.91	18

Anmerkungen. MW = Mittelwert; STD = Standardabweichung; n = Anzahl ausgefüllter EBF-Sport Fragebögen.

In der untenstehenden Abbildung 2 ist die Verteilung des Parameters EBF-Sport-Gesamtscore bei den Probandinnen und Probanden mittels Boxplot dargestellt.

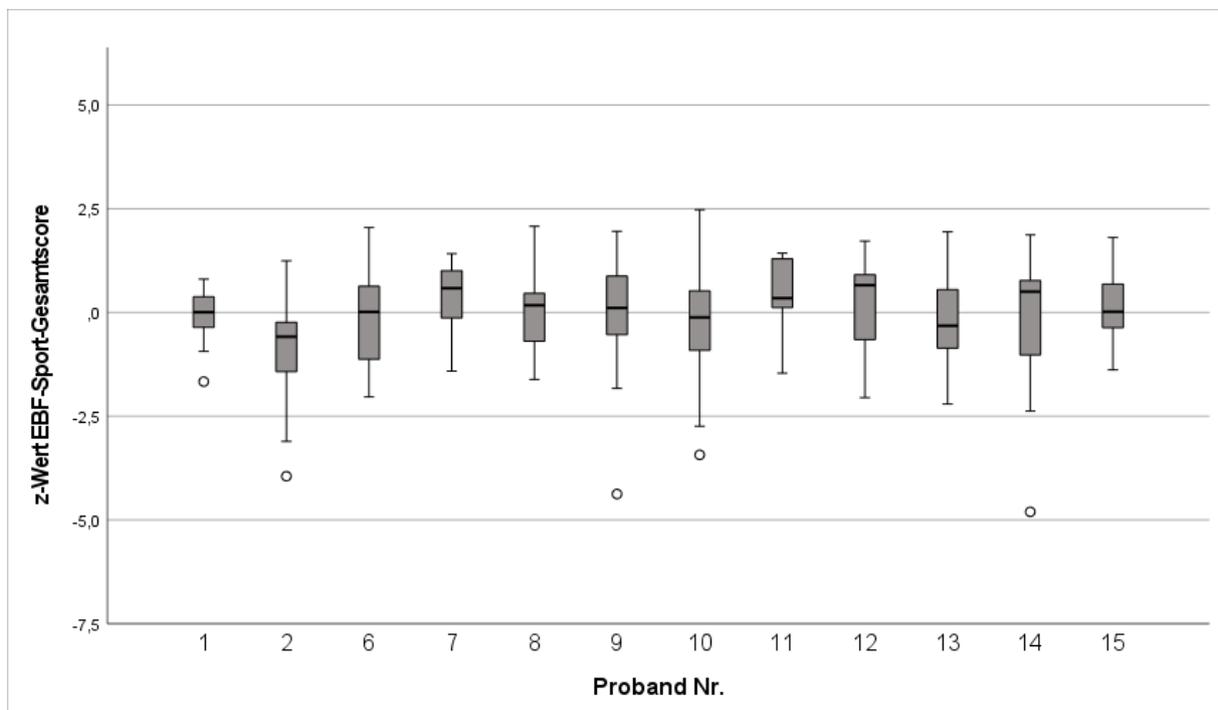


Abbildung 2. EBF-Sport-Gesamtscore. n = 223; Ausreisser sind mit den Kreisen gekennzeichnet. Ein extremer Ausreisser wurde in der Grafik aufgrund von Darstellungsüberlegungen nicht berücksichtigt.

Der Vergleich zwischen allen MW des EBF-Sport-Gesamtscore und allen MW + STD ergab einen signifikanten Unterschied ( $U = 1.000, p = .000$ ). Der Vergleich zwischen allen MW des EBF-Sport und alle MW + STD + 5 % ergab einen signifikanten Unterschied ( $U = .000, p = .000$ ). Der Vergleich zwischen allen MW des EBF-Sport und allen MW + SD + 10 % ergab einen signifikanten Unterschied ( $U = .000, p = .000$ ). Nachdem bereits der Unterschied zwischen MW und MW + STD signifikant war, wurde zusätzlich der Schwellenwert MW + 1/2STD definiert. Der Vergleich zwischen allen MW des EBF-Sport und allen MW + 1/2SD ergab einen signifikanten Unterschied ( $U = 14.000, p = .001$ ).

Von gesamt 223 ( $-12 \pm 1.38$ ) ausgefüllten Fragebögen wurde der Schwellenwert STD 62 Mal von den Athletinnen und Athleten übertreten. Der Schwellenwert STD + 5 % wurde 54 Mal von den Athletinnen und Athleten übertreten. Der Schwellenwert STD + 10 % wurde 50 Mal von den Athletinnen und Athleten übertreten. In Tabelle 9 sind die Übertretungen der Schwellenwerte dargestellt. Der nachträglich definierte Schwellenwert MW + 1/2STD wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Tabelle 9

*Anzahl Übertretungen der roten Zonen beim EBF-Sport-Gesamtscore pro Probandinnen und Probanden*

Proband/in	Schwellenwerte			n
	MW + STD	MW + STD + 5 %	STD + 10 %	
Proband/in 1	5	5	4	16
Proband/in 2	6	6	5	21
Proband/in 6	6	5	5	19
Proband/in 7	5	5	5	19
Proband/in 8	9	7	6	22
Proband/in 9	2	2	2	22
Proband/in 10	5	5	4	23
Proband/in 11	5	2	2	11
Proband/in 12	6	5	5	17
Proband/in 13	5	5	5	16
Proband/in 14	2	2	2	19
Proband/in 15	6	5	5	18
Gesamt	62	54	50	223

Anmerkungen. n = Anzahl ausgefüllter EBF-Sport-Fragebögen.

In den untenstehenden Abbildungen 3 und 4 sind zwei Verlaufsgrafiken des EBF-Sport-Gesamtscore von zwei unterschiedlichen Probanden/innen ersichtlich.

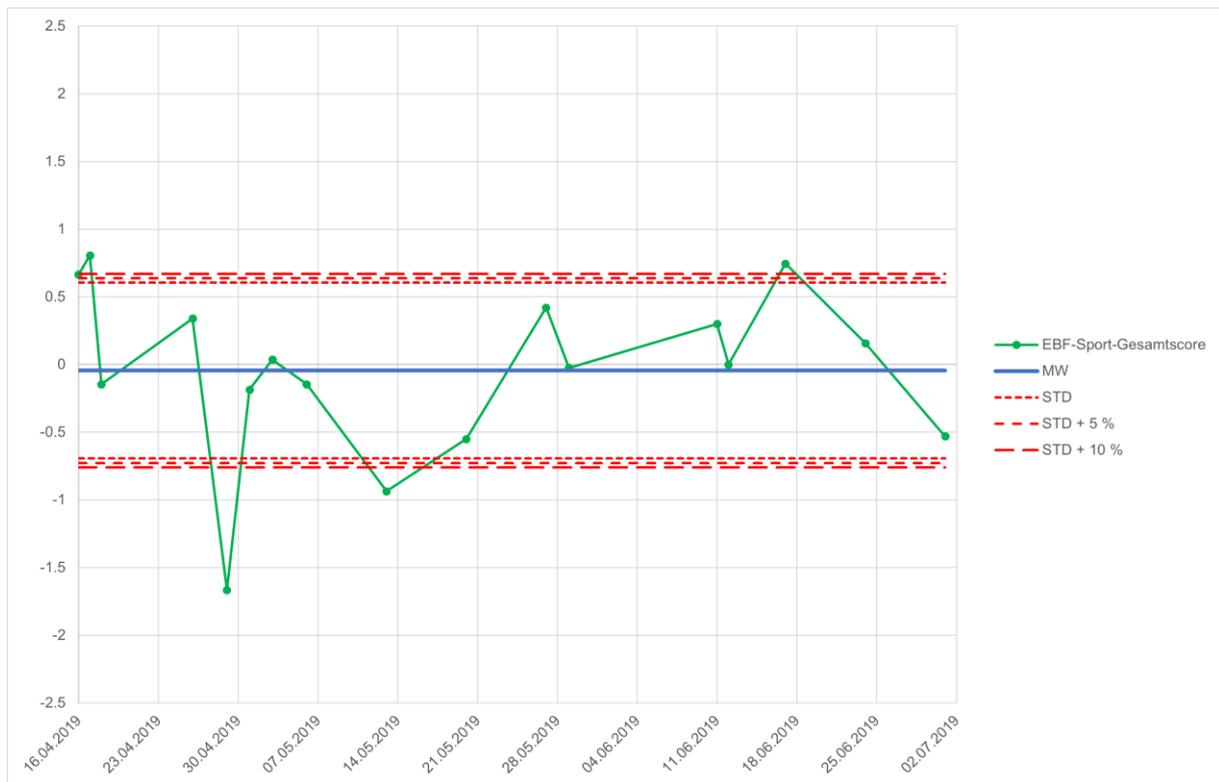


Abbildung 3. Zeitlicher Verlauf des EBF-Sport-Gesamtscore von Proband/in 1. Y-Achse = z-Wert EBF-Sport-Gesamtscore. X-Achse = Datum. MW = Mittelwert. STD = Standardabweichung. STD + 5 % = Standardabweichung zuzüglich 5 %. STD + 10 % = Standardabweichung zuzüglich 5 %.

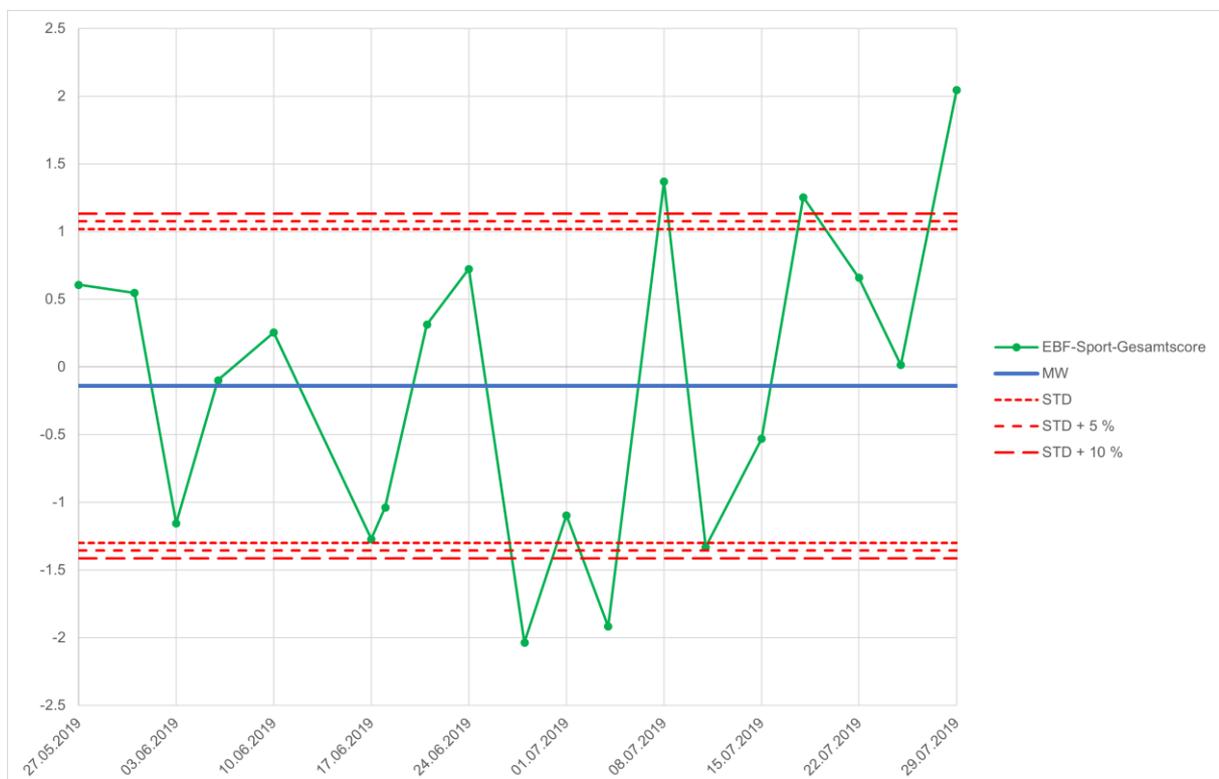


Abbildung 4. Zeitlicher Verlauf des EBF-Sport-Gesamtscore von Proband/in 6. Y-Achse = z-Wert EBF-Sport-Gesamtscore. X-Achse = Datum. MW = Mittelwert. STD = Standardabweichung. STD + 5 % = Standardabweichung zuzüglich 5 %. STD + 10 % = Standardabweichung zuzüglich 5 %.

## 4 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, ob zwischen (1) den subjektiven Parametern des Belastungsmonitorings (Schlaf, Erholung & Beanspruchung) und den objektiven Parametern des Belastungsmonitorings (Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike) sowie zwischen (2) dem EBF-Sport-Gesamtscore und den einzelnen objektiven Parametern des Belastungsmonitorings (Submax HF, CMJ, 6-sec Wattbike) ein Zusammenhang besteht. Weiter wurden (3) individuelle Verlaufsgrafiken der Probandinnen und Probanden erstellt, bei welchen versucht wurde, individuelle Schwellenwerte beziehungsweise rote Zonen zu definieren. Die Resultate zeigten bei den Parametern des 6-sec Wattbike und beim Parameter CMJmaxrel des CMJ signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern Erholung, Beanspruchung und dem EBF-Sport-Gesamtscore. Die Parameter des Submax HF zeigten keine signifikanten Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern. Ein möglicher Schwellenwert konnte aufgrund des signifikanten Unterschieds beim MW + STD definiert werden.

### 4.1 Submax HF

In der vorliegenden Arbeit zeigten die Parameter HFmean65%, HFmean85% und HFmeanrec der Submax HF keine signifikanten Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern Schlaf, Erholung, Beanspruchung sowie mit dem EBF-Sport-Gesamtscore. Eine Veränderung der subjektiven Parameter Schlaf, Erholung, Beanspruchung und EBF-Sport-Gesamtscore kann gemäss vorliegenden Resultaten nicht mit dem objektiven Parameter Submax HF bestätigt werden.

Die vorliegenden Resultate bestätigen nicht die Resultate von Otter et al. (2015). Ihre Studie zeigte, dass erhöhte Erholungssubskalen des EBF-Sport mit einem höheren Wert bei 80 % der HFmax während eines Submax HF zusammenhängen. Die Probandengruppe bestand aus zwanzig Athletinnen der Sportarten Triathlon, Rad und Eisschnelllauf. Ebenfalls ergaben höhere allgemeine Beanspruchungssubskalen Zusammenhänge mit einem niedrigeren Wert bei 90 % der HFmax und bei 60 % der HFmax. Eine mögliche Erklärung dieser Unterschiede könnte die Wahl der Stichprobe geben. Bei der Studie Otter et al. (2015) wurden Probandinnen aus Ausdauersportarten untersucht. Ein Submax HF und generell HF-Messungen könnten allenfalls aussagekräftiger bei Ausdauerathletinnen und -athleten sein. Roos et al. (2013) erklärt, dass HF-Messungen vor allem bei Ausdauersportarten beliebt sind. Gemäss Buchheit (2014) könnten widersprüchliche Resultate aus seiner Metaanalyse mit methodischen Unstimmigkeiten erklärt werden. Auch durch methodische Unterschiede in der vorliegenden Arbeit könnten die

Resultate eventuell erklärt werden. Weiter erklärt Buchheit (2014), dass HF-Messungen nicht alle Aspekte des Wohlbefindens, der Müdigkeit und der Leistung erfassen könnten. Diese Aussage wiederum stützt die vorliegenden Resultate. Mehrere Autoren (Achten & Jeukendrup, 2003; Buchheit, 2014; Halson, 2014; Plews et al., 2013) erklären, dass HF-Messungen, intra-individuellen Unterschieden unterstehen und dass mehrere externe Faktoren (z. B.. Temperatur, Hydration, Körpergewicht, Medikamenteinnahme) diese weiter beeinflussen können. Diese intra-individuellen Unterschiede bei der HF und bei den Resultaten des EBF-Sport-Gesamtscore sind ein weiterer möglicher Erklärungsgrund, warum die Parameter keine signifikanten Zusammenhänge zeigten. Bagger et al. (2003) berichten in ihrer Studie von einer täglichen HF-Variabilität von bis zu 6.5 %. Aus der Studie von Lamberts et al. (2004) resultierte während einer Submax HF eine tägliche HF-Variabilität von 5 – 8 Herzfrequenzschlägen pro Minute (bpm). Sie führen weiter aus, dass diese Einflussfaktoren bestmöglich kontrolliert werden beziehungsweise bei der Interpretation beachtet werden sollten. In der vorliegenden Arbeit wurde diese tägliche HF-Variabilität nicht berücksichtigt. Eine Berücksichtigung dieser hätte allenfalls andere Resultate gezeigt.

Die vorliegenden Resultate bestärken hingegen Buchheit (2014) und Siegl et al. (2017), wobei es wichtig ist, dass die Erfassung des Submax HF mit einem subjektiven Parameter des Belastungsmonitoring wie beispielsweise einem Fragebogen kombiniert wird. Zudem sei für eine angemessene Interpretation auch die Verwendung von Blut- oder Hormonmarkern empfehlenswert. Buchheit (2014) erklärt, dass die Anwendung von HF-Messungen als Belastungsmonitoring-Instrument in Kombination mit anderen psychometrischen und nicht-invasiven Leistungsmarkern eine vollständige Lösung zur Überwachung der Reaktionen auf das Training bei Sportlerinnen und Sportlern bieten kann. Da der Submax HF in der vorliegenden Arbeit keine signifikanten Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern aufwies, scheint eine isolierte Nutzung des Submax HF als Instrument für das Belastungsmonitoring wenig sinnvoll. Eine weitere Problematik des Submax HF stellt sich in der Praktikabilität dar. Einerseits dauert diese Erfassungsmethode deutlich länger als alle anderen berücksichtigten Methoden, andererseits braucht es immer ein Fahrradergometer, um diesen Test absolvieren zu können. Falls die Tests wie im vorliegenden Fall an einem fixen Standort mit den gleichen Fahrradergometern durchgeführt werden, stellt das kein Problem dar. Da die Skirennfahrerinnen und Skirennfahrer jedoch je nach Trainings- bzw. Wettkampfphase sehr oft unterwegs sind, ist das ein logistisches Problem. Während den Schneetrainingsphasen und der Wettkampfphase müsste ein Fahrradergometer jeweils mittransportiert werden. Aufgrund der vorliegenden Resultate ist dieser Aufwand wohl

zu gross. Dementsprechend kann der Submax HF als Belastungsmonitoring Methode für Skirennfahrerinnen und Skirennfahrer übergangen werden.

## 4.2 CMJ

In der vorliegenden Arbeit zeigte der Parameter CMJ<sub>maxrel</sub> einen signifikanten Zusammenhang mit dem subjektiven Parametern Erholung, Beanspruchung und dem EBF-Sport-Gesamtscore. Der Werte des subjektiven Parameters Erholung sowie des EBF-Sport-Gesamtscore stiegen beide mit einem mittleren Effekt, wenn der CMJ<sub>maxrel</sub> anstieg. Der subjektive Parameter Beanspruchung sank mit einem mittleren Effekt, wenn der CMJ<sub>maxrel</sub> anstieg. Die anderen Parameter zeigten keine signifikanten Zusammenhänge.

Die vorliegenden Resultate unterstützen die Studie von Claudino et al. (2012). Diese hat den CMJ als Instrument zur Evaluierung des Leistungs- und Ermüdungszustandes vor der Trainingsbelastung eingesetzt. Bei der Studie wurden 44 männliche Sportstudenten in vier verschiedene Testgruppen eingeteilt. Aus den Resultaten folgte, dass die Verwendung des CMJ als Instrument zur Regulierung der Trainingsbelastung zu Beginn einer Trainingseinheit zu einer Verringerung der Gesamttrainingsbelastung führte, und dies ohne die Leistungssteigerung zu beeinträchtigen. Mit den Resultaten der vorliegenden Arbeit können keine Aussagen über die Leistungssteigerung nach der Belastungsregulierung bei den Parametern gemacht werden. Trotzdem unterstützen die Resultate mit ihren signifikanten Zusammenhängen die Aussage, dass der CMJ ein nützliches Instrument für das Belastungsmonitoring ist.

Gathercole et al. (2015) untersuchten die Eignung des CMJ als Instrument zur Überprüfung von Leistungs- und Ermüdungszuständen bei Elite-SBX-Fahrerinnen und -Fahrer. Die Resultate von Gathercole et al. (2015) zeigten inkonsistente Reaktionen bei den CMJ-Parametern nach einem ermüdenden Training. Ähnlich wie in dieser Arbeit verringerten sich die Werte der Parameter absolute und relative Spitzenkraft mit einem starken und moderaten Effekt nach dem Training. Andere Parameter wie Sprunghöhe und maximale Geschwindigkeit steigerten sich nach dem ermüdenden Training jedoch. Gemäss Gathercole et al. (2015) tragen wahrscheinlich Faktoren wie der Trainingszustand und die genetische Veranlagung des Athleten, die multifaktoriellen Mechanismen der Ermüdung, die ausgeführte Aktivität und die Zeit nach der ermüdenden Trainingseinheit zu den unterschiedlichen Reaktionen bei. Die vorliegenden Resultate unterstreichen die Bedeutung der Wahl der verschiedenen Parameter. Gemäss Cormack, Newton, McGuigan und Doyle (2008) gehören die maximale Leistung (peak power) sowie die Flugzeit (flight time) zu den üblicherweise gemessenen Variablen. Sie führen weiter aus, dass die maximale (peak power), die mittlere (mean power) sowie die relative Leistung (relative power)

beim CMJ reliable Parameter sind. In der vorliegenden Arbeit zeigte der CMJpmaxrel signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern. Dieses Resultat unterstützen die Aussage von Cormack et al. (2008), wobei CMJ-Parameter, welche die maximale Leistung berücksichtigen (absolut oder relativ), gute Parameter für das Belastungsmonitoring zu sein scheinen. Cormack et al. (2008) wie Gathercole et al. (2015) erklären jedoch, dass die Analyse mit nur einzelnen Variablen (i. e. maximale Leistung oder Sprunghöhe) eine Fülle von Informationen übersehen könnten. Wieso einige Parameter signifikante Zusammenhänge zeigten und andere nicht, konnte nicht geklärt werden. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in der Tatsache, dass die Parameter CMJpmaxrel und CMJp1/3rel aus einer Berechnung entstanden. Diese Berechnung könnte die Resultate möglicherweise beeinflussen.

Ein Vorteil des CMJ liegt gemäss Taylor et al. (2012) sowie Twist und Highton (2013) in der Einfachheit und Effektivität des Tests. Im Vergleich zu den anderen objektiven Parametern sind die Sprünge einerseits schnell absolviert und verursachen nur eine minimale weitere Ermüdung. Die Einfachheit kann nur zum Teil unterstützt werden. Auf eine genaue Durchführung der Bewegung muss geachtet werden, da sonst Fehler vorkommen und demzufolge fehlerhafte Resultate erhoben werden. Daher sollte die Bewegung beziehungsweise sollten die Sprünge nicht nur einmal ausgeführt werden. Gemäss Cormack et al. (2008) können einzelne Variablen während eines Protokolls anders reagieren als bei einem einzelnen Sprung. Die Mechanismen der Ermüdung könnten somit besser erklärt werden.

Ein Nachteil des CMJ sind die hohen Anschaffungskosten einer solchen Kraftmessplatte. Diese hohen Kosten stellen bereits oft eine hohe Hürde dar. Falls der Gebrauch der Kraftmessplatte immer an einem bestimmten Ort erfolgt, wie es im vorliegenden Fall in Magglingen war, ist ein bedeutender Nachteil ausgemerzt. Die Kraftmessplatten können nicht als transportfähig bezeichnet werden, da bei Transporten die Messzellen in Mitleidenschaft gezogen werden könnten. Im Vergleich zu den anderen objektiven Parametern sind Beschädigungen bedeutender und kostspieliger. Zudem haben diese Kraftmessplatten auch ein erhebliches Gewicht.

Für ein ganzjähriges Belastungsmonitoring eignet sich der CMJ dementsprechend eher weniger, da die Skirennfahrerinnen und Skirennfahrer je nach Trainings- oder Wettkampfphase oft unterwegs sind. Erfolgt das Belastungsmonitoring jedoch an einem bestimmten Ort, kann der CMJ aufgrund der vorliegenden Resultate ein nützliches Instrument für das Belastungsmonitoring sein.

### 4.3 6-sec Wattbike

In der vorliegenden Arbeit zeigten die Parameter Prel, Pmean und Pmax signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern Erholung, Beanspruchung und dem EBF-Sport-Gesamtscore. Wie bei den anderen objektiven Parametern zeigten auch die Parameter des 6-sec Wattbike keine signifikanten Zusammenhänge mit dem subjektivem Parameter Schlaf. Der subjektive Parameter Erholung stieg mit einem mittleren Effekt, wenn die Parameter Prel, Pmean und Pmax anstiegen. Der subjektive Parameter Beanspruchung sank mit mittlerem Effekt, wenn die Parameter Prel und Pmean anstiegen. Bei einem Anstieg des Parameter Pmax sank der Parameter Beanspruchung mit einem leichten Effekt. Der subjektive Parameter EBF-Sport-Gesamtscore stieg mit einem mittleren Effekt, wenn Prel und Pmean anstiegen. Bei einem Anstieg des Pmax stieg der Parameter EBF-Sport-Gesamtscore sogar mit einem starken Effekt.

Diese Resultate bestätigen die Resultate von McLean et al. (2012) und Wehbe et al. (2015), wobei kurze maximale Fahrradergometer-Tests gute Instrumente für das Belastungsmonitoring zu sein scheinen. Die Studie von McLean et al. (2012) zeigte, dass die maximale Leistung bei Fussballerinnen empfindlich auf Veränderungen der Trainings-/Matchbelastung reagierte. So zeigten sich bei einer höheren Trainingsbelastung tiefere Werte bei der maximalen Leistung. Gemäss Testprotokoll dieser Studie mussten vier Durchgänge maximaler Beschleunigung mit einer Dauer von drei bis vier Sekunden und einer Erholungszeit von zwei Minuten auf einem Wattbike absolviert werden. Die Stichprobe bestand aus Fussballspielerinnen einer Universitätsliga. Auch in der vorliegenden Arbeit zeigte der Parameter Pmax signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern, mit mittleren bis starke Effekte.

Die Stichprobe der Studie von Wehbe et al. (2015) bestand aus zwölf Elite-Nachwuchsspieler im American Rules Football. Diese mussten auf einem Wattbike zwei maximale Sprints von jeweils sechs Sekunden absolvieren. Zwischen den Sprints konnten sich die Probanden jeweils eine Minute erholen. Die Resultate zeigten eine Abnahme der maximalen Leistung nach einem Wettkampf. Die Resultate der Studie von Wehbe et al. (2015) werden wiederum durch die vorliegenden Resultate bestärkt. Aus den Studien von McLean et al. (2012) und Wehbe et al. (2015) ist zu entnehmen, dass hauptsächlich die maximale Leistung (peak power) berücksichtigt wurde. Diese gibt eine Auskunft über die maximale Leistungsabgabe sowie über die neuromuskuläre Ermüdung. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass auch andere Parameter des 6-sec Wattbike für das Belastungsmonitoring gebraucht werden können. Vergleichsliteratur wurde hierzu jedoch nicht gefunden.

Ähnlich wie beim Submax HF stellt sich die Frage nach der Praktikabilität. Wie beim Submax HF müsste je nach Trainings-/Wettkampfphase ein Fahrradergometer beziehungsweise ein

Wattbike mitgeführt werden. Das stellt wiederum ein logistisches Problem dar. Zudem sind gemäss Mendez-Villanueva et al. (2007) Angewöhnungssitzungen vonnöten. Die Ergebnisse ihrer Studie deuten darauf hin, dass zuverlässige Leistungswerte erst nach einer Gewöhnungssitzung erzielt werden können. Die Einbeziehung einer zusätzlichen Gewöhnungssitzung sorgte jedoch für stabilere Leistungswerte. Daher sollte vorgängig mindestens ein Gewöhnungsversuch durchgeführt werden.

Ein Vorteil im Vergleich zum Submax HF stellen das markant kürzere Testprotokoll sowie die minimale zusätzliche Ermüdung dar. McLean et al. (2012) empfiehlt die Kombination einer subjektiven Erfassungsmethode (z. B. Fragebogen) mit dem 6-sec Wattbike. Da in der vorliegenden Arbeit alle Parameter des 6-sec Wattbike signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parameter Erholung, Beanspruchung und EBF-Sport-Gesamtscore zeigten und die Vorteile die Nachteile überwiegen, scheint der 6-sec Wattbike ein geeignetes Instrument für das Belastungsmonitoring zu sein.

#### **4.4 Schwellenwerte/rote Zonen**

In der vorliegenden Arbeit wurden die Werte  $MW + STD$ , der  $MW + STD 5\%$  und der  $MW + STD 10\%$  als mögliche Schwellenwerte definiert. Der Vergleich zwischen allen MW des EBF-Sport aller Probandinnen und Probanden und allen  $MW + STD$  ergab einen signifikanten Unterschied. Deshalb konnte bereits der  $MW + STD$  als möglicher Schwellenwert definiert werden und die anderen möglichen Schwellenwerte wurden verworfen. Zusätzlich wurde nachträglich noch der  $MW + 1/2STD$  als Schwellenwert definiert. Auch dieser Vergleich mit allen MW des EBF-Sport zeigte einen signifikanten Unterschied. Obwohl die Interpretation des Boxplots sowie die individuellen Verlaufsgrafiken der Resultate des EBF-Sport-Gesamtscore Unterschiede vermuten lässt, zeigte die statistische Auswertung der MW des EBF-Sport der Probandinnen und Probanden keine signifikanten Unterschiede.

Taylor et al. (2012) haben in einer umfassenden Studie versucht herauszufinden, welche Methoden für das Belastungsmonitoring eingesetzt werden. Dabei wurden 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmer, welche als Trainerinnen oder Trainer tätig sind oder eine sportwissenschaftliche Tätigkeit ausüben, befragt. Nebst einer Vielzahl anderer Methoden wurden auch die Verwendung individueller Schwellenwerte als gängige Methode zur Identifikation von bedeutenden Veränderungen in Bezug auf das Belastungsmonitoring erwähnt. Die Problematik hierbei war jedoch, dass diese Schwellenwerte auf willkürliche Werte basierten, welche von den Verantwortlichen als wichtig erachtet wurden, und nicht auf quantitative wissenschaftliche Ansätze. Wo ein quantitativer Ansatz verfolgt wurde, gaben die Befragten typischerweise Werte

von  $\pm 1$  STD in Bezug auf den Mittelwert an, um einen Schwellenwert zu definieren. Ein Befragter gab einen Wert von 5 % unterhalb des MW als Schwellenwert an. Die Festlegung dieser Schwellenwerte ist also ein wichtiger Schritt, um diese roten Zonen im Belastungsmonitoring zu implementieren. Diese Parameter, welche als Schwellenwerte genutzt werden, sollten signifikante Unterschiede zeigen und bedeutende Unterschiede bei der Leistungsfähigkeit darlegen. Trotzdem sollten sich diese Werte von Athletin zu Athletin und Athleten zu Athleten unterscheiden.

In der vorliegenden Arbeit konnte ein Schwellenwert definiert werden, welcher die grossen intra-individuelle Unterschiede bei den Leistungswerten der einzelnen Athletinnen und Athleten berücksichtigt und zudem signifikant ist. Nachdem der Schwellenwert  $MW + STD$  signifikant war, wurde ein weiterer Schwellenwert in die Datenauswertung implementiert.  $MW + 1/2STD$  zeigte sich wiederum signifikant. Dies bestärkt wiederum die Schwierigkeit der Definition eines solchen Schwellenwertes beziehungsweise der Definition eines Ausgangspunktes. Jede Athletin und jeder Athlet reagiert anders auf den gleichen Trainingsreiz. Dementsprechend können für einzelne Parameter keine allgemeinen Schwellenwerte definiert werden.

Ein anderer Ansatz wäre der Vergleich mit anderen Parametern. Falls Werte des EBF-Sport-Gesamtscore über diese Schwellenwerte liegen würde, müssten anderen Parameter wie beispielsweise Verletzungen vom gleichen Zeitraum angeschaut und verglichen werden. Die Schwierigkeit bei der Nutzung von Verletzungsparametern ist gemäss Robertson et al. (2017), dass diese nicht vorgängig nutzbar sind. Die Verletzung muss zunächst auftreten, damit man einen solchen Parameter nutzen kann. Dementsprechend ist die Nutzung von Verletzungsparametern nur retrospektiv möglich und kann als mögliche Erklärung einer Verletzung genutzt werden. Eventuell wäre es möglich, nach einer längeren Erhebungsphase, während welcher mehrere Verletzungen aufgetreten sind, einen Verletzungsparameter als allfällige Vorhersage zu nutzen. Hierzu findet sich jedoch keine Literatur und es müsste ein längerer Datenerhebungszeitraum genutzt werden. Weiter ist bei der Definition von Schwellenwerten allenfalls zu beachten, in welchen Trainingsphasen sich die Athletinnen und Athleten befinden. In der vorliegenden Arbeit wurden Daten aus den Monaten Mai bis Juli genutzt. Gemäss Gilgien et al. (2018) dauert die intensive physische Trainingsphase vom Mai bis Juli abseits des Schnees. Während dieser Periode der physischen Vorbereitung besteht das wöchentliche Training typischerweise aus 14-21 Stunden pro Woche, verteilt auf 10-14 Trainingseinheiten mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Trainingsformen. Auch wegen der unterschiedlichen Trainingsbelastung sollte ein Schwellenwert genutzt werden, welcher sich von Trainingsphase zu Trainingsphase verändern kann. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass sich diese Schwellenwerte

jeweils nach einem gewissen Zeitraum anpassen. Somit würden auch angepasste Leistungszustände der Athletinnen und Athleten beachtet werden. Der genutzte Parameter EBF-Sport-Gesamtscore ist eine subjektive Erhebungsmethode. Gemäss Birrer (2004) bringt das einige Vor- und Nachteile mit sich. Ein Problem ist, dass Fragebögen durchschaubar und dementsprechend manipulierbar sind. Wichtig sei zudem, dass der Fragebogen für das Monitoring von Veränderungen über einen zeitlichen Verlauf mehrmals eingesetzt werden sollte. Eine Möglichkeit, dieser Problematik entgegenzuwirken, wäre die Kombination von subjektiven und objektiven Parametern. Für zukünftige Untersuchungen könnte das eine Option sein, da hinsichtlich Schwellenwerte im Belastungsmonitoring Nachholbedarf besteht.

#### **4.5 Limitationen**

Wie bereits erwähnt, zeigt sich eine Limitation der vorliegenden Arbeit bei der Grösse der Untersuchungsgruppe und der unterschiedlichen Anzahl an Daten von Probandinnen zu Probandinnen und Probanden zu Probanden. Dies zeigt sich dann am Beispiel des EBF-Sport-Gesamtscore, welcher nicht gleichermassen ausgefüllt wurde. Proband/in 5 füllte den EBF-Sport beispielsweise nur zweimal aus, während Proband/in 10 diesen 23 Mal ausfüllte. Diese Problematik spielt auch eine Rolle in der Erhebung der objektiven Parameter. Für die Erhebung dieser Parameter mussten die Athletinnen und Athleten in Magglingen sein. Da dies je nach Planung der Athletinnen und Athleten nicht bei allen die gleiche Anzahl an Trainingstagen dort bedeutet, ergeben sich auch hier eine unterschiedliche Anzahl an Daten. Dementsprechend konnte der Kombiparameter aufgrund unvollständiger Datenlage nicht berücksichtigt werden. Weiter stellt sich dieses Problem schlussendlich auch beim Vergleich von den objektiven und den subjektiven Parametern. Da es nicht die gleiche Anzahl an Werten bei den objektiven Parametern und den subjektiven Parametern gab, könnte dies die Auswertung beeinflusst haben. Für die Erhebung der objektiven Parameter mussten die Athletinnen und Athleten in Magglingen sein, während der EBF-Sport auch von zuhause aus ausgefüllt werden konnte.

## 5 Schlussfolgerung

Ein angemessenes Belastungsmonitoring kann dabei helfen, festzustellen, ob sich eine Athletin oder ein Athlet an ein Trainingsprogramm anpasst und ob das Risiko der Entwicklung eines OTS, eines NFOR, einer Krankheit oder einer Verletzung vorhanden ist. Trotz der zunehmenden Forschung und der Popularität des Belastungsmonitoring ist eine einzige definitive Methode, die genau und zuverlässig ist, nicht vorhanden (Halson, 2014). In der vorliegenden Arbeit wurde das Belastungsmonitoring bei alpinen Skirennfahrerinnen und Skirennfahrern evaluiert. Dabei wurde der Zusammenhang von objektiven und subjektiven Verfahren für das Belastungsmonitoring untersucht. Weiter wurde versucht, für den subjektiven Parameter EBF-Sport mögliche individuelle Schwellenwerte beziehungsweise rote Zonen für die Athletinnen und Athleten zu definieren. Trotz der erwähnten Limitationen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: 1) Der Parameter  $P_{maxrel}$  des CMJ sowie die Parameter  $P_{rel}$ ,  $P_{max}$  und  $P_{mean}$  des 6-sec Wattbike zeigten signifikante Zusammenhänge mit den subjektiven Parametern Erholung, Beanspruchung und EBF-Sport-Gesamtscore. Aufgrund der vorliegenden Resultate und der Praktikabilität und der Dauer der Testprotokolle kann der Submax HF sowie der CMJ dementsprechend als Methode ausgeschlossen werden. Die objektive Messmethode 6-sec Wattbike scheint gemäss vorliegender Resultate und nach Berücksichtigung der Vor- und Nachteile eine geeignete Methode für das Belastungsmonitoring zu sein. Obwohl die subjektiven Methoden einfacher und kostengünstiger sind (Saw et al., 2016), ergeben sich Limitationen, welche zu beachten sind. Folglich sollte der EBF-Sport mit mindestens einer objektiven Methode wie beispielsweise dem 6-sec Wattbike ergänzt werden. Dadurch ergibt sich ein umfassenderes Verständnis für den Leistungszustand von Athletinnen und Athleten. 2) Die gewählten Schwellenwerte,  $MW + STD$ ,  $MW + 1/2STD$ ,  $MW + STD 5 \%$  und  $MW + STD 10 \%$  zeigten alle einen signifikanten Unterschied zum MW und berücksichtigen zudem die Individualität jeder Athletin und jedes Athleten. Die benutzten Schwellenwerte sind folglich eine Möglichkeit für die Definition von roten Zonen. Trotzdem lässt sich nicht abschliessend sagen, wie aussagekräftig die definierten Schwellenwerte sind, da sie mehrere Male übertroffen wurden. Dementsprechend bestätigen die vorliegenden Resultate Taylor et al. (2012), wobei die Definition von Schwellenwerten anspruchsvoll ist. Die Definition dieser Schwellenwerte sollte Bestandteil weiterer zukünftiger Studien sein. Eine Möglichkeit wäre, die Schwellenwerte und die Übertretungen dieser mit in dieser Zeit aufgetretenen Fällen von Verletzungen und Krankheit zu vergleichen.

## 6 Literatur

- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart Rate Monitoring: Applications and Limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>
- Bagger, M., Petersen, P. H. & Pedersen, P. K. (2003). Biological Variation in Variables Associated with Exercise Training. *International Journal of Sports Medicine*, 24(6), 433–440. <https://doi.org/10.1055/s-2003-41180>
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate Anaerobic Test: An Update on Methodology, Reliability and Validity. *Sports Medicine*, 4(6), 381–394. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704060-00001>
- Becker-Larsen, A., Henriksen, K. & Stambulova, N. (2017). Stress-Recovery States in the Danish National Orienteering Team during a Training Camp and the 2015 World Championship. *Scandinavian Sport Studies Forum*, 8, 87–111.
- Birrer, D. (2004). Einsatz psychometrischer Instrumente in der Übertrainingsdiagnostik. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 52, 57–61.
- Borresen, J. & Lambert, M. I. (2008). Quantifying Training Load: A Comparison of Subjective and Objective Methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16–30. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.1.16>
- Borresen, J. & Lambert, M. I. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Bouget, M., Rouveix, M., Michaux, O., Pequignot, J.-M. & Filaire, E. (2006). Relationships among training stress, mood and dehydroepiandrosterone sulphate/cortisol ratio in female cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1297–1302. <https://doi.org/10.1080/02640410500497790>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-161-S2-170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>
- Brink, M. S., Visscher, C., Arends, S., Zwerver, J., Post, W. J. & Lemmink, K. A. (2010). Monitoring stress and recovery: New insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 44(11), 809–815. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.069476>

- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Claudino, J., Mezêncio, B., Soncin, R., Ferreira, J., Couto, B. & Szmuchrowski, L. (2012). Pre Vertical Jump Performance to Regulate the Training Volume. *International Journal of Sports Medicine*, 33(02), 101–107. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1286293>
- Claudino, João, Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D., McGuigan, M., Tricoli, V., ... Serrao, J. (2016). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R. & Cormie, P. (2008). Neuromuscular and Endocrine Responses of Elite Players During an Australian Rules Football Season. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(4), 439–453. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.4.439>
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R. & Doyle, T. L. A. (2008). Reliability of Measures Obtained During Single and Repeated Countermovement Jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 131–144. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.131>
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T. & Murphy, A. (2007). Changes in Selected Biochemical, Muscular Strength, Power, and Endurance Measures during Deliberate Overreaching and Tapering in Rugby League Players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 116–124. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924145>
- Coutts, A., Wallace, L. & Slattery, K. (2007). Monitoring Changes in Performance, Physiology, Biochemistry, and Psychology during Overreaching and Recovery in Triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 125–134. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924146>
- Davis, 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. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.10.003>
- Dotan, R. & Bar-Or, O. (1983). Load optimization for the wingate anaerobic test. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(3), 409–417. <https://doi.org/10.1007/BF00429077>

- Ferguson, R. A. (2010). Limitations to performance during alpine skiing: Limitations to performance during alpine skiing. *Experimental Physiology*, 95(3), 404–410. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.047563>
- Filho, E., di Fronso, S., Forzini, F., Murgia, M., Agostini, T., Bortoli, L., ... Bertollo, M. (2015). Athletic performance and recovery—stress factors in cycling: An ever changing balance. *European Journal of Sport Science*, 15(8), 671–680. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1048746>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115. <https://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Freitas, V. H., Nakamura, F. Y., Miloski, B. & Samulski, D. (2014). Sensitivity of Physiological and Psychological Markers to Training Load Intensi- fication in Volleyball Players. *Journal of Sport Science and Medicine*, 13, 571–579.
- Fuchs, R. & Gerber, M. (Hrsg.). (2018). *Handbuch Stressregulation und Sport*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9>
- Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75(2), 712–719. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.2.712>
- Garatachea, N., García-López, D., Cuevas, M. J., Almar, M., Molinero, O., Márquez, S. & González-Gallego, J. (2011). Biological and psychological monitoring of training status during an entire season in top kayakers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(2), 339–346.
- Gathercole, R. J., Stellingwerff, T. & Sporer, B. C. (2015). Effect of Acute Fatigue and Training Adaptation on Countermovement Jump Performance in Elite Snowboard Cross Athletes: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 37–46. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000622>
- Gilgien, M., Crivelli, P., Spörri, J., Kröll, J. & Müller, E. (2015). Characterization of Course and Terrain and Their Effect on Skier Speed in World Cup Alpine Ski Racing. *PLOS ONE*, 10(3), 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118119>

- Gilgien, M., Kröll, J., Spörri, J., Crivelli, P. & Müller, E. (2018). Application of dGNSS in Alpine Ski Racing: Basis for Evaluating Physical Demands and Safety. *Frontiers in Physiology*, 9, 145. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00145>
- Gilgien, M., Reid, R., Raschner, C., Supej, M. & Holmberg, H.-C. (2018). The Training of Olympic Alpine Ski Racers. *Frontiers in Physiology*, 9, 1772. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01772>
- Gilgien, M., Spörri, J., Kröll, J., Crivelli, P. & Müller, E. (2014). Mechanics of turning and jumping and skier speed are associated with injury risk in men's World Cup alpine skiing: A comparison between the competition disciplines. *British Journal of Sports Medicine*, 48(9), 742–747. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092994>
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF03168231>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(S2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hydren, J. R., Volek, J. S., Maresh, C. M., Comstock, B. A. & Kraemer, W. J. (2013). Review of Strength and Conditioning for Alpine Ski Racing. *Strength and Conditioning Journal*, 35(1), 10–28. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31828238be>
- Kallus, K. W. & Kellmann, M. (2016). *The Recovery-Stress Questionnaire: User Manual*. Frankfurt am Main: Pearson Assessment & Information GmbH.
- Karvonen, J. & Vuorimaa, T. (1988). Heart Rate and Exercise Intensity During Sports Activities: Practical Application. *Sports Medicine*, 5(5), 303–312. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805050-00002>
- Kellmann, M. (2000). Psychologische Methoden der Erholungs-Beanspruchungs-Diagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51(7–8), 253–258.
- Kellmann, M. (2002). *Enhancing Recovery: Preventing Underperformance in Athletes*. Champaign: Human Kinetics.
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring: Preventing overtraining. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 95–102. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., ... Beckmann, J. (2018). Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240–245. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759>

- Kellmann, M. & Günther, K.-D. (2000). Changes in stress and recovery in elite rowers during preparation for the Olympic Games: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 676–683. <https://doi.org/10.1097/00005768-200003000-00019>
- Lamberts, R. P., Lemmink, K. A. P. M., Durandt, J. J. & Lambert, M. I. (2004). Variation in Heart Rate During Submaximal Exercise: Implications for Monitoring Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 641–645.
- Laux, P., Krumm, B., Diers, M. & Flor, H. (2015). Recovery–stress balance and injury risk in professional football players: A prospective study. *Journal of Sports Sciences*, 33(20), 2140–2148. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1064538>
- McLean, B. D., Petrucelli, C. & Coyle, E. F. (2012). Maximal Power Output and Perceptual Fatigue Responses During a Division I Female Collegiate Soccer Season: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(12), 3189–3196. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318273666e>
- Meeusen et al. (2013). Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>
- Mendez-Villanueva, A., Bishop, D. & Hamer, P. (2007). Reproducibility of a 6-s maximal cycling sprint test. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(5), 323–326. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.07.017>
- Müller, L., Hildebrandt, C., Müller, E., Fink, C. & Raschner, C. (2017). Long-Term Athletic Development in Youth Alpine Ski Racing: The Effect of Physical Fitness, Ski Racing Technique, Anthropometrics and Biological Maturity Status on Injuries. *Frontiers in Physiology*, 8, 656. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00656>
- Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G. & Raas, E. (2003). Physical and Physiological Factors Associated with Success in Professional Alpine Skiing. *International Journal of Sports Medicine*, 24(8), 571–575. <https://doi.org/10.1055/s-2003-43270>
- Otter, R., Brink, M., van der Does, H. & Lemmink, K. (2015). Monitoring Perceived Stress and Recovery in Relation to Cycling Performance in Female Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 37(01), 12–18. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555779>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E. & Buchheit, M. (2013). Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes: Opening the Door to

- Effective Monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Polat, M. (2016). An examination of respiratory and metabolic demands of alpine skiing. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 14(2), 76–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.jesf.2016.10.001>
- Raschner, C., Hildebrandt, C., Mohr, J. & Müller, L. (2017). Sex Differences in Balance Among Alpine Ski Racers: Cross-Sectional Age Comparisons. *Perceptual and Motor Skills*, 124(6), 1134–1150. <https://doi.org/10.1177/0031512517730730>
- Robertson, S., Bartlett, J. D. & Gatin, P. B. (2017). Red, Amber, or Green? Athlete Monitoring in Team Sport: The Need for Decision-Support Systems. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), 73–79. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0541>
- Roos, L., Taube, W., Brandt, M., Heyer, L. & Wyss, T. (2013). Monitoring of Daily Training Load and Training Load Responses in Endurance Sports: What do Coaches Want? *Schweizerische Zeitschrift Für Sportmedizin Und Sporttraumatologie*, 61(4), 30–36.  
<https://doi.org/10.24451/ARBOR.11081>
- Saw, A. E., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281–291.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Siegl, A., M. Kösel, E., Tam, N., Koschnick, S., Langerak, N., Skorski, S., ... Lamberts, R. (2017). Submaximal Markers of Fatigue and Overreaching; Implications for Monitoring Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 38(09), 675–682.  
<https://doi.org/10.1055/s-0043-110226>
- Spörri, J., Kröll, J., Blake, O., Amesberger, G. & Müller, E. (2010). A Qualitative Approach to Determine Key Injury Risk Factors in Alpine Ski Racing. *FIS Report*, 65.
- Spörri, J., Kröll, J., Gilgien, M. & Müller, E. (2017). How to Prevent Injuries in Alpine Ski Racing: What Do We Know and Where Do We Go from Here? *Sports Medicine*, 47(4), 599–614. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0601-2>
- Taylor, K.-L., Chapman, D. W., Cronin, J. B., Newton, M. J. & Gill, N. (2012). Fatigue monitoring in high performance sport: A survey of current trends. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 20(1), 12–23.
- Turnbull, J. R., Kilding, A. E. & Keogh, J. W. L. (2009). Physiology of alpine skiing: Physiology and alpine skiing: a review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 146–155. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00901.x>

- Twist, C. & Highton, J. (2013). Monitoring Fatigue and Recovery in Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 467–474. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.5.467>
- Wehbe, G. M., Gabbett, T. J., Hartwig, T. B. & McLellan, C. P. (2015). Reliability of a Cycle Ergometer Peak Power Test in Running-based Team Sport Athletes: A Technical Report. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 2050–2055. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000814>
- Wehbe, Gabbett, T., Dwyer, D., McLellan, C. & Coad, S. (2015). Monitoring Neuromuscular Fatigue in Team-Sport Athletes Using a Cycle-Ergometer Test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 292–297. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0217>

## 7 Anhang

### EBF

Sie finden in diesem Fragebogen eine Reihe von Feststellungen, die sich auf Ihr körperliches und seelisches Befinden oder Ihre Aktivitäten in den letzten (3) Tagen und Nächten beziehen.

Geben Sie bitte zu jeder Feststellung an, wie oft die genannte Aussage in den letzten (3) Tagen und Nächten für Sie zutraf.

Die Fragen, die mit Ihrer sportlichen Leistung in Zusammenhang stehen, beziehen sich sowohl auf Ihre Wettkampf- als auch auf Ihre Trainingsleistungen.

Zu jeder Frage sind sieben Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Kreuzen Sie bitte immer diejenige Zahl an, die Ihrer Antwort entspricht.

---

### EBF

Ce questionnaire contient une série d'affirmations qui se rapportent à votre état physique ou psychique ou à vos activités **de ces (3) derniers jours et nuits**.

Cochez s'il vous plaît la réponse qui reflète le mieux vos pensées et activités. Pour chaque question il y a sept possibilités de réponses. Faites s'il vous plaît votre choix en marquant le numéro qui correspond à la réponse appropriée.

Les questions relatives à votre performance sportive se rapportent non seulement à vos performances pendant la compétition mais aussi pendant l'entraînement.

---

### EBF

This questionnaire consists of a series of statements. These statements possibly describe your psychic or physical well-being or your activities **during the past (3) days and nights**.

Please indicate how often each statement was right in your case in the past (3) days and nights.

The statements related to performance should refer to performance during competition as well as during practice.

For each statement, there are seven possible answers. Please make your selection by marking the number corresponding to the appropriate answer.

---

### Skala

0	nie	jamais	never
1	selten	rarement	seldom
2	manchmal	quelque fois	sometimes
3	mehrmals	plusieurs fois	often
4	oft	souvent	more often
5	sehr oft	très souvent	very often
6	immerzu	toujours	always

**Auswertung:**

Beanspruchung: 1, 3, 4

Erholung: 2, 5, 6

(Item 7 ist zusätzlich)

**EBF Kurzversion 1** In den letzten (3) Tagen/ Nächten... / Durant ces (3) derniers jours/nuits.../ during the past (3) days and nights ...

---

**Item 1a** ...war ich missgestimmt. / j'étais de mauvaise humeur / I was in a bad mood.**Item 2a** ...hatte ich gute Laune. / j'étais de bonne humeur/ I was in a good mood.**Item 3a** ...taten mir Teile meines Körpers weh. / Certaines partie de mon corps me faisaient mal-/ parts of my body were aching.**Item 4a** ...hatte ich zu wenig Schlaf. / je n'ai pas assez dormi / I did not get enough sleep**Item 5a** ...konnte ich mich körperlich gut erholen. / je pouvais bien reprendre des forces / I recovered well physically**Item 6a** ...habe ich mich körperlich entspannt gefühlt. / je me sentais détendu(e) physiquement / I felt physically relaxed**Item 7a** ...war mein Schlaf erholsam / mon sommeil était reposant / I had a restful sleep**EBF Kurzversion 2** In den letzten (3) Tagen/ Nächten... / Durant ces (3) derniers jours/nuits...

---

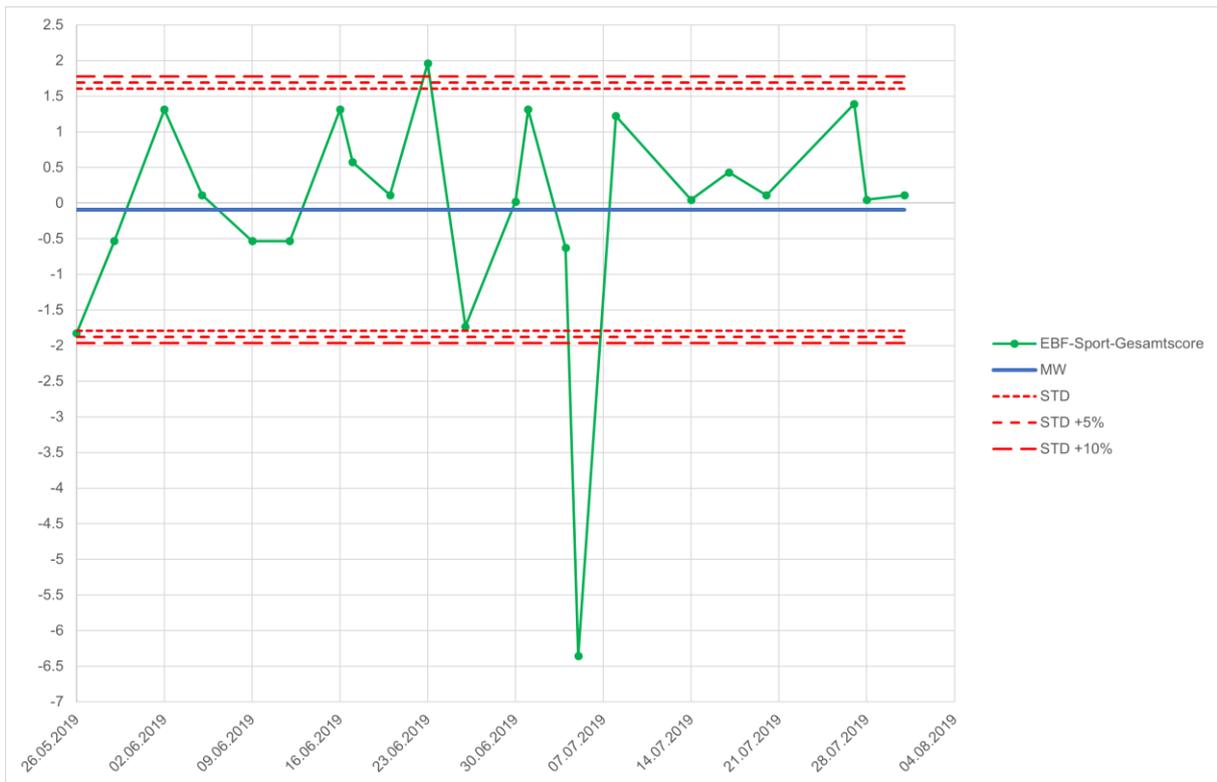
**Item 1b**... fühlte ich mich niedergeschlagen / je me sentais abattu(e) / I felt down.**Item 2b** ... war ich glücklich / j'étais heureux(se) / I was happy**Item 3b** ... litt ich während meiner sportlichen Leistungen unter Muskelverhärtungen oder-verspannungen. / mes muscles étaient raides ou tendus pendant mes performances sportives / my muscles felt stiff or tense during performance.**Item 4b** ... war ich todmüde. / j'étais crevé(e) / I was dead tired**Item 5b** ... war ich körperlich in guter Verfassung. / j'étais en bonne condition physique / I was in a good condition physically.**Item 6b** ... fühlte ich mich körperlich fit. / je me sentais en pleine forme / ...I felt physically fit**Item 7b (i)** ...habe ich unruhig geschlafen. / j'ai eu un sommeil agité / I slept restlessly**EBF Kurzversion 3** In den letzten (3) Tagen/ Nächten... / Durant ces (3) derniers jours/nuits...

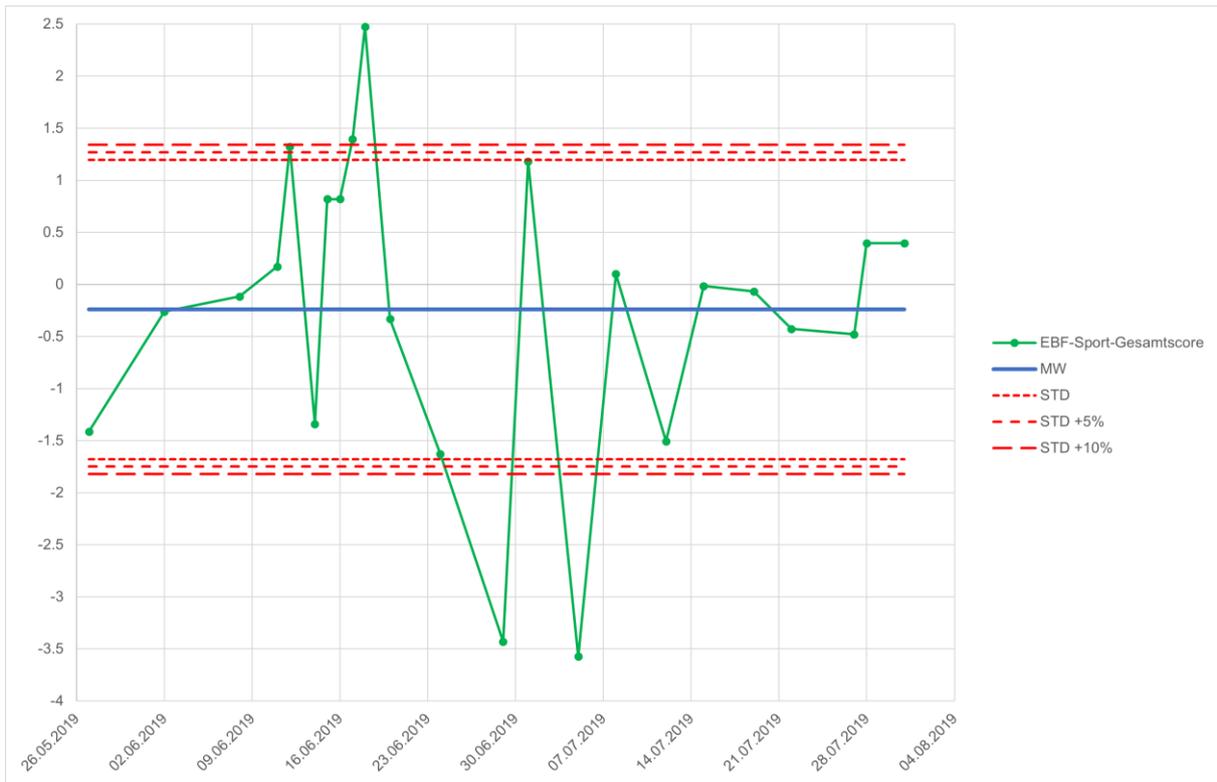
---

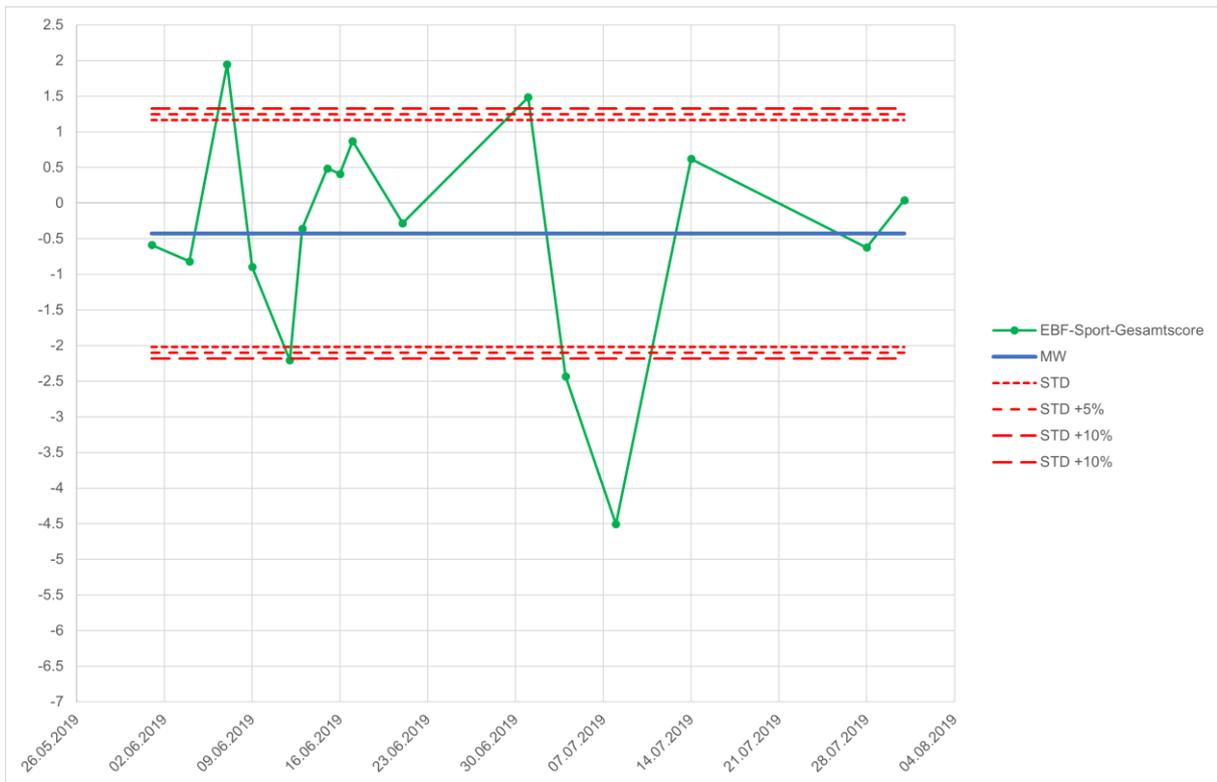
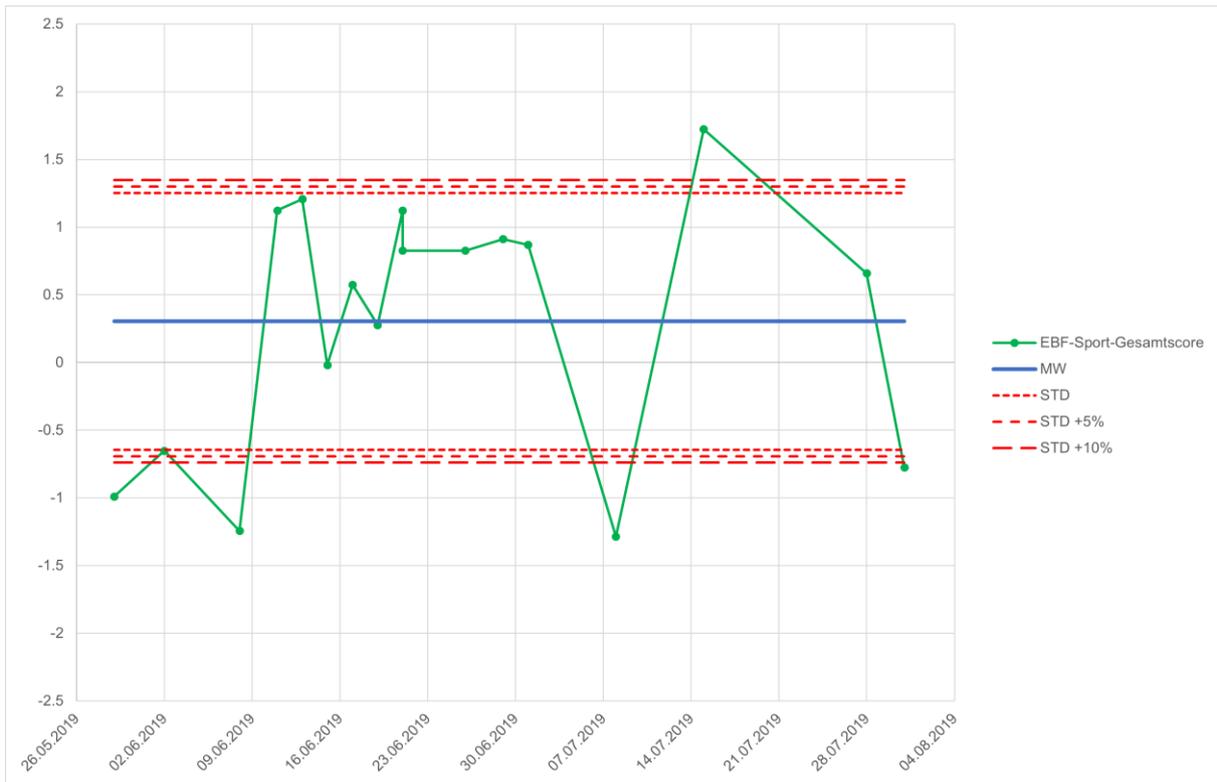
**Item 1c** ... war ich betrübt. / j'étais déprimé(e) / I felt sad**Item 2c** ... war ich zufrieden. / j'étais satisfait(e) / I was satisfied**Item 3c** ... hatte ich nach meinen sportlichen Leistungen Muskelschmerzen. / j'avais mal aux muscles après mes performances sportives / I had muscle pain after performance**Item 4c** ... war ich übermüdet. / j'étais épuisé(e) / I was overtired**Item 5c** ... fühlte ich mich energiegeladen. / je me sentais plein(e) d'énergie / I felt energetic**Item 6c** ... fühlte ich mich leistungsfähig. / je me sentais performant / I felt powerful.

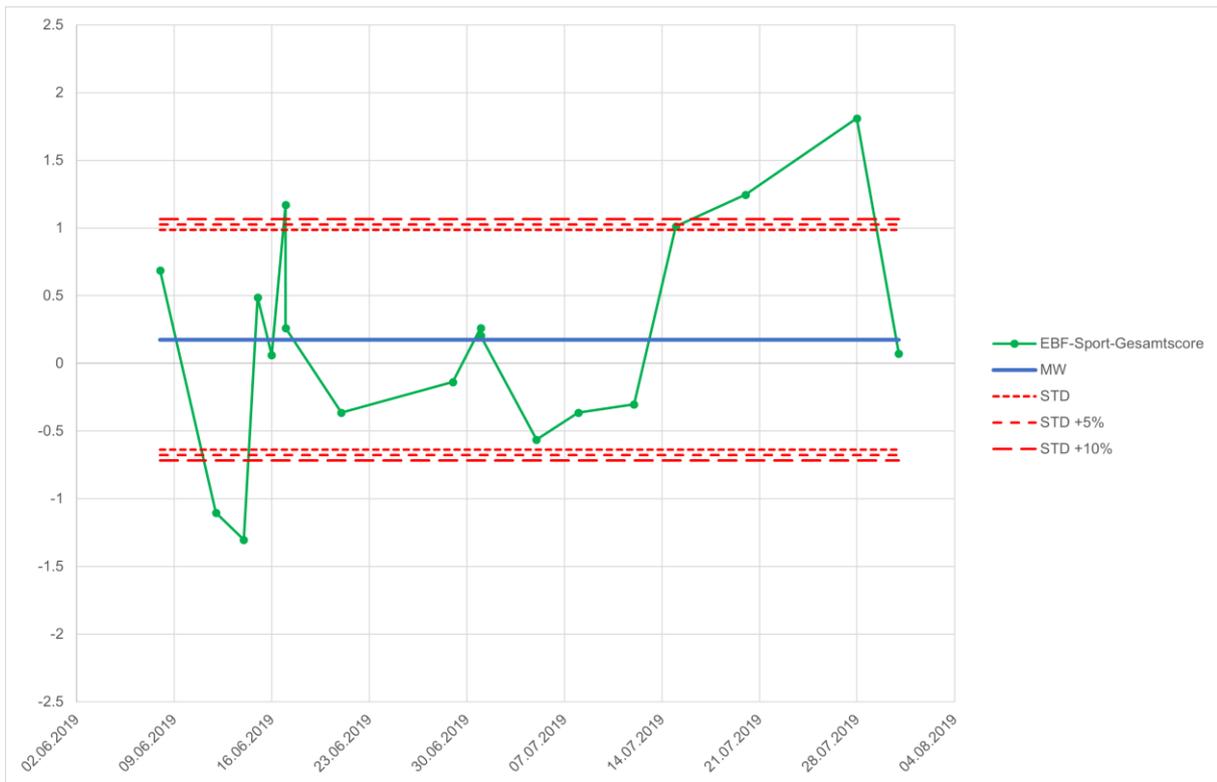
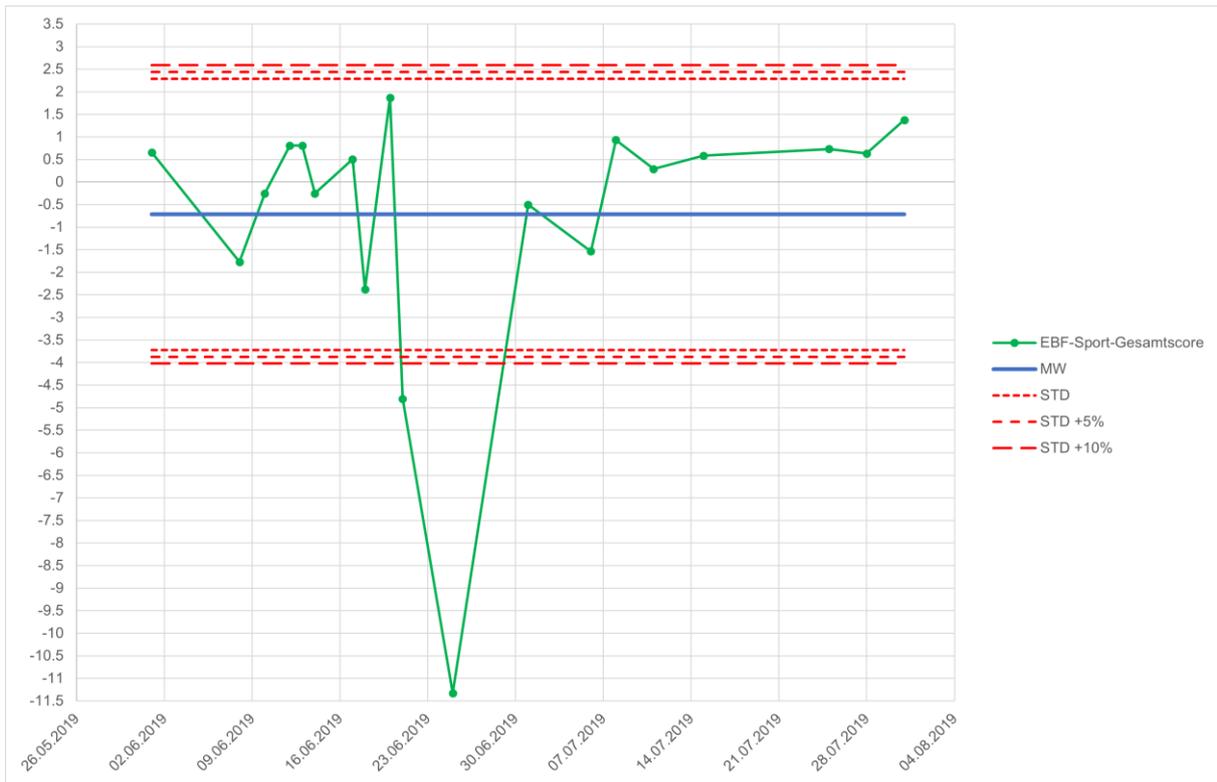
**Item 7c (i)** ...bin ich nachts ohne äusseren Einfluss aufgewacht. / J'ai été réveillé (-e) la nuit dernière sans que cela soit dû à une influence externe / I woke up several times last night without external influence











## **8 Dank**

Ein besonderer Dank gilt Mara Gander und meinem Betreuer Björn Bruhin. Sie waren, während dem ganzen Prozess meiner Masterarbeit, geduldig und haben mich tatkräftig unterstützt. Weiter möchte ich mich bei Alex für das Korrekturlesen und die sprachlichen Tipps bedanken. Zum Abschluss möchte ich allen anderen danken, welche nicht namentlich genannt wurden und mich während meiner Masterarbeit unterstützt haben.