



Bundesinstitut  
für Sportwissenschaft



Wir helfen  
dem Sport

Tim Meyer, Alexander Ferrauti, Michael Kellmann, Mark Pfeiffer

# Regenerationsmanagement im Spitzensport

REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen



Tim Meyer, Alexander Ferrauti, Michael Kellmann, Mark Pfeiffer

# Regenerationsmanagement im Spitzensport

REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

**Unter Mitarbeit von:**

Rauno Álvaro De Paula Simola

Alexander Döweling

Stefan Endler

Anne Hecksteden

Brit Hitzschke

Sarah Kölling

Maximilian Pelka

Wigand Poppendieck

Christian Raeder

Christian Rasche

Jan Schimpchen

Christoph Schneider

Sabrina Skorski

Billy Sperlich

Melissa Wegmann

Thimo Wiewelhove

SPORTVERLAG *Strauß*

# Sonderpublikation des Bundesinstituts für Sportwissenschaft

---

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über „<http://dnb.d-nb.de>“ abrufbar.

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesinstitut für Sportwissenschaft  
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn  
[info@bisp.de](mailto:info@bisp.de)  
[www.bisp.de](http://www.bisp.de)

### **Layout**

Elke Hillenbach

### **Druck**

Hausdruckerei des Statistischen  
Bundesamtes, Zweigstelle Bonn

### **SPORTVERLAG *Strauß***

Olympiaweg 1 – 50933 Köln  
Tel. (0221) 846 75 76  
Fax (0221) 846 75 77  
[info@sportverlag-strauss.de](mailto:info@sportverlag-strauss.de)  
[www.sportverlag-strauss.de](http://www.sportverlag-strauss.de)

### **Stand**

Januar 2016

ISBN 978-3-86884-589-1

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Das REGman-Projekt</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Regenerationsbedarf im Sport</b> .....	<b>13</b>
<b>3 Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf</b> .....	<b>17</b>
3.1 Einfache motorische Tests.....	19
3.2 Laborwerte .....	23
3.3 Psychometrie .....	24
3.4 Sonstige Verfahren .....	26
3.5 Genauere Beurteilung durch Individualisierung .....	28
<b>4 Regenerationsfördernde Maßnahmen</b> .....	<b>31</b>
4.1 Aktive Erholung .....	37
4.2 Nachdehnen .....	43
4.3 Kaltwasser .....	47
4.4 Kompressionsbekleidung.....	51
4.5 Sauna .....	57
4.6 Sportmassage.....	61
4.7 Foam-Rolling .....	65
4.8 Schlafmanagement .....	69
4.9 Powernapping .....	73
4.10 Psychologische Entspannungsstrategien .....	79
4.11 Musik .....	85
4.12 Sonstige Verfahren .....	89
4.13 Fazit .....	93
<b>5 Zukunftsperspektiven</b> .....	<b>97</b>
5.1 Wearables im Sport.....	99
5.2 Verfügbare Systeme .....	99
5.3 Technologische Entwicklungen .....	100
5.4 Ausblick: Regenerationsmanagement und Wearables.....	101
<b>6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für die Praxis</b> .....	<b>103</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>111</b>
<b>REGman-Publikationen</b> .....	<b>119</b>
<b>Kooperationspartner</b> .....	<b>121</b>

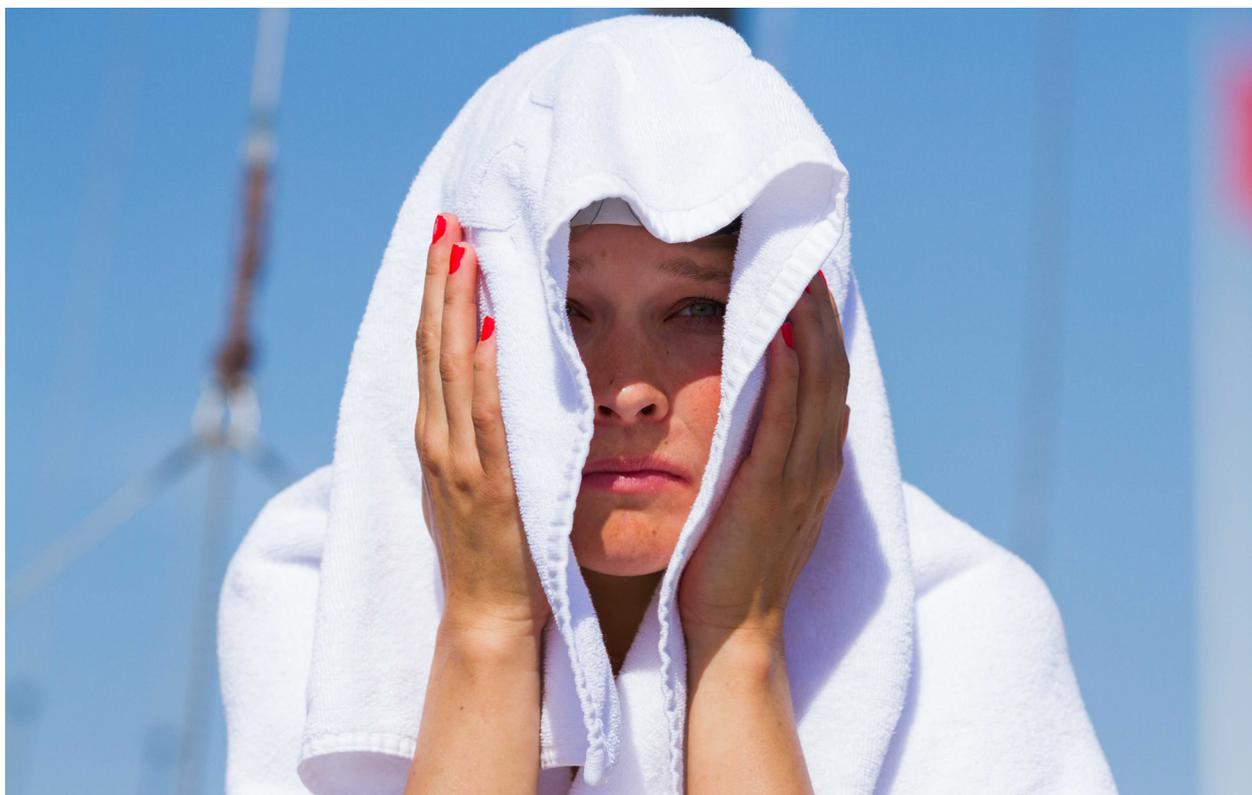


# Einleitung

Angesichts der großen Wettkampfdichte und hoher Trainingsbelastungen im Spitzensport wird eine schnelle und effektive Regeneration immer wichtiger, um konstant hohe Leistungen zu gewährleisten. Dies sehen auch die Spitzenverbände des deutschen Sports und ihr Dachverband, der Deutsche Olympische Sportbund (DOSB), so. Gleichzeitig besteht ein Defizit an wissenschaftlich fundierten Empfehlungen, nach denen sich Spitzenathletinnen und -athleten richten können. Angesichts des Unterstützungsbedarfes der Sportpraxis und der unzureichenden Befundlage fördert das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) von Oktober 2012 bis Ende 2016 das Verbundprojekt **„Optimierung von Training und Wettkampf: Regenerationsmanagement im Spitzensport“ (REGman)** (AZ 081901/2012-16).

Das interdisziplinär ausgerichtete Projekt ist Bestandteil der Umsetzung des Forschungsprogramms für das Wissenschaftliche Verbundsystem im Leistungssport (WVL). Es wird

von der Universität des Saarlandes geführt und von dem Sportmediziner Prof. Tim Meyer (Universität des Saarlandes), den Trainingswissenschaftlern Prof. Alexander Ferrauti (Ruhr-Universität Bochum) und Prof. Mark Pfeiffer (Johannes Gutenberg-Universität Mainz) sowie dem Sportpsychologen Prof. Michael Kellmann (Ruhr-Universität Bochum) geleitet. In der vorliegenden Broschüre werden die wesentlichen Ergebnisse der bisherigen Projektarbeit vorgestellt. Sie ist damit wichtiger Bestandteil der umfassenden *Transfermaßnahmen* von REGman (weitere Informationen zum Projekt unter [regman.org](http://regman.org)). Sie ist damit wichtiger Bestandteil der umfassenden Transfermaßnahmen von REGman und wurde noch vor Ende der Projektlaufzeit auf den Weg gebracht, um der Sportpraxis für die Vorbereitung auf die Olympischen Spiele 2016 in Rio de Janeiro fundierte Informationen zum Regenerationsmanagement zur Verfügung zu stellen.





# 1 Das REGman-Projekt

1





Ziel von REGman ist es, evidenzgestützte Regenerationsstrategien, differenziert nach belastungsspezifischen Gegebenheiten zu erarbeiten. Darauf aufbauend sollen Handlungsanweisungen zum Regenerationsmanagement für die Leistungssportliche Praxis formuliert und praktikable Instrumente zu deren Umsetzung entwickelt werden.

Bei der Entwicklung der Projektkonzeption wurde die bereits in der Ausschreibung formulierte Prämisse der konsequenten Anwendungsorientierung für das Handlungsfeld des Leistungssports verfolgt. Als charakteristische Merkmale des Forschungsdesigns sind daher

- a) die systematische Verbindungs von grundlagenorientierten mit prozessbegleitenden Forschungsinhalten unmittelbar im Leistungs- und Spitzensport,
- b) die Fokussierung auf eine möglichst hohe

Praktikabilität und Ökonomie der ausgewählten und untersuchten Verfahren für die Trainings- und Wettkampfpraxis, sowie

- c) die Einbeziehung von Leistungs- und Spitzenathletinnen und -athleten in die Untersuchungen

hervorzuheben.

Insbesondere die Kooperationen mit der Sportpraxis sind von hoher Relevanz für die Aussagekraft der Forschungsergebnisse und die Umsetzbarkeit der abgeleiteten Handlungsempfehlungen

Das Arbeitsprogramm besitzt eine dreistufige Struktur, die inhaltlich und chronologisch aufeinander aufbaut. Jede Stufe beinhaltet mehrere Untersuchungsmodul, die sich abhängig von der jeweiligen Zielstellung zwei Untersuchungssträngen zuordnen lassen: Hauptuntersuchungen und flankierende Untersuchungen (Abb. 1).

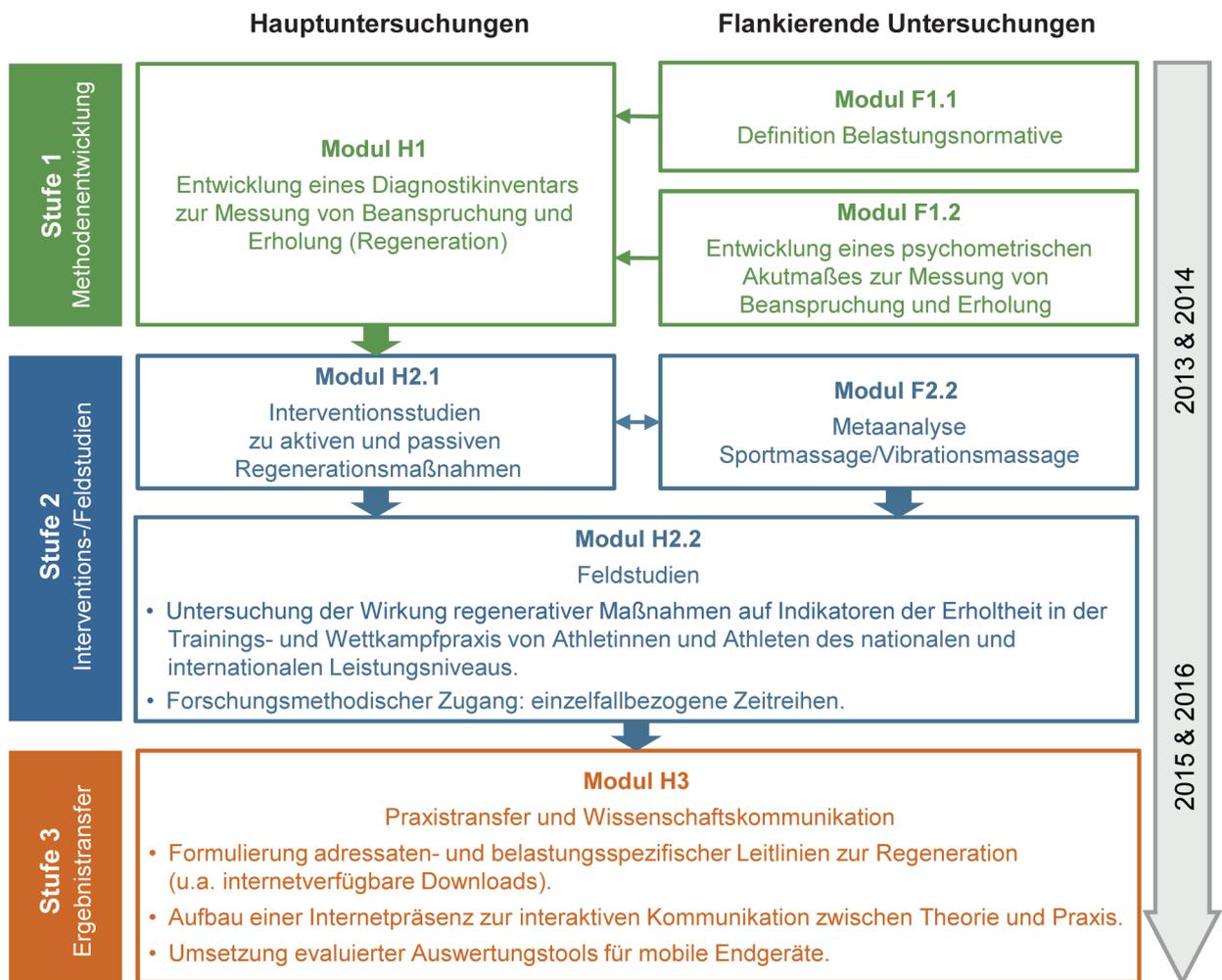


Abb. 1: Projekt „Regenerationsmanagement im Spitzensport“ (REGman): Projektaufbau und -struktur.

In **Stufe 1** wurde ein *Diagnostikinventar* entwickelt, mit dem die individuelle Ermüdung (Beanspruchung) und Wiederherstellung (Regeneration) belastungsspezifisch valide und reliabel bestimmt werden kann (Modul H1). Untersucht wurde, inwieweit bestimmte psychometrische, laborchemische, neuromuskuläre und leistungsdiagnostische Marker („Surrogatparameter“) geeignet sind, die Wiederherstellungsprozesse im Anschluss an kontrollierte Belastungen über kurze Zeiträume (Mikrozyklus bis 10 Tage) abzubilden. Dem Modul H1 wurden zwei Untersuchungen vorgeschaltet. In Modul F1.1 bestand die Aufgabe darin, Belastungsregime mit hohem regenerativem Folgebedarf zu definieren. In Modul F1.2 wurde ein psychometrisches Akutmaß für Erholung und Beanspruchung entwickelt und evaluiert (F1.2).

Die **Stufe 2** ist darauf ausgerichtet, die Effekte ausgewählter regenerationsfördernder Maßnahmen zu untersuchen. Je nach Fragestellung kommen hier Längsschnittstudien mit

unterschiedlichen Laufzeiten (Mikro- und Makrozyklen) zum Einsatz. In einem ersten Arbeitsschritt wurden bzw. werden *Interventionsstudien* mit (quasi-)experimentellem Untersuchungsdesign durchgeführt, um bei kontrollierten Trainingsbelastungen die Wirkung verschiedener aktiver und passiver Regenerationsmaßnahmen auf die Wiederherstellungsprozesse zu prüfen. Angesichts endlicher finanzieller Ressourcen konnte in dieser Projektphase nur eine begrenzte Anzahl an Regenerationsverfahren einbezogen werden. Die Auswahl richtete sich vorrangig nach folgenden beiden Kriterien: 1. Ergebnisse einer Befragung der Sportfachverbände zum Thema „Regeneration“ durch den DOSB (Praxisrelevanz) und 2. Annahme der grundsätzlichen Wirksamkeit aufgrund der vorliegenden Studienlage (wissenschaftliche Evidenz). Aufgenommen wurden Interventionsstudien zu den Schwerpunkten aktive Erholung, Schlaf/Power Naps, Kälte/Sauna/Wasser, Kompressions-

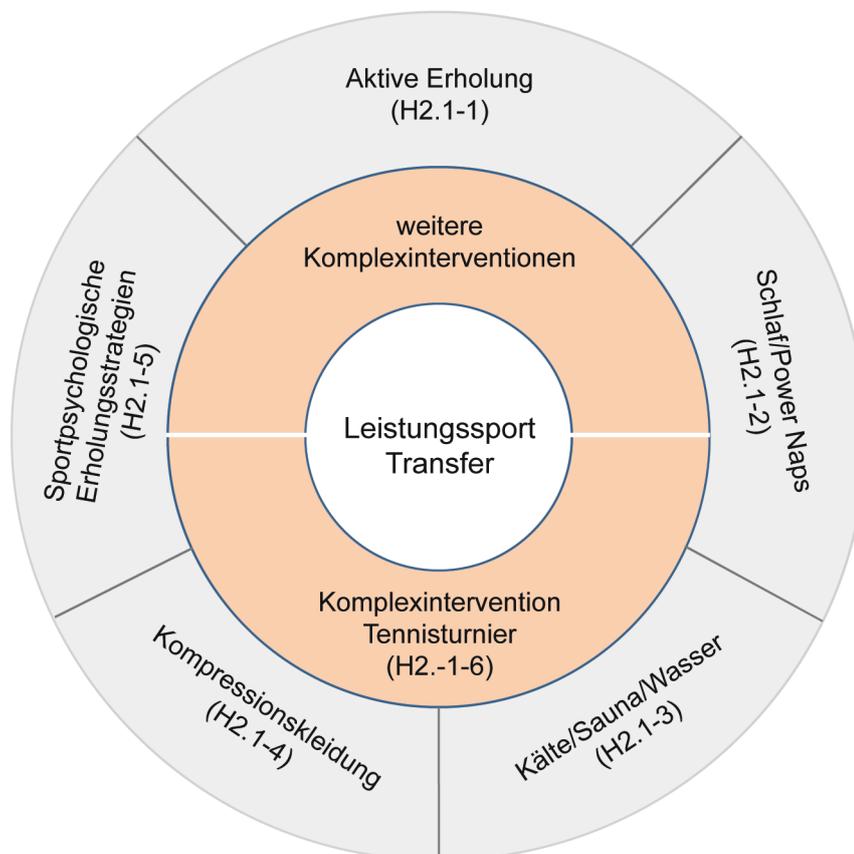


Abb. 2: Zuordnung der Module aus H 2.1 zu regenerativen Handlungsfeldern mit zur Mitte zunehmender Komplexität und Annäherung an die leistungssportliche Trainings- und Wettkampfpraxis.

kleidung und sportpsychologische Erholungsstrategien (Abb. 2, Module H2.1-1 bis H2.1-5).

Mit Annäherung an das Handlungsfeld des Leistungssports wurde in Modul H2.1-6 ein Tennisturnier simuliert, um die Effekte miteinander kombinierter Regenerationsverfahren unter Wettkampfbedingungen zu untersuchen.

Die *Feldstudien* in Modul H2.2 sind auf das reale Handlungsfeld des Hochleistungssports mit seinen individuellen Bedürfnissen und Spezifika ausgerichtet. Mit Hilfe einzelfallbasierter Auswertungen von Trainingsprozessen soll festgestellt werden, wie sich regenerationsfördernde Maßnahmen und Belastungsstrategien (Periodisierung) auf die sportartspezifische Leistungsfähigkeit und ausgewählte Marker des Diagnostikinventars (Modul H1) auswirken. Hierbei werden u. a. zeitreihenbasierte Modellierungen durchgeführt, womit sich sowohl das Ausmaß von Trainingseffekten (einschl. Regeneration, Periodisierung) als auch deren zeitliche Verzögerung untersuchen lassen. Mit der in Stufe 2 verfolgten Forschungsstrategie werden somit zunächst einzelne Wirkungen und Zusammenhänge unter den Bedingungen der leistungssportlichen Praxis systematisch aufgedeckt (H2.1), um sie anschließend unter den Bedingungen der leistungssportlichen Praxis auf ihre trainingspraktische Relevanz im Einzelfall zu prüfen (H2.2).

**Stufe 3** ist gleichbedeutend mit dem *Transferkonzept*. Entsprechend der modularen Struktur des REGman-Projekts wird dies ebenfalls als Modul beschrieben (Modul H3). Adressat der Transferbemühungen ist in erster Linie die Sportpraxis in seiner horizontalen (relevante Sportartengruppen) und vertikalen Ausdehnung (vom Nachwuchsleistungssport über den Spitzensport bis zur Trainerschaft). In dieser Projektstufe werden Leitlinien und Hilfestellungen zum Regenerationsmanagement erarbeitet und schriftliche (u. a. Veröffentlichung in Form der vorliegenden Broschüre) sowie vor allem über eine permanente Kommunikation (z. B. Fortbildungen, Workshops, sonstige Beratungen) aktiv an die Sportpraxis weitergegeben. Der Informationstransfer erfolgt auch über moderne Kommunikationswege (z. B. Internetpräsenz als multimediale Plattform zur Kommunikation zwischen Theorie und Praxis). Als vorläufigen

Abschluss der Transfermaßnahmen planen wir ein internetbasiertes Auswertungstool mit Hilfestellungen für das Regenerationsmanagement, das vor allem auch mit mobilen Geräten (Notebooks, Tablets, Smartphones) nutzbar sein soll.

Die Gliederung der Broschüre ist an dem Projektaufbau mit seiner Untergliederung in die beiden Untersuchungsstränge und die einzelnen Untersuchungsmodule orientiert (vgl. Abb. 1). Nach kurzer Erläuterung grundlegender Positionen zu Ermüdungs- und Erholungsprozessen folgen die beiden Hauptkapitel.

Kapitel 3 „Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf“ gibt einen Überblick zu diagnostischen Verfahren, die nach aktueller Erkenntnislage zur Messung von Erholtheit bzw. Ermüdung geeignet sind. Dabei orientiert sich die Auswahl an dem im Rahmen von REGman eingesetzten Diagnostikinventar (REGman Stufe 1).

In Kapitel 4 „Regenerationsfördernde Maßnahmen“ wird der aktuelle Kenntnisstand zu ausgewählten Regenerationsverfahren (Stufe 2, Modul H2.1) unter Einbeziehung der bisherigen REGman-Befunde dargestellt. Im Einzelnen werden die Anwendungsmethoden, der physiologische Hintergrund, die aktuelle Studienlage und die REGman-Befunde behandelt sowie hieraus Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet.

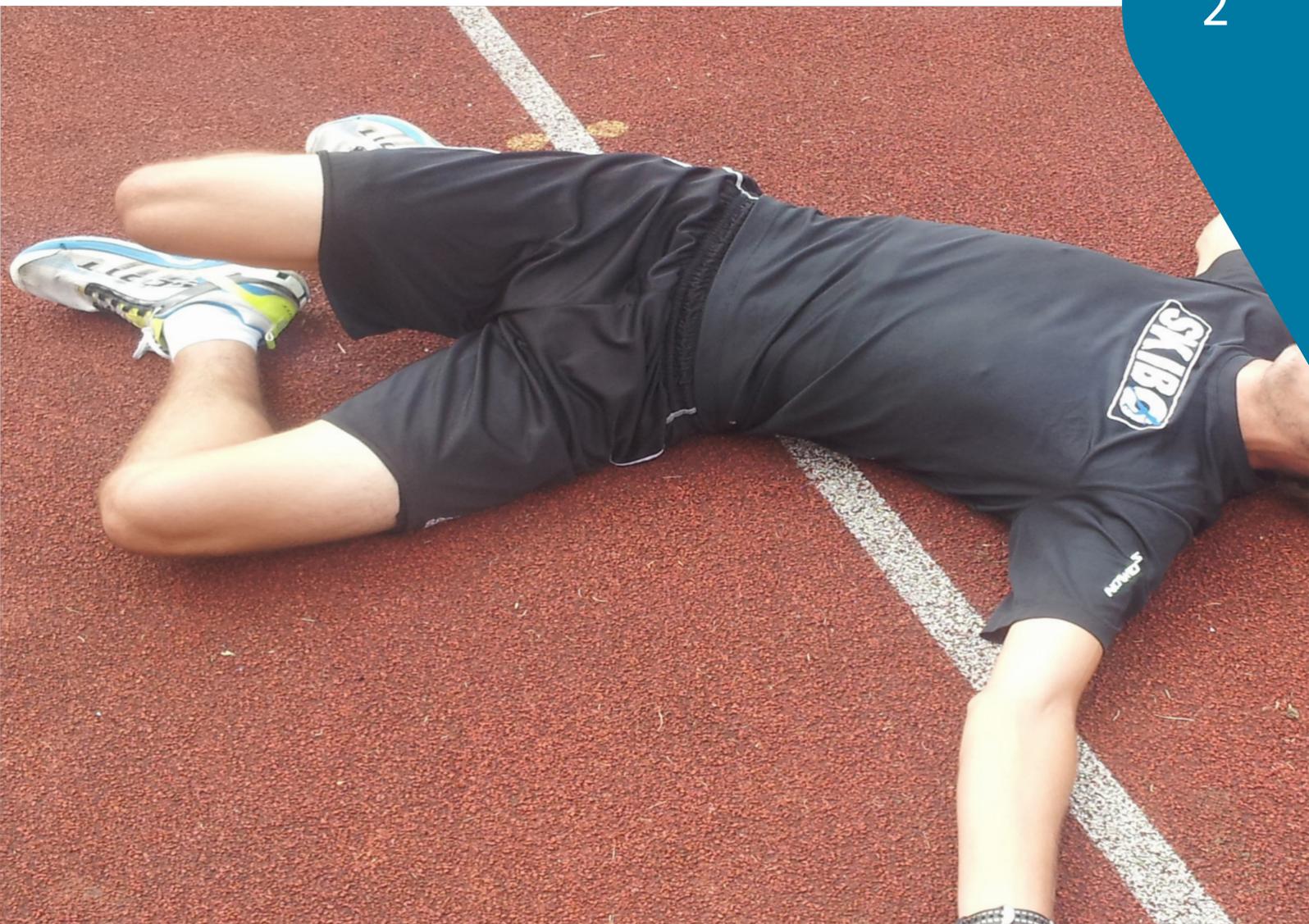
Seit Beginn des REGman-Projekts Ende 2012 sind zunehmend tragbare Systeme (Wearables) auf den Markt gekommen, mit denen sich – so die Hersteller – der individuelle Erholungsstatus sehr präzise bestimmen lässt. Diesen Trend aufgreifend wird in Kapitel 5 „Zukunftsperspektiven“ der Blick auf die Wearables und deren möglichen Beitrag zum individuellen Regenerationsmanagement gerichtet. Dies beinhaltet einen Ausblick auf die weitere Einbindung von Wearables im Rahmen des REGman-Projekts.

Das Kapitel 6 „Schlussfolgerungen für die Praxis“ gibt konkrete Handlungsempfehlungen für das Regenerationsmanagement, dabei wird vor allem auf Fragen der Individualisierung und der Sportartspezifität eingegangen.



## 2 Regenerationsbedarf im Sport

2



*Foto Vorderseite: Akuter Regenerationsbedarf nach einem High-Intensity Training auf der Laufbahn*

Ermüdung ist ein normaler Bestandteil des Trainingsprozesses und in gewissem Ausmaß die Voraussetzung für Anpassungsprozesse. Im modernen leistungssportlichen Training halten viele Protagonisten die (physischen) Belastungen kaum noch für steigerbar, so dass das Augenmerk zunehmend auf die Erholungsprozesse und deren Optimierung fällt. Im Wesentlichen lässt sich das Management von Regeneration strukturieren in

- a) die Diagnostik von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf sowie
- b) Interventionen, um Regenerationsprozesse zu unterstützen.

Dabei ist zunächst zu konstatieren, dass sowohl Ermüdungs- als auch Erholungsprozesse keine triviale Natur aufweisen. Sie finden auf verschiedenen Funktionsebenen des menschlichen Organismus in unterschiedlicher Geschwindigkeit und Ausprägung statt:

- › Muskulatur (Glykogenentleerung, reversibler Verlust mechanischer Eigenschaften, Mikroschädigungen),
- › neuromuskuläres Zusammenspiel (verringerte Impulsrate, verringerte Rekrutierbarkeit),
- › autonomes Nervensystem (Dysregulation von Sympathikus und Parasympathikus, Erschöpfung sympathischer Aktivierbarkeit, eingeschränkte maximale Aktivierbarkeit des Herz-Kreislauf-Systems),
- › zentrales Nervensystem („central fatigue“),
- › Hormonsystem (verringerte Aktivierbarkeit von Hormondrüsen, veränderte Ansprechbarkeit innerhalb von hormonellen Feedbackschleifen),

- › Bindegewebe (diverse Mechanismen, die noch beforscht werden, darunter möglicherweise auch eine eingeschränkte Festigkeit von Bändern, Sehnen und Knochen).

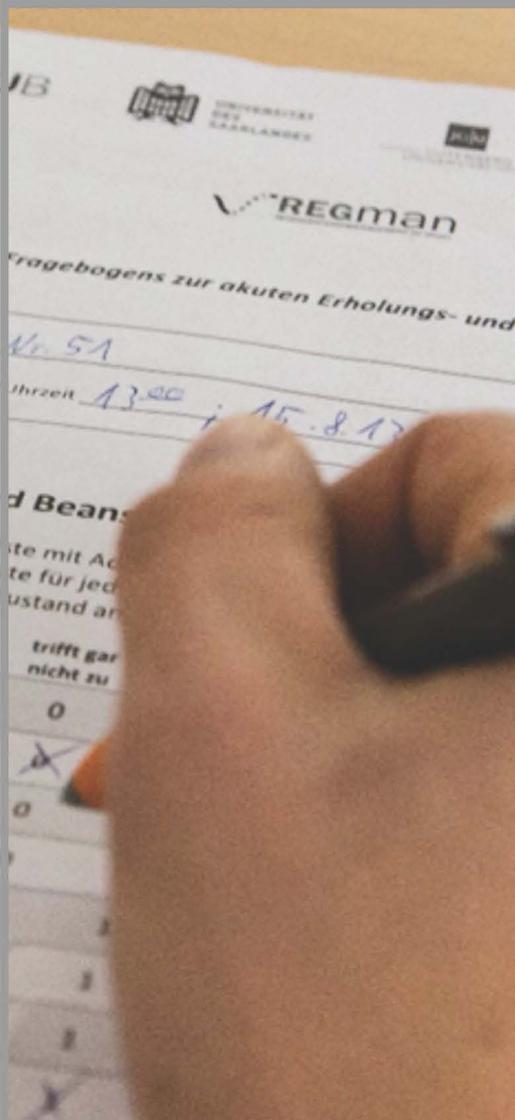
Diese Liste kann kaum als erschöpfend betrachtet werden. Erschwert wird ein Überblick noch durch die Verschiedenartigkeit der sportlichen Disziplinen, die in variabler Weise Ermüdung gleichzeitig auf mehreren Funktionsebenen des menschlichen Organismus hervorrufen. Diese Komplexität dürfte auch eine der Hauptursachen für die bislang nur lückenhafte wissenschaftliche Aufarbeitung sein.

Schließlich scheint uns einleitend eine Abgrenzung wichtig, die gelegentlich aus dem Blick gerät: jene zwischen (akuter) Ermüdung und (chronischer/m) Überlastung/Übertraining. Es mag zwar in einzelnen Fällen darum gehen, ein sog. „Übertrainingssyndrom“ zu vermeiden, häufig ist zumindest die Verhinderung von Überlastungszuständen ein Ziel. Aber Befunde aus Übertrainingsstudien oder aus Einzelfällen übertrainierter Sportlerinnen oder Sportler lassen nicht zwangsläufig Rückschlüsse auf die „normale“ Ermüdung zu. Deren Bewertung und adäquate Beeinflussung stellt jedoch den Fokus dieser Broschüre sowie des REGman-Projekts dar. Denn sie prägen fast täglich die Handlungsentscheidungen von Trainern bzw. Trainerinnen und Aktiven und sind damit von großer sportpraktischer Bedeutung. Dabei stehen die optimierte Erholung samt Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit nach einer intensiven Trainings- oder Wettkampfbelastung bis zum Folgetag im Vordergrund der Betrachtung, um der leistungssportlichen Wirklichkeit mit seltenen trainingsfreien Tagen möglichst nahe zu kommen.



### 3 Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf

3



*Foto Vorderseite: Methoden zur Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf*

Die Messung von Indikatoren für Erholtheit bzw. Ermüdung verfolgt in der Regel zwei Ziele:

1. Am bedeutsamsten erscheint die Identifikation von Athletinnen und Athleten, die einen Regenerationsbedarf haben. Indirekt werden dabei natürlich auch jene Personen erkennbar, die ausreichend erholt, also voll trainierbar sind.
2. Eine weitere Anwendung ist die Bewertung von eingesetzten Maßnahmen, die die Regeneration unterstützen sollen. Dies kann sowohl für den Einzelfall geschehen (übliches Vorgehen in der leistungssportlichen Praxis) als auch für Gruppen (typisch für wissenschaftliche Studien, die die prinzipielle Wirksamkeit einer Intervention bewerten sollen).

In Betracht kommen dabei verschiedene Arten von Messwerten, die sich im Wesentlichen in folgende Kategorien aufteilen lassen, die auch die Struktur dieses Kapitels darstellen:

- › einfache motorische Tests,
- › Laborwerte,
- › Psychometrie,
- › sonstige Verfahren.

Um für leistungssportliche Belange tauglich zu sein, müssen die zu messenden Parameter verschiedene Kriterien erfüllen. Denn man muss bedenken, dass *im Einzelfall* eine *zuverlässige* Aussage getroffen werden soll. Schließlich besteht eine mögliche Konsequenz dieser Diagnostik in Trainingsmodifikationen oder gar -verzicht – einem sehr bedeutsamen Eingriff in den Athletenalltag. So müssen die Messwerte einerseits empfindlich für sportartrelevante Schwankungen sein, aber auch robust gegenüber alltäglichen Einflüssen wie Veränderungen des Ernährungs- und Schlafverhaltens oder Stressoren wie Reisen oder privatem Stress (soweit diese nicht selbst für Ermüdung verantwortlich sind). Da Erholtheitsindikatoren potenziell wiederholt bestimmt werden, sollte ihre Bestimmung nicht zu teuer sein. Außerdem dürfte es bei der Trainerschaft sowie den Athletinnen und Athleten auf wenig Gegenliebe treffen, wenn erst ermüdende Anstrengungen erforderlich sind, um entsprechende Messungen vorzunehmen. Schließlich ist zu bedenken, dass die genann-

ten Personengruppen eigene Interessen haben können („am Wochenende spielen“), so dass die Objektivität (= fehlende Manipulierbarkeit) der Parameter auch bedeutsam sein kann. Ein idealer Marker würde wohl neben diesen Kriterien auch integrativ sein, d. h. alle Ermüdungsebenen auf einmal abbilden.

## 3.1 Einfache motorische Tests

Im Rahmen von Voruntersuchungen wurden alle hier diskutierten Verfahren auf ihre hinreichende Reproduzierbarkeit untersucht. Diese Eigenschaft von Tests ist wichtig, um Veränderungen auch wirklich als solche interpretieren zu können (und nicht als biologische oder Messschwankung). (Der Testablauf wird nachfolgend nur für die weniger verbreiteten Tests beschrieben).

### 3.1.1 Sprung-, Sprint- und Krafttests

#### Physiologischer Hintergrund

Intensive und umfangreiche, aber auch ungewohnte Muskelbeanspruchungen verursachen einen vorübergehenden Verlust an Maximalkraft, Schnellkraft und Reaktivkraft. Dies kann sowohl auf periphere ermüdungsbedingte Veränderungen in der Arbeitsmuskulatur als auch auf Störungen der neuromuskulären Ansteuerung bzw. auf eine Kombination von beidem zurückgeführt werden (Ament & Verkerke, 2009; Meeusen et al., 2006). Speziell wenn die Beanspruchungen mit hohen exzentrischen Kontraktionen einhergehen, können mikroskopisch kleine Muskelverletzungen (sog. „Mikrotraumata“) entstehen und im weiteren Verlauf mit lokalen Entzündungsprozessen verbunden sein, die zu Muskelschmerzen führen („Muskelkater“; delayed onset muscle soreness = DOMS) (Toigo, 2014). In diesem Fall ist mit Einbußen bei der Rekrutierbarkeit von Muskelfasern zu rechnen. Muskelkater oder vergleichbare muskuläre Beschwerden resultieren zusätzlich auch in einer Hemmung der neuromuskulären Aktivierung. Sind die unteren Extremitäten hiervon betroffen, sinken die Sprung-, Sprint- und Kraftleistungen ab (Byrn et al., 2004).

### Eignung und Einsatzgebiete

Die Diagnostik der Sprungleistung (zum Beispiel Counter Movement Jump (CMJ) und Multiple Rebound Jump; s. Abb. 3) wird bislang vor allem im Bereich der Sportspiele durchgeführt (Halson, 2014). Sie ist mit geringem apparativem Aufwand realisierbar, für die Athletinnen und Athleten durchweg wenig belastend und interferiert weder mit dem Trainings- noch mit dem Erholungsprozess. Ein engmaschiges Belastungs-Erholungs-Monitoring ist daher möglich.

sprint), die primär in Sportarten Relevanz besitzen, in denen Sprints wichtige Komponenten der sportlichen Leistung darstellen.

### Testablauf des Multiple Rebound Jumps

Die Testperson steht aufrecht mit gestreckten Beinen auf einer Kontakt- oder Kraftmessplatte. Die Arme sind angewinkelt und in die Hüfte gestemmt. In einem 15-sekündigen Zeitintervall erfolgen vertikale reaktive Seriensprünge bei möglichst kurzen Bodenkontaktzeiten (repetiti-



Abb. 3: Volleyballnationalspieler Jan Zimmermann beim Counter Movement Jump (CMJ)

Diese Sprungformen eignen sich insbesondere für Sportarten, in denen Funktionseinschränkungen der unteren Extremitäten zu erwarten sind und in denen die Schnell- und Reaktivkraft wichtige leistungslimitierende Faktoren darstellen (z. B. Sportspiele, Gewichtheben, Kampfsport). Analoges gilt für die Sprinttests über kurze Distanzen (z. B. der 20 m-Linear-

ve Prellsprünge). Dabei sind die Beine in der Luft und während der Bodenkontaktphasen weitestgehend gestreckt. Ziel ist es, durch ein optimales Verhältnis aus Sprunghöhe und kurzen Bodenkontaktzeiten eine möglichst hohe Sprungeffizienz zu erreichen (Girard et al., 2006). Die Sprungeffizienz ergibt sich aus dem Quotienten der Flugzeit (Zähler) und der Bodenkontaktzeit

(Nenner). Aus den absolvierten Sprüngen werden anhand dieses „Effizienzkoeffizienten“ mindestens die drei besten Sprünge ausgewählt und die mittlere Sprungeffizienz errechnet (Ball & Zanetti, 2012). Innerhalb von REGman wurden die fünf besten Sprünge für weitere Analysen verwendet. Für die Diagnostik der Sprungleistung wird eine Kontakt- oder Kraftmessplatte sowie ein Computer mit entsprechender Software benötigt.

### **REGman-Befunde Sprung- und Sprinttests**

Hochintensive mehrtägige Kraft- und Ausdauerbelastungen resultierten in einer Abnahme der Sprint- und Sprungleistung, die innerhalb einer 72-stündigen Erholungsphase reversibel war (Wiewelhove et al., 2015a). Kurzsprints, CMJ und Multiple Rebound Jumps sind folglich potenziell brauchbare Verfahren zur Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf in solchen Belastungsszenarien (Wiewelhove et al., 2015b). CMJ und Kurzsprints eignen sich dabei eher in Sportarten, in denen das Beanspruchungsprofil überwiegend lange Dehnungs-Verkürzungszyklen (DVZ) beinhaltet (z. B. Fußball). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die muskuläre Beanspruchung beim Sprinttest vergleichsweise hoch ist, so dass der CMJ trotz einer geringeren Bedeutung für die Spielleistung möglicherweise zu bevorzugen ist. Der Multiple Rebound Jump verspricht Vorteile im Fall kurzer DVZ und ist insbesondere zur Erfassung neuromuskulärer Ermüdungsprozesse geeignet (z. B. beim Tischtennis oder Badminton).

### **Eignung und Einsatzgebiete Krafttests**

Die Diagnostik der dynamischen Maximalkraft eignet sich vor allem in Disziplinen, in denen die Maximalkraft eine große Rolle spielt (z. B. Gewichtheben). Aufgrund ihres engen Zusammenhangs mit der Sprint- und Sprungleistung kann eine Bestimmung der dynamischen Maximalkraft jedoch auch in den großen Sportspielen (z. B. Fußball, Handball) sowie in Kampfsportarten (z. B. Judo) interessant sein (Franchini et al., 2011; Wisloff et al., 2004). Die Messung des 1-RM (maximales Gewicht, das mit einem Versuch zu bewältigen ist) ist mit geringem apparativem Aufwand realisierbar (Baechle & Earle, 2008; Maud & Foster, 2006); sie geht jedoch für die Athletinnen und Athleten mit einer erheblichen Be-

lastung einher. Die Messung der isometrischen Maximalkraft ist hingegen weniger belastend, hochgradig standardisierbar und zeichnet sich durch eine hohe Reliabilität aus (Nédélec et al., 2012). Die Validität der isometrischen Maximalkraftdiagnostik ist jedoch aufgrund des dynamischen Charakters sportpraktischer Aktivitäten limitiert und erfordert einen hohen apparativen Aufwand.

### **REGman-Befunde Krafttests**

Hochintensive, vor allem exzentrisch akzentuierte Kraftbelastungen resultierten in einer vorübergehenden Abnahme der Kraftleistung, die innerhalb einer 72-stündigen Erholungsphase nur teilweise wiederhergestellt werden konnte (Raeder et al., 2015). 1-RM und isometrische Maximalkraft können als Methoden zur Beurteilung von Ermüdung und Erholtheit im Krafttraining angesehen werden (noch unveröffentlichte Befunde). Jedoch zeigen die REGman-Daten ebenfalls eine hohe interindividuelle Variabilität nach intensiven Trainingsphasen, so dass die diagnostische Brauchbarkeit kraftspezifischer Diagnostikverfahren auf individueller Basis überprüft werden muss.

## **3.1.2 Submaximale Ausdauer tests**

### **Physiologischer Hintergrund**

Wiederholte hochvolumige und/oder hochintensive Ausdauerbeanspruchungen (s. Abb. 4) verursachen Auslenkungen in verschiedenen Funktionssystemen (z. B. Glykogenspeicherung oder autonome Regulation des Herz-Kreislauf-Systems) und führen zu einer vorübergehenden Absenkung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Es haben sich verschiedene laborbasierte Testverfahren und Parameter zur Erfassung von trainings- oder ermüdungsbedingten Leistungsveränderungen etabliert, die jedoch in der Sportpraxis unter Feldbedingungen nur unter großen Schwierigkeiten wiederholt realisierbar sind. Als Alternative bieten sich einfache praxistaugliche Feldtests an, die neben der maximalen auch die submaximale Leistungsfähigkeit erfassen können (Bradley et al., 2011; Krstrup et al., 2003; Lamberts et al., 2011).



Abb. 4: Tempogesteuerte submaximale Feldtests

Auf submaximaler Ebene ist die Herzfrequenz ein relativ einfach zu erfassender Parameter, der bei definierter Belastung und weitgehend standardisierten Umgebungsbedingungen (Flüssigkeitsaufnahme, Temperatur, Tageszeit; ggf. Medikation) wertvolle Informationen liefert. Eine erniedrigte Herzfrequenz bei gegebener Belastung dient als Indikator für eine verbesserte Leistungsfähigkeit, umgekehrt kann eine erhöhte Herzfrequenz ein Frühwarnzeichen für Ermüdung oder Erkrankungen sein (Bradley et al., 2011; Buchheit, 2014). Da die maximale Testleistung in der leistungssportlichen Praxis nicht in engmaschiger Folge erhoben werden kann, bieten diese submaximal erhobenen Informationen eine verträglichere Alternative zur Evaluation von Leistungsfähigkeit oder auch Regenerationsbedarf. Definierte submaximale Belastungen sind häufig einfacher zu standardisieren als „Ruhe“, so dass diese Messungen eine wertvolle Ergänzung zur Ruhe-HF darstellen können.

#### Testablauf Yo-Yo-Tests

Bei den Yo-Yo-Tests handelt es sich um akustisch gesteuerte intervallartige Lauftests mit Richtungswechseln. Sie werden auf einem maximal 25 m langen Feld absolviert und bestehen aus wiederholten Richtungswechselläufen über 2 x 20 m. Nach jedem 2 x 20 m-Intervall erfolgt eine 5-sekündige (Yo-Yo Intermittent Endurance Test 1 und 2, YYIE) oder eine 10-sekündige (Yo-Yo Intermittent Recovery Test 1 und 2, YYIR) aktive Pause. Die Laufgeschwindigkeit beginnt bei moderatem Tempo und wird schrittweise nach einem vorgegebenen Schema bis zum er-



Abb. 5: Durchführung des Yo-Yo-Tests

schöpfungsbedingten Abbruch gesteigert (Krus-trup et al., 2003).

Akustisch gesteuerte Feldtests können auch zur Erfassung der submaximalen Belastungsreaktion eingesetzt werden. Hierbei wird entweder eine konstante submaximale Laufgeschwindigkeit über einen Zeitraum von fünf Minuten vorgegeben (Buchheit, 2014) oder einer der beiden Yo-Yo Tests nach einer festgelegten Belastungsdauer (z. B. 6 bzw. 9 min) abgebrochen. Dabei werden Ruhe- und Belastungsherzfrequenz sowie Herzfrequenzerholung und Herzfrequenzvariabilität erfasst (Bradley et al., 2011; Buchheit, 2014).

#### Testablauf Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test

Der Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test (LSCT) ist ein submaximaler Ausdauer-test in erster Linie für den Radsport. Er besteht aus drei Belastungsstufen mit 2 x 6 min Dauer bei 60 % und 80 % der maximalen Herzfrequenz sowie 3 min Belastung bei 90 % der maximalen Herzfrequenz (muss vorab ermittelt werden). Während der Stufen werden die Leistung (die letzten 5 min der Stufen 1 und 2 bzw. die letzten 2 min der Stufe 3) und das subjektive Anstrengungsempfinden (RPE) ermittelt.

#### Eignung und Einsatzgebiete

Die Diagnostik über submaximale Herzfrequenzen wird bislang vor allem im Ausdauersport durchgeführt. Aufgrund der zunehmend praktikableren Testverfahren und wenig einschränkender Messtechnik ist ein Einsatz solcher Me-

thoden mittlerweile auch für ein Monitoring in den Sportsportarten attraktiv. Speziell die laufbasierten Tests sind mit geringem apparativem Aufwand in kurzer Zeit realisierbar. Aufgrund des submaximalen Charakters sind sie für die Athleten durchweg wenig belastend, können in ein Warm-up integriert werden und stören weder den Trainings- noch den Erholungsprozess.

### **REGman-Befunde**

Der LSCT wurde im Rahmen eines intensiven Trainingslagers mit 23 männlichen, trainierten Radsportlern auf seine Anwendbarkeit überprüft (Hammes et al., 2015). Der Test war in der Lage, Ermüdungs- und Erholungsprozesse abzubilden. Zur korrekten Bewertung der Ergebnisse muss man allerdings mehrere Messgrößen des Tests heranziehen. Eine Leistungsbeurteilung mithilfe des LSCT sollte in der Praxis idealerweise auf Grundlage individueller Referenzwerte durchgeführt werden, die eine wiederholte Durchführung des Tests erfordern.

## **3.2 Laborwerte**

### **Physiologischer Hintergrund**

Viele der metabolischen, muskulären und regulativen Aspekte trainingsbedingter Ermüdung können durch laborchemische Messungen nachgewiesen und quantifiziert werden. Zu den klassischen Ermüdungsindikatoren zählen insbesondere das Muskelenzym Creatinkinase (CK) als Marker muskulärer Mikroschädigung, Harnstoff als Indikator von metabolischer Beanspruchung und Proteinkatabolismus sowie der Quotient aus freiem Testosteron und Cortisol als Parameter der anabol-katabolen Balance (Urhausen et al., 1987, 1995). Neben dem klaren Bezug der einzelnen Parameter zu den physiologischen Hintergründen von Ermüdung und Erholung bieten Laborwerte günstige methodische Voraussetzungen für das Ermüdungsmonitoring im Spitzensport. Hierzu zählen Objektivität, ein nur sehr kleiner technischer Messfehler und die geringe Belastung der Personen. Allerdings sind auch Laborwerte – wie alle übrigen Ermüdungsindikatoren – mit einer erheblichen Streuung behaftet die eine präzise Beurteilung des Ermüdungsstatus im Einzelfall erschwert (s. Abb. 6).

Für die klassischen Ermüdungsindikatoren (CK, Harnstoff, freies Testosteron und Cortisol) konnte ein signifikanter Zusammenhang mit trainingsbedingter Ermüdung und Erholung mehrfach nachgewiesen werden (Meeusen et al., 2013; Raeder et al., 2015; Urhausen et al., 1995; Wiewelhove et al., 2015a, b). Darüber hinaus wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Biomarker beschrieben (Hecksteden et al., 2015; Sawada et al., 2013; Smith & Norris, 2002; Steinacker et al., 2004), die allerdings in Wiederholungsstudien nur teilweise bestätigt werden konnten (Arecas et al., 2015; Steinacker et al., 2004). Messungen im Rahmen standardisierter Belastungstests ermöglichen prinzipiell eine präzisere Abschätzung des aktuellen Ermüdungsstatus (Meeusen et al., 2013; Urhausen et al., 1998), sind aber aufgrund der zusätzlichen Belastung von Athletinnen und Athleten nicht ohne weiteres für eine routinemäßige Anwendung geeignet. Eine systematische Validierung von Ermüdungsmarkern in experimentellen Längsschnittuntersuchungen an trainierten Sportlern unterschiedlicher Disziplinen war bisher nicht verfügbar. Die Behebung dieses Forschungsdefizits war wesentliches Ziel der ersten Projektphase von REGman.

### **Eignung und Einsatzgebiete**

Einige laborchemische Ermüdungsindikatoren werden bereits seit Jahrzehnten im Spitzensport verwendet. Hierzu zählen insbesondere CK und Harnstoff, die komplementäre Aspekte von Ermüdung erfassen und sowohl im venösen als auch im Kapillarblut einfach und kostengünstig (in einem klinisch-chemischen Labor für Centbeträge; bei ambulanten Messungen mit separatem Gerät deutlich teurer) bestimmbar sind. Da eine sinnvolle Interpretation aufgrund der hohen Streuung nur im individuellen Längsschnitt möglich ist, werden diese Parameter bisher vor allem zum engmaschigen Monitoring im Rahmen begrenzter Zeiträume mit besonders hoher Trainingsbelastung verwendet; typischerweise die CK in Kraft-/Schnellkraftsportarten und Harnstoff im Ausdauerbereich. Die Beurteilung erfordert eine Zusammenschau u. a. mit Trainingsbelastung, Trainingsinhalten und subjektivem Empfinden der Athletinnen und Athleten und somit ein gewisses Maß an Erfahrung.

**REGman-Befunde**

In jeweils sechstägigen, simulierten Trainingslagern an spezifisch trainierten Personen konnte für folgende Parameter ein ermüdungsabhängiger Verlauf nachgewiesen werden:

---

Langzeitausdauer/ Radsport:	Harnstoff, Insulin-like growth factor 1 (IGF-1), CK, freies Testosteron, C-reaktives Protein (CRP) Quotient aus freiem Testosteron und Cortisol
Krafttraining:	CK, CRP
High Intensity Interval Training (HIIT, Sportspiele):	CK, CRP

---

Diese Ergebnisse spiegeln plausibel die jeweils typische Beanspruchung wider. (Radsport: primär metabolische Beanspruchung, Krafttraining und HIIT: primär muskulär-mechanische Beanspruchung). Abb. 6 zeigt exemplarisch die Verläufe von CK und Harnstoff, wobei der zweite Messzeitpunkt dem ermüdeten Zustand am Morgen nach der sechstägigen Trainingsphase entspricht.

Es zeigte sich, dass Laborwerte einen wesentlichen Beitrag zum Ermüdungsmonitoring leisten können. Bei der Auswahl geeigneter Parameter ist dabei auf jeden Fall die sportarttypische Beanspruchung zu berücksichtigen. Allerdings ist eine optimale Interpretation einzelner Messwerte offenbar nur auf Basis einer intra-individuellen Baseline bzw. im individuellen Längsschnitt möglich (s. Kapitel 3.5). Dies kann intuitiv, graphisch oder aber über eine formalisierte Normwertindividualisierung erfolgen.

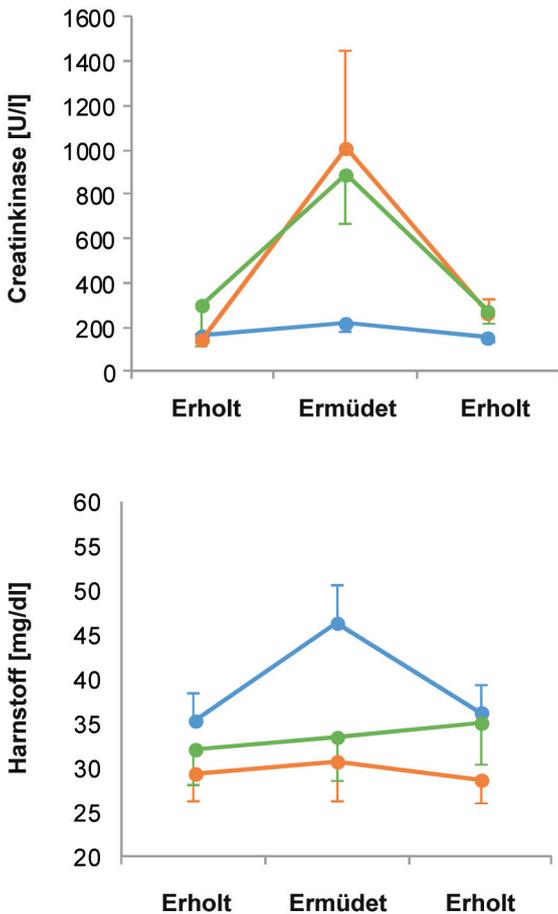


Abb. 6: Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle für Creatinkinase (oben) und Harnstoff (unten); blau: Ausdauertraining/Radsport; rot: hochintensives Intervalltraining/Sportsport; grün: Kraftsport.

**3.3 Psychometrie**

Psychometrische Skalen stellen in wissenschaftlichen Studien wohl das erfolgreichste Instrument zur Abbildung von Ermüdung und Erholtheit dar. Eine Ursache für diese Effektivität liegt in dem zugrunde liegenden globalen Ansatz. Denn in die zu erhebenden Items gehen oft mehrere Ermüdungs- (und Erholungs-)ebenen gleichzeitig ein. So setzt sich die aktuelle Befindlichkeit aus verschiedenen Inputs zusammen, die zentralnervös verarbeitet werden und dann die Wahrnehmung des Regenerationsbedarfs festlegen. Man könnte daher psychometrische Skalen fast als „Goldstandard“ der Ermüdungsdiagnostik ansehen, wenn sie nicht von den Athletinnen und Athleten „durchschaubar“ wären. So ist es meist unschwer möglich, die verwendeten Gegensatzpaare oder zu bewertende Adjektive als Indikatoren für Ermüdung oder Erholtheit zu identifizieren. Insofern kann eine interessengeleitete Person, die beispielsweise an einem Wettkampf in Kürze teilnehmen möchte, verleitet sein, seine Ermüdung zu „verschleiern“.

**Eignung und Einsatzgebiete**

Der Einsatz standardisierter psychometrischer Verfahren dient einer zeitökonomischen und wenig belastenden Erhebung des derzeitigen individuellen psychophysischen Beanspru-

chungszustandes, um die Trainingssteuerung zu unterstützen (Meeusen et al., 2013). Besonders für die Erfassung der Befindlichkeit in größeren Gruppen sind psychometrische Verfahren effizient einsetzbar. Bei der frühzeitigen Identifikation von Übermüdungs- und Beanspruchungssignalen ist die Erfassung der subjektiven Perspektive der Athletinnen und Athleten sehr wichtig (Meeusen et al., 2013). Ein regelmäßiges Monitoring ist besonders vor dem Hintergrund relevant, dass Personen unterschiedlich auf Trainingsreize reagieren und die Adaptation sehr individuell ist. Es gibt bereits verschiedene Methoden wie den Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler (Kellmann & Kallus, 2000, 2016) oder das Profile of Mood States (McNair et al., 1992), die jedoch entweder für den häufigeren Einsatz zu lang sind, sich nicht auf den aktuellen Zustand beziehen oder nicht sportspezifisch sind.

### REGman-Befunde

Zur Diagnostik des aktuellen Erholungs-Beanspruchungszustandes im Sport sind im Rahmen des REGman-Projektes zwei Fragebögen entwickelt und evaluiert worden (Hitzschke et al., 2015, in Druck):

Das *Akutmäß Erholung & Beanspruchung* (AEB) besteht aus 32 Adjektiven, die jeweils vier Erholungsdimensionen (Tab. 1) und vier Beanspruchungsdimensionen (Tab. 2) zugeordnet sind. Jedes Adjektiv wird auf einer 7-stufigen Skala von 0 (trifft gar nicht zu) bis 6 (trifft voll zu) bewertet. Folglich spricht ein hoher Score auf den

Erholungsskalen für ausgeprägte Erholtheit, während ein solcher auf den Beanspruchungsskalen als Indikator für hohe Beanspruchung zu werten ist (Hitzschke et al., in Druck). Aus den insgesamt 8 Dimensionen des AEB wurde die *Kurzskala Erholung & Beanspruchung* (KEB) abgeleitet, bei der nur die jeweilige übergeordnete Dimension bewertet wird (Hitzschke et al., 2015). Die einzelnen Adjektive jeder Dimension sind dort nur beispielhaft-erklärend aufgelistet.

In diversen Labor- und Feldstudien (Trainingslager und saisonbegleitend) haben beide Instrumente einen validen und sensitiven Einsatz belegt (z. B. Hammes et al., 2015; Kölling et al., 2015). Sowohl AEB (ca. 4 Minuten) als auch KEB (ca. 30-40 Sekunden) zeichnen sich durch zeitökonomische Durchführung und eine unkritische Wiederholbarkeit sogar mehrfach am Tag aus.

Beide Instrumente können für ein längeres Monitoring eingesetzt werden (weitere Informationen unter [www.regman.org](http://www.regman.org)). Aufgrund der Kompaktheit des AEB und vor allem der KEB ist eine schnelle Rückmeldung an Athletinnen und Athleten sowie die Trainerschaft möglich. Insbesondere die KEB erlaubt eine direkte und einfach zu verfolgende Schnellrückmeldung über den aktuellen Erholungs-Beanspruchungszustand sowie dessen Verlauf, wenn die Werte auf einer Zeitachse aufgetragen werden (ähnlich dem einer Fieberkurve). Empfehlenswert ist es allerdings, das AEB vor dem ersten Einsatz

Tab. 1 und 2: Erholungsdimensionen (oben) und Beanspruchungsdimensionen (unten) mit den zugehörigen Adjektiven.

<b>Körperliche Leistungsfähigkeit</b>	<b>Mentale Leistungsfähigkeit</b>	<b>Emotionale Ausgeglichenheit</b>	<b>Allgemeiner Erholungszustand</b>
kraftvoll	aufmerksam	zufrieden	erholt
leistungsfähig	aufnahmefähig	ausgeglichen	ausgeruht
energiegeladen	konzentriert	gut gelaunt	muskulär locker
voller Power	mental hellwach	alles im Griff habend	körperlich entspannt

<b>Muskuläre Beanspruchung</b>	<b>Aktivierungsmangel</b>	<b>Emotionale Unausgeglichenheit</b>	<b>Allgemeiner Beanspruchungszustand</b>
muskulär überanstrengt	unmotiviert	bedrückt	geschafft
muskulär ermüdet	antriebslos	gestresst	entkräftet
muskulär übersäuert	lustlos	genervt	überlastet
muskulär verhärtet	energielos	leicht reizbar	körperlich platt

der KEB ausfüllen zu lassen, um die Nutzer an den Befragungsmodus zu gewöhnen. Je nach Ziel- oder Fragestellung liefert das AEB durch die einzelne Beantwortung der Adjektive ein differenzierteres Bild des Erholungs-Beanspruchungszustandes. Über einen längeren Zeitraum ist ein kombinierter Einsatz von AEB und KEB empfehlenswert. Zur Vermeidung „verschleierter“ Werte ist es – wie bei allen psychologischen Verfahren – ratsam, die Athletinnen und Athleten über den Nutzen und die Bedeutsamkeit für eine optimale Trainingsteuerung aufzuklären.

## 3.4 Sonstige Verfahren

### 3.4.1 Herzfrequenz-basierte Verfahren

#### Physiologischer Hintergrund

Die bei einer Aufzeichnung der elektrischen Herzaktivität abgeleiteten Parameter liefern nichtinvasive Informationen zur Aktivität des autonomen Nervensystems, weil Sympathikus und Parasympathikus direkten Einfluss auf die Regulation der Herzfrequenz nehmen (chronotroper Effekt). Neben der Dokumentation von Ruhe-, submaximalen und Erholungsherzfrequenzen ist die Messung der Herzfrequenzvariabilität (HRV) ein etabliertes Verfahren zur Abschätzung von Ermüdung und Erholtheit. Die HRV bildet dabei die Interaktion zwischen dem sympathischen und parasympathischen Nervensystem ab. Belastungssituationen können eine akute Verschiebung der autonomen Balance hervorrufen. Eine zeitlich engmaschige Bestimmung der efferenten Sympathikus- bzw. Vagusaktivierung oder -hemmung über Einzelwerte oder gleitende Mittelwerte und mehrtägige Trends kann somit im Rahmen HRV-basierter Analysen Informationen zum Ermüdungs- bzw. Erholungszustand von Athletinnen und Athleten liefern (Aubert et al., 2003; Buchheit, 2014; Halson, 2014; Plews, 2013).

#### Ruhe-Herzfrequenz

Die Ruhe-Herzfrequenz (Ruhe-HF) ist eine etablierte Größe zur Abschätzung der momentanen Balance des vegetativen (= autonomen) Nervensystems. Sie ist einfach und zuverlässig zu messen, wobei es insbesondere darauf ankommt, verschiedene Aspekte der Standardisierung zu berücksichtigen. Dazu zählen die Körperlage (in

der Regel liegend), die Uhrzeit (morgens nach dem Erwachen und einem Toilettengang), die Temperatur und Ruhe. Aussagekräftig können Messungen der Ruhe-HF nur sein, wenn kein Infekt vorliegt, da ansonsten die HF falsch zu hoch gemessen werden kann. Im Rahmen von REGman wurde die Ruhe-HF nicht weiter evaluiert, da ihr Wert aus der Literatur ableitbar ist. Verschiedene Autoren ordnen der Ruhe-HF eine ähnliche Wertigkeit zu wie der HRV (z. B. Bosquet et al., 2008). Primäres Einsatzgebiet für alle Herzfrequenz-basierten Verfahren sind Sportarten mit einem relevanten Ausdaueranteil, da hier die Verbindung mit dem autonomen Nervensystem am engsten ist. Eine höhere Ruhe-HF deutet dabei auf einen verringerten Vagotonus hin, was als Ermüdungszeichen interpretierbar ist. Allerdings sollte man Veränderungen unter 5-7/min mit Zurückhaltung interpretieren, weil sie noch im Bereich der normalen Tag-zu-Tag-Schwankungen liegen.

#### Herzfrequenzvariabilität (HRV)

Die HRV kann sowohl während einer Ruhe- (liegend und/oder stehend) als auch während einer Belastungssituation gemessen werden. Verschiedene wichtige Aspekte der Standardisierung betreffen sowohl die Messung als auch das Verhalten der Athletinnen und Athleten in den Stunden davor (u. a. Nahrungsaufnahme, Aktivitäten und Schlaf).

#### Eignung und Einsatzgebiete

Als nichtinvasives Verfahren ist die Messung der HRV für die Athletinnen und Athleten nicht belastend und interferiert daher weder mit dem Trainings- noch mit dem Erholungsprozess. Die notwendige zeitlich engmaschige Messung der HRV zur Bestimmung des Belastungs- und Erholungsstatus ist möglich. HRV-basierte Analysen erfordern jedoch eine hohe Expertise und Erfahrung im Umgang mit den Daten. Zudem ist die statistische Ableitung bzw. Aggregation von Sekundärparametern aus den Rohdaten sehr zeitaufwendig, da es u. a. einer visuellen Inspektion der Rohdaten hinsichtlich Messfehler bedarf. Daher weist die HRV mit den bisher praktizierten und validierten Verfahren für den sportpraktischen Kontext und insbesondere für Mannschaftssportarten eine nur geringe Praktikabilität und Testökonomie auf. Einsatzgebiete

HRV-basierter Analysen beschränken sich daher bislang vor allem auf Individualsportarten und die Wissenschaft (Buchheit, 2014).

### **REGman-Befunde**

Innerhalb von REGman wurde die HRV morgens nach dem Aufwachen und einem Toilettengang ermittelt (Buchheit, 2014; Plews, 2013). Nach dem Anlegen einer Pulsuhr und dem dazugehörigen Brustgurt erfolgte eine siebenminütige Liegendmessung, gefolgt von einer fünfminütigen Messung im Stehen. Die HRV wurde während der gesamten Dauer aufgezeichnet, die Daten mittels entsprechender Software analysiert und Sekundärparameter bestimmt. Von den traditionellen HRV-Indizes wird der zeitanalytische Parameter rMSSD (Root Mean Square of the Successive Differences) u. a. aufgrund seiner hohen Reliabilität und Stabilität sowie seiner vergleichsweise unkomplizierten Aggregation am ehesten für die Messung von Regenerationsbedarf empfohlen und wurde daher für die REGman-Analysen verwendet (Buchheit, 2014; Plews, 2013). Im Mittel resultierten hochintensive Kraft- und Ausdauerbelastungen in einer reversiblen Abnahme des rMSSD, die innerhalb einer 72-stündigen Erholungsphase wieder abklang und damit der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit folgte (Schneider et al., 2015). HRV-basierte Analysen reagieren folglich potenziell sensitiv auf Veränderungen des Ermüdungs- bzw. Erholungszustands. Die hohe intraindividuelle Streuung erfordert jedoch hier in besonderem Maße bei einem Einsatz in der (leistungs-)sportlichen Praxis eine individuelle Evaluation von HRV-Verhaltensmustern. Es dürfte auch eine erwähnenswerte Zahl von Athletinnen und Athleten geben, bei denen der Einsatz der HRV nicht bei allen Belastungs- und Ermüdungsformen uneingeschränkt effektiv ist („Non-Responder“).

### **Herzfrequenzerholung (heart rate recovery)**

In verschiedenen Untersuchungen haben sich Hinweise darauf gefunden, dass die Geschwindigkeit des Herzfrequenzabfalls nach intensiven Belastungen ein Indikator für den Regenerationsstatus ist. In gewisser Weise wird damit die Reaktionsbereitschaft von Sympathikus und insbesondere Parasympathikus erfasst. Allerdings existieren noch keine etablierten Be-

lastungsprotokolle. Außerdem dürfte die Geschwindigkeit des HF-Abfalls vom Grad der erreichten Ausbelastung abhängen, so dass diese zu definieren ist. Schließlich ist bedenkenswert, dass höher ausbelastende Tests in Situationen potenzieller Ermüdung oft unerwünscht sind. Im Rahmen von REGman wurde die HF-Erholung nicht näher untersucht.

## **3.4.2 Messung der Muskelkontraktibilität (Tensiomyographie)**

### **Physiologischer Hintergrund**

Die Tensiomyographie (TMG) ist ein nichtinvasives Verfahren zur Diagnostik neuromuskulärer Ermüdung (Garcia-Manso et al., 2011a, b; Rey et al., 2012). Mittels elektrischer Stimulation liefert die TMG Aussagen zu kontraktiven Eigenschaften der untersuchten Muskulatur (Muskelverformung [Dm], Kontraktionszeit [Tc], Kontraktionsverzögerungszeit [Td], Kontraktionserhaltungszeit [Ts], Kontraktionserholungszeit [Tr]) (Tous-Fajardo et al., 2010). Mikroskopische Muskelzellschädigungen sowie anderweitige muskuläre Ermüdungsprozesse gehen mit einem erhöhten Muskeltonus, einer gesteigerten Muskelsteifigkeit und ggf. Schwellungen einher. In der Folge verändern sich Muskelverformbarkeit, neuronale Aktivierungsmuster sowie viskoelastische Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Komplexes. Dadurch nimmt insbesondere die mittels TMG gemessene Kontraktionszeit ab (de Paula Simola et al., 2015a, b).

### **Testablauf Tensiomyographie**

In Abhängigkeit vom zu untersuchenden Muskel befindet sich die Person in Rücken- oder Bauchlage auf einer Liege. Durch Polster werden entsprechende Gelenkwinkel „eingestellt“, in denen sich der jeweilige Muskel in einem möglichst entspannten Zustand befindet. Der Zielmuskel wird nun mittels Oberflächenelektroden, die am Muskelbauch angebracht werden, elektrisch gereizt. Die elektrische Impulshöhe wird stufenförmig gesteigert, bleibt jedoch stets unter der Schmerzgrenze. Dies geschieht solange, bis sich die kontraktionsbedingte Verformung des Muskels auch bei weiteren Erhöhungen des elektrischen Reizes nicht mehr verändert. Die Muskelverformung pro Zeiteinheit wird mit einem Sensor registriert und aufgezeichnet.

Mittels entsprechender Software werden die aufgezeichneten Messwerte aufbereitet und die genannten Sekundärparameter errechnet.

Man benötigt einen Stimulator, einen federbelasteten Wegaufnehmer, ein hydraulisches Stativ zur Fixierung des Sensors auf dem Muskelbauch und einen Computer mit entsprechender Software. Als Verbrauchsmaterial sind Klebeelektroden zur Applizierung des elektrischen Reizes sowie Einwegrasierer, Desinfektionsmittel und Wattetupfer zur Reinigung der Elektroden-Klebefläche erforderlich. In Abhängigkeit vom Zielmuskel werden zudem eine Liege sowie Polster zur Fixierung benötigt (Abb. 7).



Abb. 7: TMG-Messung am *Musculus rectus femoris*

### Eignung und Einsatzgebiete

Die TMG wird bereits von zahlreichen Athletinnen und Athleten sowie Vereinen für ein Monitoring von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf verwendet. Als objektives nichtinvasives Verfahren ist die TMG für die Athletinnen und Athleten nicht belastend und interferiert daher weder mit dem Trainings- noch mit dem Erholungsprozess. Die Messwertfassung dauert zudem in der Regel nur einige Minuten. Für die Durchführung dieses Verfahrens sind eine hohe Methodenkompetenz und viel Erfahrung im Umgang mit den Messwerten notwendig. Zudem ist die TMG nur mit vergleichsweise hohem apparativem und finanziellem Aufwand durchführbar. Die Einsatzgebiete beschränken sich daher bislang vor allem auf den Spitzensport und die Forschung.

### REGman-Befunde

Voruntersuchungen mit insgesamt 20 Sportlern zeigten eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Bestimmung von  $D_m$  und  $T_c$ , während sie für  $T_d$ ,  $T_s$  und  $T_r$  für ein präzises Belastungs- und Erholungsmonitoring ungenügend ausfiel (de Paula Simola et al., 2015b). Eine strenge Einhaltung standardisierter Bedingungen ist in jedem Fall erforderlich. Hochintensive Kraft- und Ausdauerbelastungen resultierten im Mittel in einer Abnahme der Muskelverformung und Kontraktionszeit, die über eine 72-stündige Erholungsphase hinaus anhielten (de Paula Simola et al., 2015a). Offenbar sind  $D_m$  und  $T_c$  mögliche Parameter zur Messung von Ermüdung und Regenerationsbedarf. Allerdings veränderten sich die muskelkontraktilen Eigenschaften nicht bei allen Athleten entsprechend der variierenden sportartspezifischen Belastung. Daher erfordert auch der Einsatz der TMG in der (leistungs-)sportlichen Praxis die Überprüfung seiner diagnostischen Gültigkeit auf individueller Basis.

## 3.5 Genauere Beurteilung durch Individualisierung

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Werten eines Biomarkers im ermüdeten vs. erholteten Zustand, wie er in Studien üblicherweise in Gruppenvergleichen untersucht wird, gewährleistet noch nicht, dass eine sichere Beurteilung des Ermüdungszustands *im Einzelfall* möglich ist. Ein solcher Gruppenunterschied stellt nur eine notwendige Voraussetzung für die Eignung eines Biomarkers dar. Entscheidend für die endgültige Brauchbarkeit ist letztlich die Frage, wie sehr die Messwerte ermüdungsabhängig streuen (und ob sich die Wertebereiche für „ermüdet“ und „erholt“ womöglich sogar überlappen). Sogar im Fall der laborchemischen Ermüdungsmarker ist diese Streuung erheblich (Abb. 6: man beachte die großen Konfidenzintervalle), was ihren Nutzen für die Sportpraxis trotz der beschriebenen günstigen methodischen Eigenschaften bisher deutlich einschränkt. Dies gilt auch für andere Parameter, die ebenfalls eine große Streuung zwischen den Einzelsportlern aufweisen. Mit anderen Worten: Wir messen vermutlich die richtigen (ermüdungsabhängigen) Parameter, aber die Beurteilungssicherheit

wird durch die hohe Streuung der Messwerte beeinträchtigt.

### REGman-Befunde

Es wurde in einer Längsschnittstudie an spezifisch trainierten Sportlern eine sportartspezifisch ausgesuchte Batterie laborchemischer Ermüdungsmarker untersucht. Dabei bestätigte sich die erhebliche Streuung von Messwerten und ermüdungsbedingten Veränderungen für alle untersuchten Parameter. Außerdem konnten wir zeigen, dass die Streuung zwischen den Sportlern größer war als die eines Sportlers allein. Das ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Normwertindividualisierung. Denn diese setzt voraus, dass ein erheblicher Anteil der Gesamtstreuung *zwischen* den Individuen besteht (und eher weniger Schwankung in der wiederholten Bestimmung bei einem einzelnen Sportler/einer Sportlerin). Darüber hinaus gelang der Nachweis konstanter individueller Muster von ermüdungsinduzierten Veränderungen als Grundlage für die angestrebte individualisierte Diagnostik.

Zwei Lösungsansätze bieten sich an:

- › Die Beseitigung der interindividuellen Streuung durch individuelle Normwertbereiche für jeden einzelnen Sportler bzw. jede einzelne Sportlerin: Ein Verfahren zur

Normwertindividualisierung in Anlehnung an die im „Athlete Biological Passport“ verwendete Vorgehensweise befindet sich momentan in der Entwicklung.

- › Die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Parameter in sog. „multivariaten Klassifikatoren“ (verschiedene Indikatoren werden miteinander „verrechnet“). Auch auf diesem Gebiet werden im Rahmen von REGman derzeit verschiedene Ansätze verfolgt.

Der Algorithmus zur Normwertindividualisierung befindet sich zwar noch in der Entwicklung, ermöglicht jedoch bereits jetzt eine deutlich verbesserte Abgrenzung zwischen Messungen im ermüdeten und erholt Zustand (bislang primär für Laborwerte untersucht, s. Abb. 8)<sup>1</sup>. Prinzipiell ist diese Vorgehensweise für verschiedenste Parameter denkbar, wenn die interindividuelle Streuung erheblich ist und die intraindividuelle übersteigt. Um von einem gruppenbasierten Normwert (= üblicherweise verwendete Referenzbereiche) zu einem individualisierten zu gelangen, sind in der Regel mindestens 5-7 Messungen erforderlich, bevor entsprechende Korridore für „ermüdet“ und „erholt“ definiert sind. In diesem Zeitraum sind zuverlässige Interpretationen von Einzelmessungen wenig sinnvoll.

<sup>1</sup> Unter Mitarbeit von Dr. phil Werner Pitsch, sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Arbeitsbereich Sportsoziologie und Sportökonomie

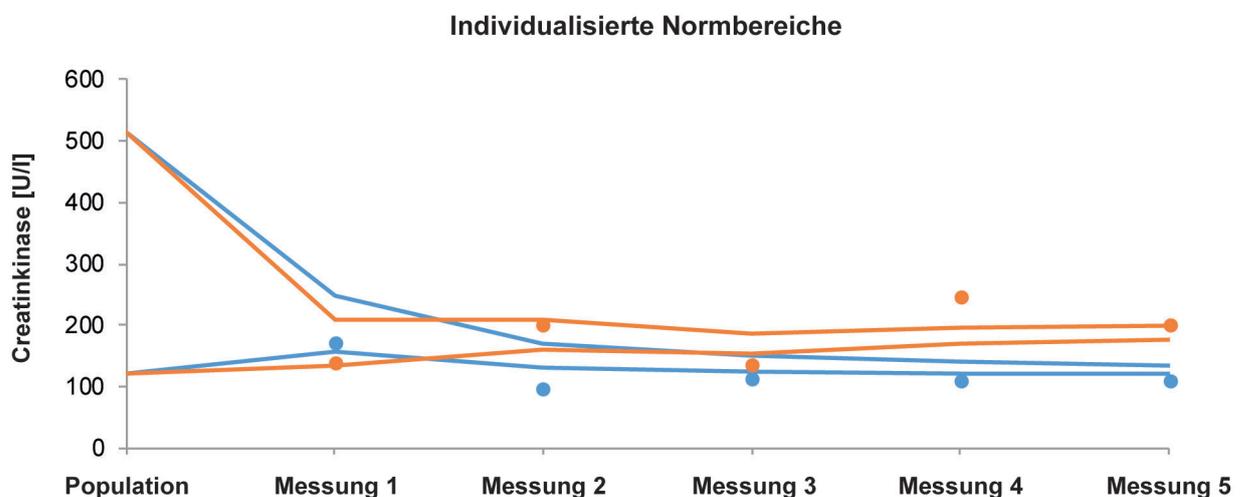


Abb. 8: Normwertindividualisierung am Beispiel der Creatinkinase

## Handlungsempfehlungen für die Praxis

Zwar besteht ein Arsenal an physiologisch begründbaren Indikatoren der Erholtheit und/oder Ermüdung; keiner allein lässt jedoch bislang eine sichere Bewertung von Einzelpersonen zu. Insofern ist eine zuverlässige Erfassung der „Gesamterholtheit“ schwierig. Denn die meisten Indikatoren erfassen die Ermüdungsebenen nur partiell, am globalsten wohl die Psychometrie. Grobes „Monitoring“ (von Gruppen) ist aktuell realistischer als die sichere Identifikation von „Regenerationskandidaten“. Überinterpretationen sind dementsprechend unbedingt zu vermeiden, da sie zu fehlerhaften Entscheidungen in der Trainingsgestaltung führen können. Für die Praxis ist überdies zu berücksichtigen, dass die kurzfristige Ermüdung/Erholtheit leichter zu erfassen ist als die langfristige (kumulierte).

Folgende Grundsätze können formuliert werden:

- › Die Wahl von Indikatoren muss sich an Sportartcharakteristika orientieren. Dabei sind physiologische Hintergründe der verfügbaren Indikatoren ebenso zu berücksichtigen wie die Praktikabilität deren wiederholter Bestimmung.
- › Es muss der Versuch unternommen werden, die Diagnostik zu individualisieren. Verfahren für diesen Zweck werden vermutlich in Kürze verfügbar sein. Bis dahin dürfte das Arbeiten mit einfacher beschreibender Statistik (individuelle Verläufe der Werte) für jeden Sportler die beste Option darstellen.

Nach wie vor können eine vertrauensvolle und ehrliche Kommunikation zwischen Trainerin/Trainer und Athletin/Athlet sowie das „Trainerauge“ nicht komplett durch anderweitige Ermüdungsindikatoren ersetzt werden.

# 4 Regenerationsfördernde Maßnahmen

4



*Foto Vorderseite: Athleten bei regenerationsfördernden Maßnahmen im Rahmen verschiedener REGman-Studien*

Die leistungssportliche Praxis wird mit einer zunehmenden Anzahl an regenerationsfördernden Maßnahmen konfrontiert, deren Wirksamkeitsnachweis nicht immer unter wissenschaftlich kontrollierten Bedingungen überzeugend erfolgt ist. Dies gilt sowohl für altbewährte und bei den Athletinnen und Athleten beliebte Maßnahmen wie die Sportmassage, als auch für neuartige und sehr praxiskompatible Methoden wie Foam-Rolling sowie für technologisch unterstützte Interventionsstrategien wie beispielsweise Unterdruckbehandlungen und Laser- bzw. LED-Bestrahlungen. Vorsicht ist insbesondere dann angeraten, wenn bei Geräteherstellern auch marktwirtschaftliche Interessen existieren. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit ergibt sich die folgende Liste an potenziell regenerationsfördernden Maßnahmen:

- Ernährung, Nahrungssupplemente und Flüssigkeitszufuhr,
- verschiedene Formen von aktiver Erholung sowie Nachdehnen,
- Formen der Hydrotherapie (z. B. Entmüdungsbecken oder Kontrastbäder),
- Kälteapplikation durch Kaltwasserimmersion oder Kryotherapie,
- Kompressionskleidung während und/oder nach Beanspruchung,
- Wärmeapplikationen wie beispielsweise das Saunabad,
- Sportmassage und Ausrollen mit/auf Gegenständen (Foam-Rolling),
- niederfrequente geräteunterstützte Vibrationsmassage,
- Schlafmanagement sowie Einbau von kurzen Ruhephasen („Power-Naps“),
- verschiedene psychologische Regenerationsverfahren,
- Akupressur und Akupunktur,
- geräteunterstützte Unterdruckbehandlungen,
- Laser- bzw. LED-Bestrahlung und Vieles mehr.

Eine Umfrage des DOSB im Jahr 2011 unter den Leitern der Olympiastützpunkte und den Sportdirektoren der olympischen Verbände ergab, dass Massage, Sauna, Entmüdungsbecken, Ernährungsmaßnahmen, Kälteapplikation und aktive Erholung in abfallender Reihung die am häufigsten frequentierten Regenerationsverfahren sind. Eine Befragung von Nédélec et al. (2013) in der ersten französischen Fußballliga zeigte eine weit verbreitete Anwendung von Kaltwassertherapie (81 %), aktiver Erholung (81 %), Massage (78 %), Stretching (50 %) und Kompressionskleidung (22 %).

Eine REGman Befragung in zwei deutlich unterschiedlichen Sportarten, Triathlon und Tennis, zeigte, dass die Wertschätzung verschiedener Regenerationsmaßnahmen sehr stark von den besonderen Rahmenbedingungen der Sportarten abhängt. Beispielsweise spielen aktive Erholung, Stretching, Massage, Eisbad und Progressive Muskelentspannung eine höhere Bedeutung im Tennis, während Ernährung, Kompressionskleidung und Sauna im Triathlon als wichtiger erachtet werden. Dies liegt sicherlich auch an den besonderen zeitlichen Anforderungen an die Regeneration während eines Tennisturniers (Erholung bis zum Folgetag), während nach einem Triathlon-Wettkampf zumeist eine mehrtägige vollständige Ruhephase einlegt wird.

Auch die klimatischen Rahmenbedingungen sind bei der Wahl der Regenerationsmaßnahmen zu beachten. Beispielsweise geben die von uns befragten Athletinnen und Athleten an, dass das Eisbad deutlich häufiger nach Wettkämpfen unter extremer Hitze eingesetzt wird, während das Saunabad unter Kältebedingungen favorisiert wird. Schließlich ist davon auszugehen, dass Kaltwasserimmersion im Schwimmen und Eisbehandlungen in Wintersportarten bei den Athletinnen und Athleten eine geringe Akzeptanz erfahren.

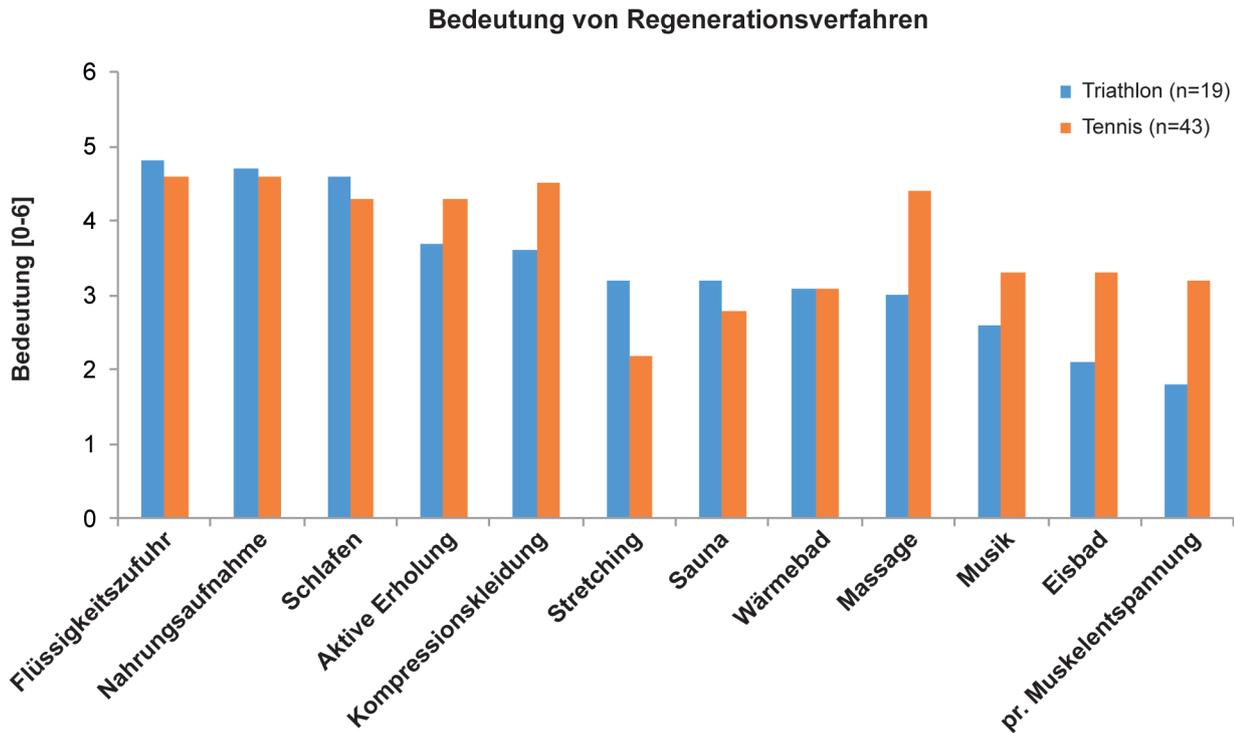


Abb. 9: Bedeutungszuweisung für ausgewählte Regenerationsverfahren von Athleten der nationalen und internationalen Klasse im Triathlon (Iron-Man Distanz) und Tennis.

Unterschiedliche Regenerationsmaßnahmen werden durch verschiedene Theorien zur Wirksamkeit begründet (Tab. 3). Beispielsweise verfolgt die aktive Erholung primär zirkulatorische und metabolische Effekte zur beschleunigten Homöostase-Wiederherstellung (Monedero & Donne, 2000) und eines verbesserten Transports regenerationsfördernder Wirkstoffe. Ursächlich hierfür wird die Aufrechterhaltung von Muskeldurchblutung und Energiestoffwechsel angeführt. Bei der Kaltwasserimmersion wird vielmehr spekuliert, dass die Effekte weitgehend auf einer Reduktion der Muskel- und Körperkern-temperatur und den damit einhergehend reduzierten lokalen Entzündungsprozessen beruhen. Weiterhin geht man davon aus, dass kühlungsbedingte schmerzhemmende Effekte zu einem verbesserten Erholungsfinden beitragen und dass der hydrostatische Druck des Wassers kompressionsähnliche Wirkungen hervorruft (vgl. Kap. 4.4).

Die Massage wiederum soll muskuläre Verspannungen und Schmerzen reduzieren, die Beweglichkeit verbessern, die Durchblutung steigern und den Stofftransport verbessern. Der Kom-

pressionskleidung wird unter anderem eine Steigerung der Propriozeption und eine Verringerung der Muskeloszillation nachgesagt. Auch die Durchblutung (z. B. venöser Rückstrom) und der Stoffwechsel sollen angeregt werden (Tab. 3). Vielfach werden in der Sportpraxis mehrere Regenerationsverfahren in Kombination hintereinander eingesetzt. In den Spportsportarten existieren beliebte Kombinationsmuster wie beispielsweise 1. Auslaufen, 2. Flüssigkeitszufuhr, 3. Nachdehnen, 4. Duschbad, 5. Eisbad, 6. Massage und 7. Nahrungszufuhr. Inwieweit die Kombination mehrerer Verfahren die regenerative Wirksamkeit steigert oder sich die unterschiedlichen Wirkungsmechanismen sogar gegenseitig in ihrer Ausprägung hemmen, kann bislang nur vermutet werden. Auch die Anwendungsdauer bzw. deren Wiederholungshäufigkeit (beispielsweise Mehrfachmassage) mag die Wirkungsweise beeinflussen, wird jedoch zu meist durch die Gegebenheiten der Sportpraxis und die Verträglichkeit der Athletinnen und Athleten limitiert.

Tab. 3: Potenzielle Wirkungsebenen ausgewählter Regenerationsverfahren (modifiziert nach Wiewelhove & Ferrauti, in Druck).

Potenzielle Wirkungsebene	Effekt	Regenerationsverfahren				
		AE	KWI	KK	Sauna	Massage
Energieverfügbarkeit	Substrattransport	+	+	+	o	o
	Glykogen Gehalt	-	o	o	o	o
Kreislauf	Gesamtkreislauf	+	+	+	+	-
	Durchblutung Arbeitsmuskulatur	+	-	-	-	+
Muskulatur	Temperatur	+	-	+	+	+
	Dehnfähigkeit	+	-	o	+	+
	DOMS	o/+	+	+	+	+
	Mikroschädigungen	o	+	+	o	o/+
	vermehrte Flüssigkeit im Gewebe	o/+	+	+	-	+
Immunsystem	Entzündungsreaktion (CRP, IL-1, IL-6, TNF $\alpha$ )	o	+	o	o	o
Hormonsystem	anabol-kataboles Gleichgewicht	o	+	o	-	o
Neuromuskuläres Zusammenspiel	Aktivierungspotenzial	o	-	o	-	o
Psyche/Vegetativum	Wohlbefinden	o	+	+	+	+

AE = Aktive Erholung; KWI = Kaltwasser-Immersion; KK = Kompressionskleidung; + = möglicherweise positiver Einfluss; o = ohne Einfluss bzw. unbekannt; - = möglicherweise negativer Einfluss; DOMS = Delayed Onset Muscle Soreness; CRP = C-reaktives Protein; IL = Interleukin; TNF  $\alpha$  = Tumornekrosefaktor

Im Folgenden soll nur auf jene Verfahren vertieft eingegangen werden, die sich in der Sportpraxis großer Beliebtheit erfreuen. Ausgenommen bleibt der Bereich der Ernährung, Flüssigkeitszufuhr und Nahrungsergänzung, da die Behandlung dieser Aspekte den vorgegebenen Rahmen sprengen würde und die grundlegende Bedeu-

tung einer adäquaten Zufuhr der Grundnährstoffe Kohlenhydrate und Proteine sowie einer ausreichenden Flüssigkeitszufuhr bereits vielfach überzeugend belegt wurde.



## 4.1 Aktive Erholung

4.1



*Foto Vorderseite: Moderates Auslaufen nach High-Intensity Intervall Training (HIIT)  
mit B-/C-Kaderspielern des Deutschen Tennis Bundes*

### 4.1.1 Anwendungsmethoden

Unter aktiver Erholung werden alle den Athletinnen und Athleten selbstständig durchgeführten körperlichen Aktivitäten im unmittelbaren Anschluss an Trainings- oder Wettkampfbelastungen zusammengefasst. Dies kann sowohl ein kurzes Cool-Down als auch eine ausgedehnte Regenerationseinheit mit einer Dauer von 15 bis 30 Minuten sein. Die aktive Erholung wird in verkürzter Form auch während einer (intervallförmigen) Trainingseinheit (TE) oder zwischen aufeinanderfolgenden Wettkämpfen zur rascheren Erholung eingesetzt.

Zu den Inhalten zählen üblicherweise vollständig aerobe und dynamische Aktivitäten großer Muskelgruppen wie zum Beispiel langsames Laufen (Traben oder Rasenläufe, ggf. auch barfuß), Fahrradfahren oder Ausschwimmen mit einer Intensität von unter 60 % der Maximalleistung (Abb. 9). Die Aktivität kann sowohl disziplinverwandt sein als auch gezielt andere Muskelgruppen ansprechen bzw. koordinative Anforderungen beinhalten (z. B. Inliner Fahren oder kleine Spiele). Vielfach wird die aktive aerobe Erholung kombiniert mit gymnastischen Übungen (z. B. moderates statisches oder dynamisches Dehnen, funktionale Stabilisierung). Die Durchführung kann aus pragmatischen Gründen unmittelbar an der Trainings- oder Wettkampfstrecke erfolgen oder gezielt mit einem Umgebungswechsel verbunden sein.

Die aktive Erholung gehört zu den am häufigsten in der Sportpraxis verwendeten Regenerationsverfahren. Speziell nach hochintensiven Belastungen in den klassischen Ausdauerdisziplinen sowie in den Sportspielen gehört das Ausschwimmen, Ausradeln oder Auslaufen zu einem in der Trainingspraxis akzeptierten Pflichtprogramm. Aktive Erholung ist vielfach das erste von mehreren in Kombination eingesetzten Regenerationsverfahren oder bleibt aufgrund der hohen Praktikabilität die einzige Form der Regeneration.

### 4.1.2 Physiologischer Hintergrund

Aktive Erholung verfolgt aus metabolischer Sicht eine beschleunigte Homöostase Herstellung (Monedero & Donne, 2000) und einen verbesserten Transport regenerationsfördernder

Wirkstoffe. Ursächlich hierfür wirkt die Aufrechterhaltung von Muskeldurchblutung und Energiestoffwechsel. Durch die Kombination mit sanftem Dehnen wird aus neuromuskulärer Sicht eine raschere Wiederherstellung der Ruhedehnungsspannung des Muskels und eine zentralnervöse Deaktivierung angestrebt (Shrier, 2004).

### 4.1.3 Studienlage

Die wissenschaftliche Evidenz zur Wirksamkeit aktiver Erholung ist derzeit nicht überzeugend gegeben. Unbestritten ist eine kurzfristig raschere Laktatelimination und pH-Wert-Regulation. Andererseits kann die Wiedereinlagerung von Muskelglykogen durch den weiterhin gesteigerten Energieumsatz verlangsamt sein (Fairchild et al., 2003). Die muskuläre Leistungsfähigkeit in Sprint und Sprungkraft sowie die Entstehung von subjektiven und objektiven Muskelbeschwerden (CK und Entzündungsmarker) blieben durch aktive Erholungsmaßnahmen und den beschleunigten Laktatabbau meist unbeeinträchtigt (Andersson et al., 2010). Inwieweit aktive Erholung im Trainingsverlauf möglicherweise adaptionsmindernd wirkt (u. a. auf Ebene der Angiogenese), wird derzeit diskutiert (Hunt et al., 2008).



Abb. 10: Rudern mit dem Concept 2 (15 min, 1 W/kg KG) als aktive Erholung mit Gewichthebern des BVDG.



Abb. 11: Passive oder aktive Erholung, was ist besser? Dies war die Frage einer REGman-Untersuchung anlässlich eines Vorbereitungsturniers der Volleyball-Nationalspieler auf die WM 2014.

- › Subjektive und objektive Ermüdungsindikatoren wie Muskelbeschwerden (DOMS, Delayed Onset of Muscle Soreness) und Serumcreatininkinase (CK) weisen zwar einerseits auf einen adäquaten Belastungsreiz hin, unterscheiden sich im Erholungsverlauf jedoch ebenfalls nicht nach aktiver oder passiver Erholung (Abb. 13).
- › Kurzfristig sinkt die Sprungkraftleistung nach aktiver Erholung weniger stark ab als nach passiver Erholung (post E)(Abb. 11). Dieser Vorteil ist jedoch nach der Nachtruhe bis zum Folgetag und zu Beginn einer weiteren Trainings- oder Wettkampfbelastung (pre 1-3) nicht mehr nachweisbar (Abb. 14).
- › Im Rahmen einer vierwöchigen ausdauerorientierten Trainingsstudie mit drei Trainingseinheiten pro Woche ergaben sich zwischen zwei Gruppen mit aktiver oder passiver Erholung nach jeder Trainingseinheit keine Unterschiede hinsichtlich des Leistungszuwachses.

#### 4.1.4 REGman-Befunde

- › In keiner Untersuchung zum Einfluss von aktiver Erholung nach verschiedenen intensiven Belastungsformen ergaben sich Unterschiede im ermüdungsbedingten Leistungsverlust am Folgetag nach der letzten Belastung im Vergleich zu einer passiven Erholung (Abb. 11 und 12).

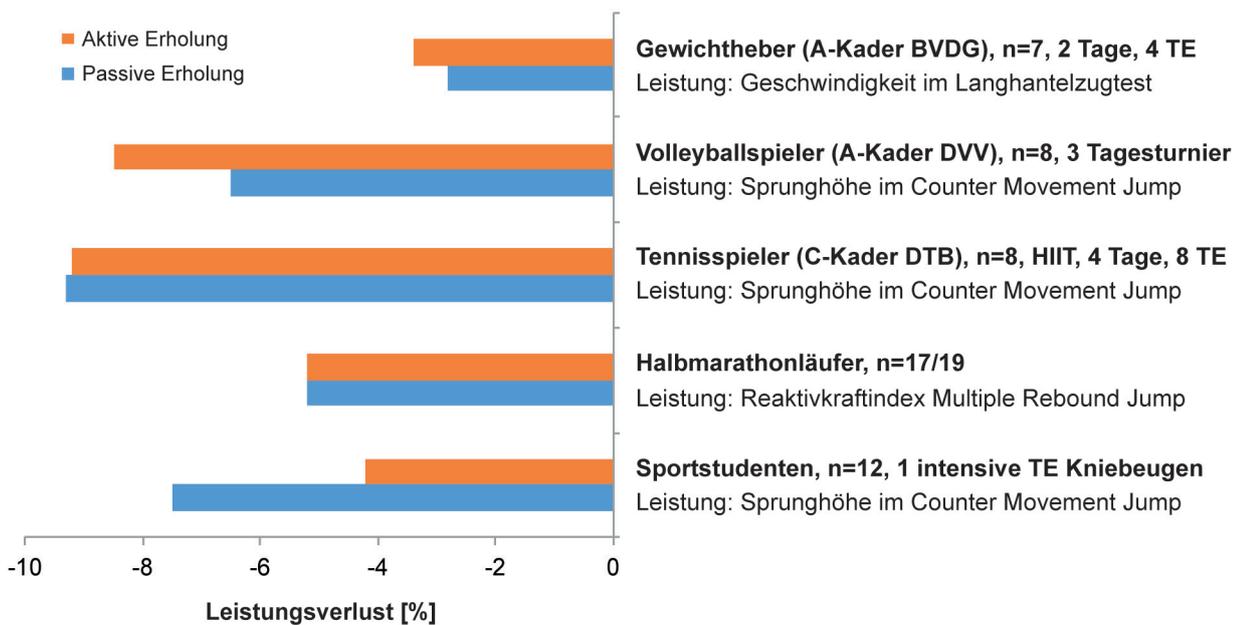


Abb. 12: Prozentuale Leistungsveränderungen in verschiedenen REGman-Studien zum Einfluss aktiver Erholung

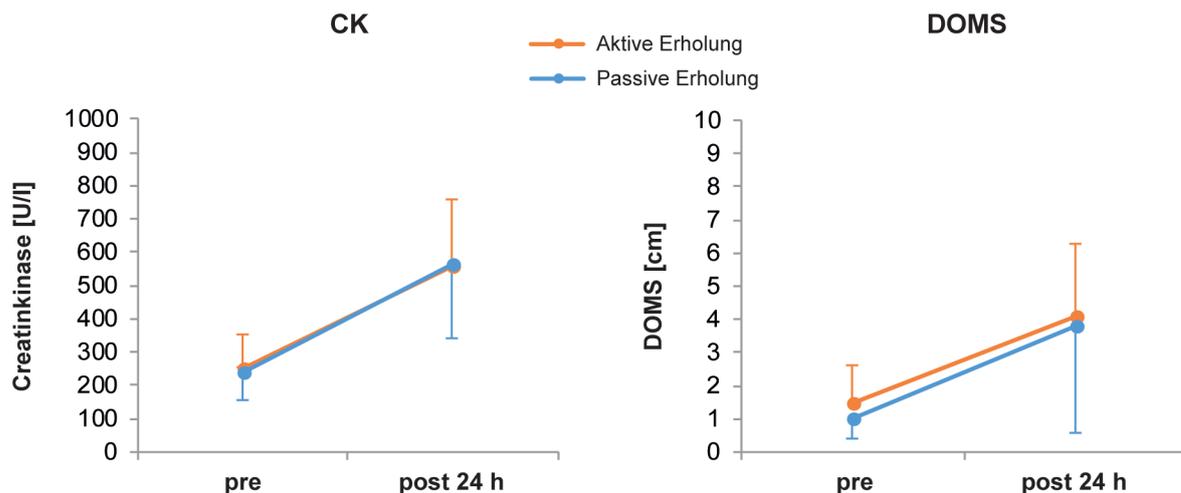


Abb. 13: Veränderungen von Creatinkinase (CK) und subjektiven Muskelbeschwerden (DOMS) 24 Stunden nach einer intensiven Trainingsphase von Gewichthebern mit oder ohne aktive Erholung.

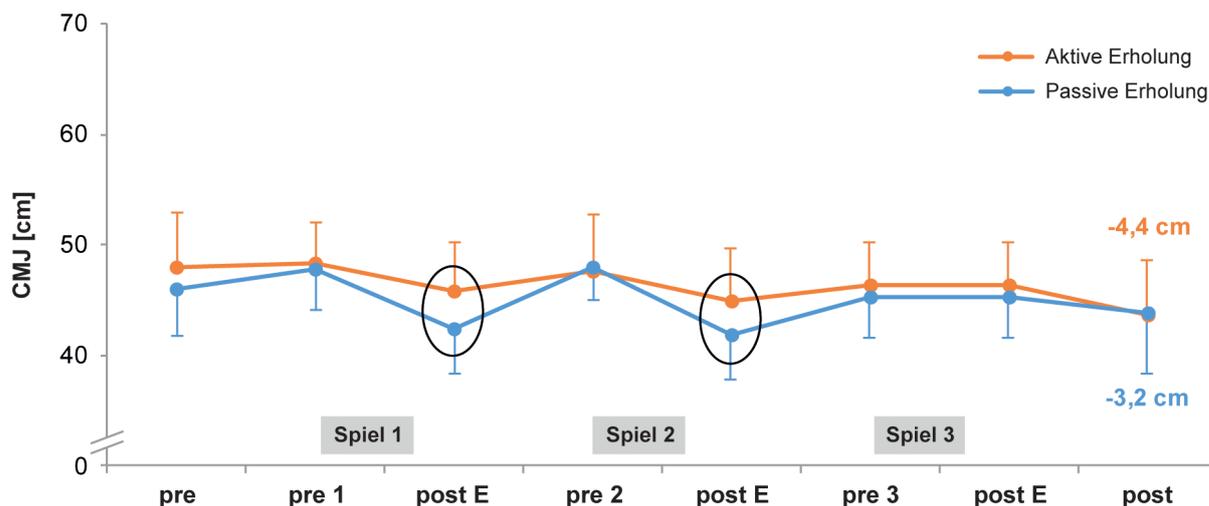


Abb. 14: Veränderungen der Sprungleistung im Counter Movement Jump unmittelbar nach einer aktiven Erholung (post E) sowie am Folgetag vor Spielbeginn (pre) während eines dreitägigen Turniers der Deutschen Volleyball-Nationalmannschaft.

### Handlungsempfehlungen für die Praxis

- Zur Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit am Folgetag besitzt die aktive Erholung keine messbaren Vorteile gegenüber der passiven Erholung (Abb. 13 und 14).
- Das in der Praxis übliche Auslaufen, Auschwimmen oder Ausradeln ist jedoch keinesfalls nachteilig und beeinträchtigt auch nicht die angestrebte Trainingsadaptation. Folglich sollte die Entscheidung für oder

gegen eine aktive Erholung dem individuellen Wohlfühl vorbehalten bleiben. Kurzfristig besitzt die aktive Erholung zur Aufrechterhaltung von Aktivierungsniveau und Muskeltemperatur immer dann Vorteile, wenn eine weitere Trainings- oder Wettkampfbelastung unmittelbar bevorsteht.

- Auch beim Intervalltraining kann die aktive Erholung speziell in den Serienpausen bei längeren Belastungsprotokollen und weniger bei Sprintprotokollen empfohlen werden.



## 4.2 Nachdehnen

4.2



*Foto Vorderseite: Gemeinsames individuelles Nachdehnen der Deutschen Volleyball-Nationalmannschaft nach einer intensiven Trainingseinheit.*

### 4.2.1 Anwendungsmethoden

Ein sanftes Nachdehnen der hauptsächlich beanspruchten Arbeitsmuskulatur erfolgt im Anschluss an intensive Trainings- und Wettkampfeinheiten zumeist nach der aktiv- oder passiv-statischen Dehnmethode bzw. nach der PNF-Methode. Es wird vielfach in Kombination oder im Anschluss an das Auslaufen durchgeführt und kann somit terminologisch und organisatorisch ebenfalls der aktiven Erholung zugeordnet werden. Da sich die Theorien zur Wirksamkeit erheblich von jenen der aktiven Erholung unterscheiden, wird es an dieser Stelle isoliert besprochen.

Das sanfte Nachdehnen oder Stretching gehört zu den am häufigsten in der Sportpraxis verwendeten Regenerationsverfahren. Dies betrifft gleichermaßen hochvolumige Ausdauerbeanspruchungen als auch den Kraftsport. Auch in den Spilsportarten findet nach dem Auslaufen häufig ein gemeinsames Nachdehnen statt. Das Nachdehnen erfolgt entweder direkt an der Trainings- oder Wettkampfstätte, oder mit kleinerem oder größerem zeitlichen Abstand in der Kabine (z. B. mit Physiotherapeuten) bzw. als Heimprogramm zu Hause.

### 4.2.2 Physiologischer Hintergrund

Die Muskelspannung bzw. der Muskeltonus unterliegt viskoelastischen sowie neurophysiologischen Funktionsbedingungen (Gisler, 2007). Aktiv- oder passiv-statisches Dehnen bewirkt kurzfristig eine reduzierte Ruhedehnungsspannung (Muskelsteifigkeit) und eine erhöhte Dehn-Stress-Toleranz und dadurch eine gesteigerte Flexibilität. Zusätzlich stellt sich eine verminderte Reflexaktivität und eine gesteigerte Muskelrelaxation durch zentralnervöse Deaktivierung ein (Klee & Wiemann, 2002; Knudson, 2006; Shrier, 2004). Hieraus lassen sich indirekt nützliche schmerzlindernde und regenerative Effekte ableiten. Andererseits kann ein zu intensiv durchgeführtes Stretching nach körperlicher Belastung den Muskel-Sehnen-Komplex unangemessen belasten, vorhandene Strukturschäden zusätzlich steigern und somit einer effektiven Regeneration entgegenwirken.

### 4.2.3 Studienlage

Die theoretisch positiven Effekte des Nachdehnens sind experimentell bislang nur bedingt nachgewiesen worden. Stretching bewirkte beispielsweise kein akutes schnelleres Absinken der trainingsinduzierten erhöhten passiven Muskelspannung nach einem intensiven exzentrischen Krafttraining. Jedoch tendiert statisches und insbesondere wiederholt statisches Dehnen innerhalb eines Zeitraums von vier Tagen nach Belastung zu einer beschleunigten Wiederherstellung der ursprünglichen Muskelspannung (Torres et al., 2013). Hinsichtlich einer schnelleren Reduktion von Muskelschmerzempfindung (DOMS) ergaben sich durch Stretching ebenfalls keine bedeutsamen Vorteile gegenüber der Kontrollbedingung, jedoch zeigten sich auch keine nachteiligen Effekte (Lund et al., 1998; Sands et al., 2013; Torres et al., 2013). Schließlich bewirkt Stretching keine beschleunigte Wiederherstellung der muskulären Leistungsfähigkeit vier bis sieben Tage nach intensivem exzentrischem Krafttraining (Lund et al., 1998; Torres et al., 2013).

Im Hinblick auf Langzeiteffekte besitzt das Nachdehnen keine negativen Folgen auf die Kraftleistung. Neben einer Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Flexibilität, kann statisches Dehnen in Kombination mit Krafttraining sogar als zusätzlich positiver Stimulus hinsichtlich Kraftadaptationen angesehen werden (Knudson, 2006; Shrier, 2004).

### 4.2.4 REGman-Befunde

- ▶ Eine isolierte Untersuchung zur Wirksamkeit des Nachdehnens für die Beschleunigung von Regeneration und Leistungswiederherstellung wurde innerhalb von REGman bislang nicht durchgeführt.
- ▶ Im Rahmen von komplex kombinierten Regenerationsinterventionen unter Einbezug des Nachdehnens im leistungsorientierten Tennis (Turniersimulation im Rahmen der REGman-Open mit aktiver Erholung, Stretching, Kaltwasserimmersion und Massage, Modul H2.1-6) und

Volleyball (Turniersimulation der Deutschen Volleyball-Nationalmannschaft der Männer mit aktiver Erholung und Stretching, Modul H2.1-1) ergaben sich keine bedeutsamen Vorteile gegenüber der passiven Kontrollbedingung.

### Handlungsempfehlungen für die Praxis

- Zur Reduktion von Muskelschmerzempfinden und zur beschleunigten Leistungswiederherstellung in den Folgetagen nach intensiver körperlicher Belastung zeigt Stretching keine bedeutsamen messbaren Vorteile gegenüber der Kontrollbedingung.
- Jedoch beeinträchtigt das Nachdehnen weder die Trainingsadaptation noch den Regenerationsverlauf negativ, so dass es aufgrund seines akuten analgetischen (schmerzstillenden/-lindernden) und zentralnervös entspannenden Effekts (möglicherweise auch bedingt durch die beruhigenden Umgebungsbedingungen), zur Steigerung des allgemeinen Wohlbefindens eingesetzt werden kann.
- Im direkten Anschluss an Wettkampf und Training sollte nur sanft und in angemessenen Gelenkamplituden nachgedehnt werden. Schmerzende Muskeln (DOMS) sollten nicht und ruhende Muskeln nicht ruckartig in großen Gelenkamplituden gedehnt werden.

## 4.3 Kaltwasser

4.3



*Foto Vorderseite: Praktisches Anwendungsbeispiel für eine Ganzkörper-KWI. Nico Müller aus dem A-Kader des Bundesverbandes Deutscher Gewichtheber (BVDG).*

### 4.3.1 Anwendungsmethoden

Kälteapplikationen erfreuen sich wachsender Popularität im Leistungssport. Neben dem Betreten einer Kältekammer und dem Anlegen von Kühlwesten hat sich insbesondere die Anwendung einer Kaltwasserimmersion (KWI) als Regenerationsmaßnahme etabliert. Die verwendeten Protokolle sind dabei uneinheitlich, so dass sowohl Dauer als auch Wassertemperatur sehr unterschiedlich ausfallen können. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand scheint eine Ganzkörperimmersion im direkten Anschluss an körperliche Belastungen für 10 min bei 12-15° C am ehesten erfolgversprechend zu sein.

Da eine KWI mit relativ geringen Kosten verbunden ist (Anschaffung einer Regentonne) und gleichzeitig keiner größeren räumlichen Voraussetzungen bedarf (Wasseranschluss), kommt sie generell für eine Vielzahl an Sportarten in Frage. Insbesondere im Fußball scheint die KWI beinahe flächendeckend etabliert zu sein und wird oft im direkten Anschluss an Trainingseinheiten und Spiele durchgeführt.

### 4.3.2 Physiologischer Hintergrund

Derzeit gibt es keine eindeutig belegten Wirkmechanismen von Kälteapplikationen als Regenerationsmaßnahme. Es wird spekuliert, dass die Effekte weitgehend auf einer Reduktion der Muskel- und Körperkerntemperatur und damit einhergehend reduzierten lokalen Entzündungsprozessen beruhen. Weiterhin geht man davon aus, dass kühlungsbedingte schmerzhemmende Effekte zu einem verbesserten Erholungsbefinden beitragen und dass der hydrostatische Druck des Wassers kompressionsähnliche Wirkungen hervorruft (Poppendieck et al., 2013).

### 4.3.3 Studienlage

Angesichts der aktuellen Studienlage lässt sich kein eindeutiges (sportartübergreifendes) Fazit zur Wirksamkeit von Kälteapplikationen als Regenerationsmaßnahme ziehen. Generell scheint jedoch eine KWI größere Effekte zu erzielen als das Tragen von Kühlwesten oder der Aufenthalt in Kältekammern (Poppendieck et al., 2013), wobei die Studienlage insbesondere für Kältekammern nach wie vor unzureichend ist. Bei

Anwendung einer Ganzkörper-KWI gibt es Hinweise auf eine verbesserte Leistungsfähigkeit im Bereich von sprint- und schnellkraftdominierten Sportarten, während sich die Effekte im Bereich von Ausdauer- und Maximalkraftdisziplinen eher marginal darstellen (Leeder et al., 2012; Poppendieck et al., 2013). Positiv scheinen sich Kaltwasseranwendungen auf das subjektive Erholungsempfinden auszuwirken, wobei dies auf den Placebo-Effekt zurückzuführen sein könnte (Broatch et al., 2014), da eine Blindung bei Kältestudien kaum möglich ist. Es bestehen Hinweise darauf, dass sich eine dauerhafte Anwendung von KWI negativ auf Anpassungsmechanismen im Bereich des Krafttrainings auswirken könnte (Fröhlich et al., 2014; Roberts et al., 2015).

### 4.3.4 REGman-Befunde

Die Anwendung von Ganzkörper-KWI (10 min bei 12-15° C) im direkten Anschluss an insgesamt fünf intensive Trainingseinheiten in einer dreitägigen Trainingsphase der deutschen Gewichtheber-Nationalmannschaft hatte folgende Effekte:

- › Die sportartspezifische Leistungsfähigkeit – simuliert durch einen Langhantel-Zugtest – wurde durch die KWI im Gruppenmittel nicht beeinflusst.
- › Ebenso wenig gab es signifikante Veränderungen in den erhobenen Blutparametern Creatinkinase, Harnstoff, Cortisol und Testosteron.
- › Das subjektive Erholungs- bzw. Beanspruchungsempfinden der Athleten veränderte sich im Gruppenmittel ebenfalls nicht signifikant.
- › Einzelfallanalysen zeigen, dass einige Athleten durchaus positiv auf die KWI reagieren, was sich sowohl in der Leistungsfähigkeit, als auch in Parametern des subjektiven Empfindens nachweisen lässt, während andere Athleten tendenziell negativ reagieren.

Auch in weiteren REGman Studien, bei denen die KWI entweder vergleichend zu anderen Regenerationsverfahren wie aktiver Erholung und Massage nach einem Halbmarathon oder im Rahmen einer Turniersimulation in Kombination mit anderen Verfahren während eines simulierten Tennisturniers (REGman-Open) eingesetzt wurde, blieben nachweisbar positive Effekte auf die Regeneration aus.

Es zeigte sich jedoch, dass die KWI erwartungsgemäß kurzfristig zu einer Abnahme der

Schnellkraftleistung im Counter Movement Jump führt, die jedoch nach zwischengeschalteter Nachtruhe reversibel ist.

Eine Trainingsstudie zur präziseren Erfassung eventueller nachteiliger Effekte kontinuierlicher Kälteanwendungen im Krafttraining über mehrere Wochen läuft zum Zeitpunkt der Drucklegung dieser Broschüre noch.

### Handlungsempfehlungen für die Praxis

- › Eine Ganzkörper-KWI scheint aufgrund des höheren hydrostatischen Drucks und der schnelleren Möglichkeit zur Verringerung der Körperkerntemperatur größere Effekte zu erzielen als Immersionen einzelner Körperteile.
- › Wassertemperatur, Länge der Intervention als auch zeitliche Nähe zur vorangehenden, ermüdenden Belastung sind bedeutend für die Wirksamkeit der Anwendung. Generell sollten Athleten und Athletinnen so schnell wie möglich nach der Belastung mit einer KWI beginnen. Ein Protokoll von 10 min bei 12-15° C (ggf. unterbrochen durch Pausen) scheint sowohl die größten Effekte hervorzurufen als auch tolerabel für die Athleten und Athletinnen zu sein.
- › Inwieweit eine dauerhafte Kaltwasseranwendung möglicherweise im Kraftsport kontraproduktiv sein kann, ist noch zu klären. Es bestehen vereinzelte Hinweise darauf, dass Adaptationsprozesse potenziell gehemmt und gewünschte Trainingsanpassungen somit vermindert werden könnten.
- › In anderen Sportarten erscheint eine KWI speziell nach intensiven Trainings- und Wettkampfbeanspruchungen in der Hitze plausibel und für das Wohlbefinden der Athletinnen und Athleten förderlich, auch wenn die physiologisch zu erwartenden Effekte geringer sind als theoretisch zu erwarten.
- › Aufgrund kurzfristiger Schnellkrafteinbußen ist eine KWI als Regenerationsintervention zwischen zwei Trainingseinheiten oder Wettkampfeinsätzen kontraproduktiv.

## 4.4 Kompressionsbekleidung

4.4



*Foto Vorderseite: Im Ausdauersport tragen viele Athletinnen und Athleten Kompressionsbekleidung auch nach Training und Wettkampf (Quelle: Bundesinstitut für Sportwissenschaft).*

#### 4.4.1 Anwendungsmethoden

Die Anwendung von Kompressionsbekleidung unterschiedlicher Stärke (18 bis > 49 mmHg; in der Medizin wird nach Kompressionsklassen unterschieden, CCL1-4) bei Venenerkrankungen wird schon lange prophylaktisch und therapeutisch u. a. zur Steigerung des venösen Blutflusses eingesetzt. Im Breiten- und Leistungssport erfreuen sich verschiedenste Arten von Kompressionsbekleidungen zunehmender Beliebtheit, da von der eng anliegenden Kleidung ein leistungssteigernder Effekt während der körperlichen Belastung sowie verbesserte Regeneration in den Tagen nach der Belastung erhofft wird.

In den Ausdauersportarten trägt eine Vielzahl von Athletinnen und Athleten Kompressionsbekleidung unterschiedlichster Art während und nach Lauf- und Triathlonwettkämpfen. Auch in den Sportspielen Handball und Basketball werden Kompressionsärmlinge während und nach Spielen genutzt. Die Art der getragenen Kompressionsbekleidung reicht von Kniestrümpfen über Shorts bis hin zu langen Hosen (Tights) sowie komprimierenden Oberteilen und Ärmlingen. In manchen Sportarten werden sogar Ganzkörperkompressionsanzüge getragen (Duffield et al., 2007). Zur Unterstützung des venösen Blutflusses nimmt der auf die Haut applizierte Druck bei manchen Herstellern von distal nach proximal ab.

#### 4.4.2 Physiologischer Hintergrund

Die möglichen Gründe für die Wirksamkeit von Kompression sind vielfältig und werden seit längerem in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert. Mit Bezug auf leistungssteigernde Effekte durch das Tragen von Kompressi-

on während maximal kräftiger und explosiver Übungen werden eine gesteigerte Propriozeption und eine verringerte Muskeloszillation angenommen (Doan et al., 2003). Weiterhin wird vermutet, dass der durch Kompression erhöhte arterielle Bluteinstrom sowie der venöse Blutausstrom zu einer erhöhten Verstoffwechslung von Abfallprodukten (z. B. Laktatkonzentration) in der Muskulatur führt und damit eventuell zu verbesserten zellulären Reparaturprozessen (Davies et al., 2009). Schließlich soll die Regeneration nach Muskelschädigungen durch einen erhöhten lymphatischen Ausstrom verbessert sein, da sich Muskelschwellungen und Schmerzempfinden verringern.

#### 4.4.3 Studienlage

Die Datenlage über den Einfluss von Kompressionsbekleidung auf verschiedene Regenerationsmarker ist uneinheitlich (Born et al., 2013). Teilweise konnten die Serumkonzentrationen von Muskelschädigungsparametern wie Creatinkinase sowie das Auftreten von Muskelschmerzen 24 bis 48 Stunden nach körperlicher Belastung durch Kompression reduziert werden. Das Tragen von relativ engen Kompressionsshorts in der akuten Regeneration nach ermüdender Radbelastungen führt zwar zu reduziertem Blutfluss in der Muskulatur, die muskuläre Glukoseaufnahme hingegen bleibt unbeeinflusst (Sperlich et al., 2013). Insgesamt ist die wissenschaftliche Evidenz zur Wirksamkeit von Kompressionsbekleidung zur Regenerationsförderung auf subjektive und objektive Belastungsmarker jedoch bislang uneinheitlich. Ferner wurde die Frage nach der Stärke der Kompressionsbekleidung während der Regeneration bisher noch nicht untersucht.



Abb. 15: Direkt nach einem intensiven Handballtraining wurden Kompressionshosen mit unterschiedlichen Drücken zur Regeneration getragen.

#### 4.4.4 REGman-Befunde

Das Tragen von Tights (0, 10, 25 mmHG, Firma Sigvaris, Winterthur, CH) 24 h-48 h nach intensivem Kraftzirkel und Intervallsprints bei Handballspielern der 2. Bundesliga (Abb. 15) ergab folgende Befunde:

- › Objektive Belastungsmarker im Blutserum wie Creatinkinase (Abb. 16) und Harnstoff (nicht dargestellt), scheinen nach einer intensiven Trainingseinheit durch das Tragen einer mittleren Kompressionsstärke (10 mmHg) tendenziell niedriger zu sein als nach dem Tragen einer hohen (25 mmHg) oder keiner Kompression.
- › Der allgemeine subjektive Erholungszustand der Athleten ist beim Tragen einer mittelhohen Kompression (10 mmHg) nach 48 h geringfügig verbessert im Vergleich zu einer hohen (25 mmHg) und keiner Kompression (Abb. 17).
- › Das Tragen unterschiedlicher Kompressionsstärken (0, 10, 30 mmHg) 48 h nach 30 x 30 m-Sprints sowie intensivem Kraftzirkel hat keinen signifikanten Einfluss auf die Leistung im 5 x 30 m-Sprint und im Counter Movement Jump (Abb. 18).

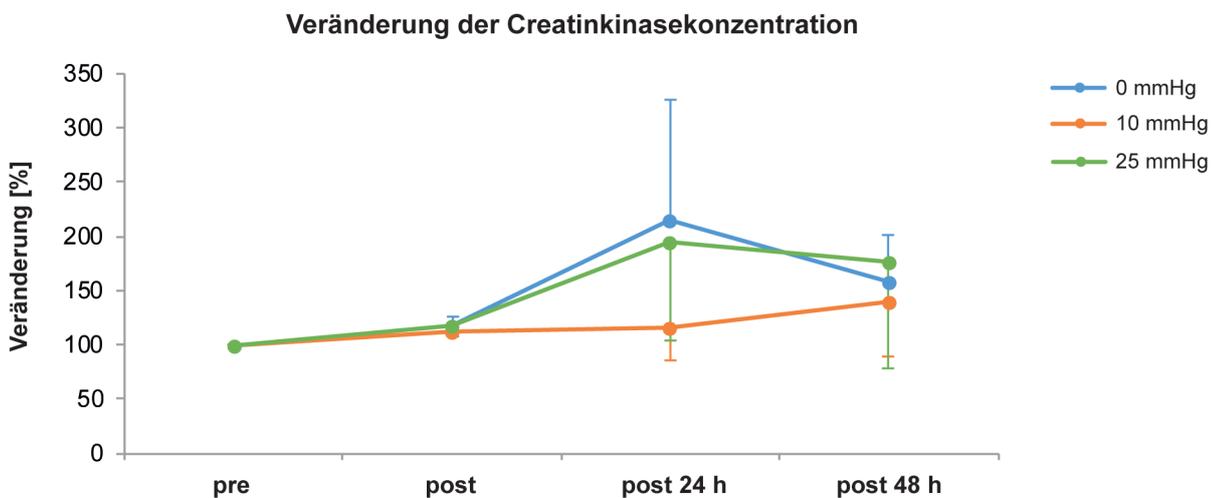


Abb. 16: Veränderungen von Creatinkinase Konzentration im Blutserum nach einer intensiven Trainingseinheit von Handballern mit unterschiedlichen Kompressionsstärken in der Erholungsphase.

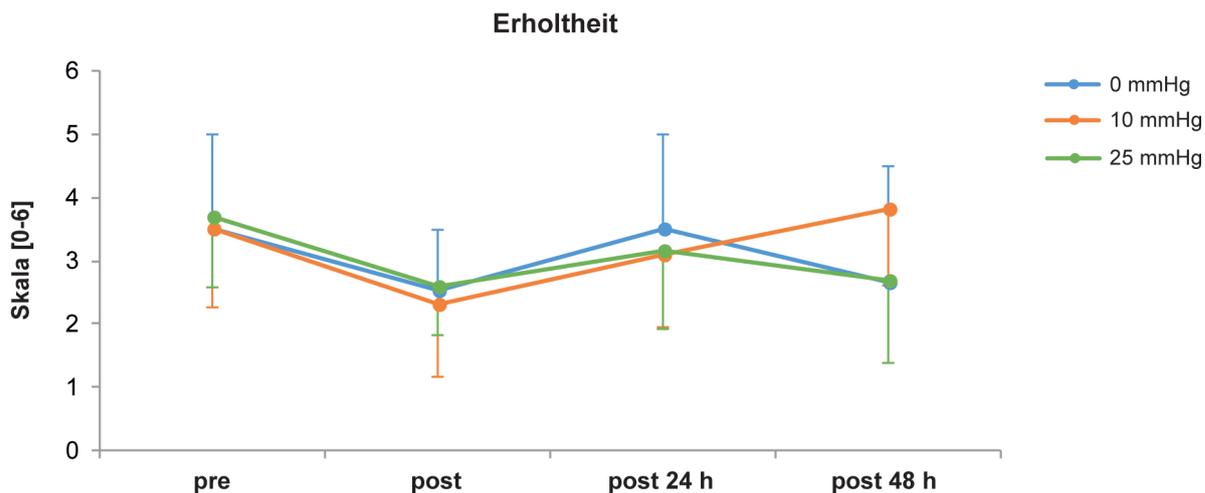


Abb. 17: Allgemeiner Erholungszustand (KEB) vor und während der Kompressionsintervention mit unterschiedlicher Stärke nach einer intensiven 30 x 30 m Intervallsprint-Belastung von Handballspielern der 2. Bundesliga.

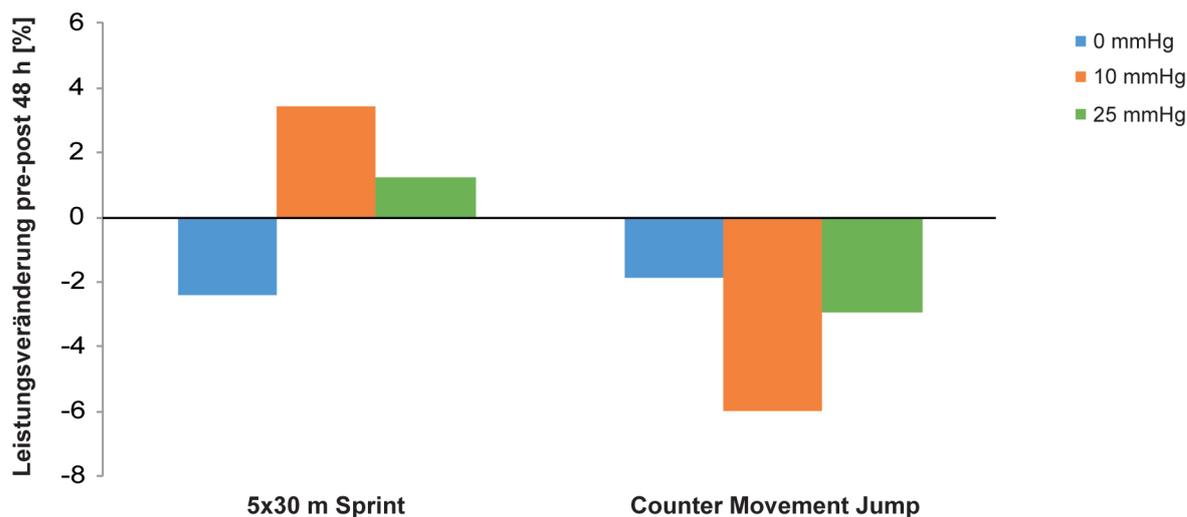


Abb. 18: Prozentuale Leistungsveränderungen im 5 x 30 m-Sprint sowie im Counter Movement Jump nach 48-stündigem Tragen von Kompressionshosen mit unterschiedlichen Stärken.

### Handlungsempfehlungen für die Praxis

- Bei der Wahl der Kompressionsstärke während der Regeneration sollte eine mittlere Kompression (ca. 10 mmHg) gewählt werden und die Kompressionsdauer sollte mindesten 48 h nach Belastungsende andauern.
- Das Tragen von Kompressionsbekleidung sollte nur dann als Empfehlung ausgesprochen werden, wenn das subjektive Wohlempfinden nicht beeinträchtigt wird.
- Die Wahl der Kompressionskleidung sollte entsprechend dem sportartspezifischen Beanspruchungsprofil und im Idealfall individuell maßgeschneidert erfolgen.



## 4.5 Sauna

4.5



Foto Vorderseite: Sauna ist eines der beliebtesten Regenerationsverfahren von Athletinnen und Athleten speziell nach Belastungen in kühler Umgebung  
(Quelle: Bundesinstitut für Sportwissenschaft).

### 4.5.1 Anwendungsmethoden

Weltweit ist Deutschland nach Finnland das Land mit der größten Saunaverbreitung. Von vielen Menschen wird die Sauna zur Entspannung von Körper und Psyche, Erholung von Alltagsstressoren und/oder zur Erkältungsvorbeugung genutzt. Hinter dem Begriff „Sauna“ verbergen sich im Wesentlichen zwei Varianten: die finnische Sauna (ca. 85-110 °C, 5-15% Luftfeuchtigkeit) und Dampfbäder (ca. 40-60°C, 100% Luftfeuchtigkeit). Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind die entscheidenden Größen, über die Saunabeanspruchungen auf den Organismus definiert werden.

Bislang gibt es kaum wissenschaftlich basierte Empfehlungen zur ‚optimalen Dauer‘ von Saunaanwendungen zur sportlichen Regeneration. Der deutsche Saunabund empfiehlt jedoch ein bis drei Saunagänge von 8 bis 15 Minuten pro Gang mit ca. 10 Minuten Ruhepause dazwischen. Bei Sportlern wird Sauna neben der klassischen Anwendung zur Entspannung auch im Zusammenhang mit Akklimatisierungsprozessen eingesetzt. So bestehen Hinweise, dass sich regelmäßige Saunagänge positiv auf die Thermoregulation auswirken können, was wiederum einen günstigen Effekt auf die Leistung bei Wettkämpfen unter Hitzebedingungen haben kann (Tyka et al., 2008). Weiterhin wird Sauna aufgrund des hohen Flüssigkeitsverlusts in Sportarten mit Gewichtsklassen angewandt, um kurzfristig ‚Gewicht zu machen‘ (Karila et al., 2008; Viitasalo et al., 1987), was allerdings nicht frei von gesundheitlichen Gefahren ist. Da regelmäßige Saunaanwendungen anekdotisch außerdem mit einer reduzierten Infektanfälligkeit in Verbindung gebracht werden, scheinen Athletinnen und Athleten vor allem in den kalten Jahreszeiten darauf zurückzugreifen. Bei einem akuten Infekt sollte Sauna jedoch vermieden werden (Hannuksela et al., 2001).

### 4.5.2 Physiologischer Hintergrund

Akut führt Sauna zu einer Weitstellung der Hautgefäße, erhöht die Herzfrequenz sowie die Schweißproduktion (Kukkonen-Harjula & Kauppinen, 2006). Langfristig werden positive Auswirkungen auf das Immunsystem sowie die Regeneration diskutiert (Brukner & Khan, 2001; Cochrane, 2004; Prentice, 1999; Zuluaga et

al., 1995). Einige Autoren vermuten, dass durch eine regelmäßige Anwendung das Plasmavolumen erhöht und dadurch die Produktion roter Blutkörperchen stimuliert werden kann, was einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit im Ausdauerbereich haben kann (Luetkemeier & Thomas, 1994; Scoon et al., 2007). Allerdings werden auch negative Auswirkungen diskutiert, da die erhöhte kardiovaskuläre Belastung während der Saunaanwendung die Regeneration verlangsamen könnte (Hannuksela, 2001).

### 4.5.3 Studienlage

Die wissenschaftliche Evidenz für eine Wirksamkeit von Saunaanwendungen zur Regeneration ist bislang gering. Scoon et al. (2007) fanden zwar Hinweise, dass sich regelmäßige Saunaanwendungen positiv auf die Trainingsanpassung von Amateurläufern auswirken, jedoch liegen bislang kaum Daten zu akuten regenerativen Effekten im Spitzensport vor. Sutkowy et al. (2014) zeigten zwar, dass Sauna den oxidativen Stress nach Ausdauerbelastungen reduziert, jedoch ist unklar ob sich dies auch positiv auf die sportliche Leistungsfähigkeit auswirkt. Insgesamt sind sowohl negative Einflüsse durch Flüssigkeitsverluste und zentralnervöser Deaktivierung als auch positive Effekte (z. B. Verbesserung der Schlafqualität) denkbar (Kukkonen-Harjula & Kauppinen, 2006; Scoon et al., 2007). Die meisten publizierten Ergebnisse basieren jedoch bislang auf unkontrollierten Designs mit saunagewohnten und nicht leistungssportlich aktiven Probanden.

### 4.5.4 REGman-Befunde

Da es bislang kaum wissenschaftliche Daten zu akuten regenerativen Effekten von Saunagängen gibt, soll innerhalb des REGman-Projekts in einem randomisierten cross-over-Design dieser Fragestellung nachgegangen werden (Modul H2.1-3). Hierfür werden Ausdauerathleten im Anschluss an eine standardisierte intensive Trainingseinheit einmal Sauna und einmal eine Kontrollbedingung durchführen. In der darauffolgenden Trainingseinheit sollen mögliche regenerative Effekte über sportartspezifische Leistungstest sowie ausgewählte Surrogatparameter erfasst werden.

## Handlungsempfehlungen für die Praxis

Bislang liegen zu wenige wissenschaftliche Studien zu akuten und langfristigen Effekten von Saunaanwendung im Sport vor, um gesicherte Empfehlungen zu geben. Für die Anwendung in der Praxis sollte bedacht werden, dass der Körper durch die vermehrte Schweißproduktion während einer Saunaanwendung ca. 0.5 bis 1 kg Flüssigkeit verliert (Kukkonen-Harjulan & Kauppinen,

2006). Bei unvollständigem Ausgleich kann dies die Leistungsfähigkeit in der nachfolgenden Trainingseinheit einschränken. Dem Flüssigkeitsverlust kann bereits während der Anwendung durch Getränke in den cooling-Phasen entgegengewirkt werden. In jedem Falle sollte darauf geachtet werden, im Anschluss an die Saunaanwendung ausreichend Flüssigkeit zuzuführen um denkbaren negativen Effekten auf die Erholungsfähigkeit entgegenzuwirken.

## 4.6 Sportmassage

4.6



*Foto Vorderseite: Massage zählt zu den beliebtesten Regenerationsverfahren in der Sportpraxis (Quelle: Bundesinstitut für Sportwissenschaft).*

### 4.6.1 Anwendungsmethoden

Häufig eingesetzte Massagetechniken umfassen Effleurage (gleitende Bewegungen), Petrissage (Kneten oder Pressen), Friktion (Reibung), Tapotement (rhythmisches Klopfen) und Vibration, die typischerweise über einen Zeitraum von 10-30 min ausgeführt werden (Weerapong et al., 2005). Darüber hinaus kommen auch Vibrationsmassage, Unterwasserdüsenmassage, Akupressur und Bindegewebsmassage zum Einsatz.

Massage wird in der Leistungssportlichen Praxis häufig eingesetzt, sowohl mit dem Ziel einer beschleunigten Erholung als auch zur Vorbereitung auf einen Wettkampf sowie zur Prävention und Rehabilitation von Verletzungen (Moraska, 2005). Eine Umfrage unter 32 Physiotherapeuten professioneller Fußballmannschaften ergab, dass 78 % von ihnen regelmäßig Massage zur Regeneration einsetzen (Nédélec et al., 2013).

### 4.6.2 Physiologischer Hintergrund

Es werden verschiedene mögliche Wirkmechanismen der Massage diskutiert, darunter biomechanische, physiologische, neurologische und psychologische Effekte (Weerapong et al., 2005). Massage soll muskuläre Verspannungen und Schmerzen reduzieren, die Beweglichkeit verbessern, die Durchblutung steigern und den Abtransport von Stoffen wie Blutlaktat und Creatinkinase verbessern (Best et al., 2008). Diese Mechanismen konnten bisher allerdings noch nicht eindeutig wissenschaftlich nachgewiesen werden, lediglich psychologische Effekte wurden gezeigt (Weerapong et al., 2005). Darüber hinaus konnte durch Muskelbiopsien gezeigt werden, dass Massagen entzündliche Prozesse im Muskel durch eine Eindämmung der Zytokinproduktion hemmen können (Crane et al., 2012).

### 4.6.3 Studienlage

In den letzten Jahren wurden mehrere Übersichtsartikel zur Massage als regenerationsfördernde Maßnahme veröffentlicht (Best et al., 2008; Moraska, 2005; Weerapong et al., 2005). Der Konsens ist, dass Massage zwar eine beliebte und häufig eingesetzte Regenerationsmaßnahme ist (Nédélec et al., 2013), die Effekte auf die Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit aber gering und nicht eindeutig sind. Bislang

wurde auch noch nicht untersucht, welche Rahmenbedingungen die Wirksamkeit einer Massage begünstigen (z. B. Massagedauer und -technik, Art der Belastung, Regenerationszeitraum, Trainingszustand der Probanden). Im Rahmen von REGman wurde eine solche Untersuchung als Metaanalyse der vorhandenen wissenschaftlichen Studien durchgeführt (Modul F2.2).

### 4.6.4 REGman-Befunde

Im Rahmen einer Metaanalyse wurden 22 Studien ausgewertet, in denen sich durch die Massage eine durchschnittliche Leistungssteigerung von 3,3 % und eine vernachlässigbare bis kleine Effektivität zeigten.

- Es zeigten sich größere Effekte für kürzere Massagen von 5-12 min (+6,6 %).
- Die Effekte waren für kurze Regenerationsintervalle (5-10 min) deutlich größer (+7,9 %) als für längere (> 20 min) Intervalle (+2,4 %).
- Es ergaben sich größere Effekte (+14,4 %) nach hochintensiven gemischten Belastungen (z. B. 3-tägiges intensives Kraft- und Konditionstraining; Beinstreckung, Kniebeugen und Radfahren bis zur Erschöpfung), verglichen mit reinen Kraft- (+3,9 %) und Ausdauerbelastungen (+1,3 %).
- Untrainierte Personen profitierten mehr (+6,5 %) als trainierte (+2,3 %).
- Die Effekte von Vibration (+1,8 %) und Unterwasserdüsen (+2,8 %) waren zu vernachlässigen.
- Die größten Effekte wurden für pneumatische Massage beobachtet (+24,6 %), allerdings konnte dazu auch nur eine Studie herangezogen werden.
- Die beobachtete Wirkung von Massage könnte zumindest teilweise auf Placeboeffekten beruhen, da eine Massageintervention nicht ohne weiteres verblindet werden kann.

Auch in experimentellen REGman Studien, bei denen Massage entweder vergleichend zu anderen Regenerationsverfahren wie aktiver Erholung und KWI nach einem Halbmarathon oder in Kombination mit anderen Verfahren während eines simulierten Tennisturniers (REGman-Open, Modul H2.1-6) eingesetzt wurde, blieben

nachweisbar positive Effekte auf die Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit aus. Es zeigte sich jedoch, dass die Massage unmittelbar nach der Intervention mit einem signifikant gesteigerten Wohlbefinden einherging und auf Nachfrage vergleichend zu allen übrigen Interventionen am besten evaluiert wurde.

### Handlungsempfehlungen für die Praxis

- › Die Effekte von Massage auf die Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit sind im Mittel offenbar eher gering, unter geeigneten Bedingungen (kurze Regenerationsphasen nach hochintensiver Belastung) sind aber durchaus relevante Wirkungen möglich.
- › Auch wenn die Evidenz physiologischer Effekte gering ist, kann ein subjektiv als positiv empfundener psychologischer Effekt von Massage leistungssteigernd wirken. Folglich sollten Athletinnen und

Athleten unbedingt ihre in der eigenen Praxis bewährten Routinen beibehalten, zumal keine nennenswerten nachteiligen Effekte nachgewiesen werden können.

- › Die akut mögliche rasche Einstellung von Wohlbefinden, angenehmem Körpergefühl und ggf. die Verringerung von Muskelschmerzen lassen den Tag nach intensivem Training oder Wettkampf positiv ausklingen. Allein dieser Effekt mag Massage als Intervention rechtfertigen, auch wenn eine überdauernde Wirkung ausbleibt.

# 4.7 Foam-Rolling

4.7



*Foto Vorderseite: Ski-Ass Florian Preuss, einer der besten Freestyler Deutschlands, beim Foam-Rolling.*

### 4.7.1 Anwendungsmethoden

Foam-Rolling bietet Athleten und Athletinnen die Möglichkeit einer gezielten und selbstständigen Massage von bestimmten Muskelgruppen zur Vor- und Nachbereitung von Training und Wettkampf. Hierzu existiert bereits eine umfangreiche Produktpalette aus Rollen, Bällen und Formkombinationen, die eine Applikation der Selbstmassage an sämtlichen relevanten Muskelstrukturen ermöglicht. Die Empfehlungen bezüglich der Anwendungsdauer und des Anpressdrucks sind variabel und sowohl direkt abhängig von der Art der vorangegangenen Belastung als auch der individuellen Schmerzaffinität. Überwiegend werden Protokolle mit einer Anwendungsdauer von 30 bis 60 Sekunden pro Muskelgruppe angewendet, wobei dieser Vorgang häufig nach kurzen Pausen bis zu dreimal wiederholt wird. Das Ausrollen vom distalen zum proximalen Ansatzpunkt des Muskels und zurück geschieht dabei mit gleichbleibender, langsamer Geschwindigkeit, was entweder der subjektiven Einschätzung des Ausführenden überlassen oder durch Hinzunahme eines Metronoms bzw. verbaler Instruktion sichergestellt werden kann.

In den letzten Jahren etablierte sich das Foam-Rolling zunehmend in der Regenerationspraxis des Spitzen- und Amateursports sowohl nach ausdauer- als auch kraftorientierten Belastungen. Der Grund hierfür liegt in der einfachen und selbstständigen Durchführbarkeit (z. B. im Vergleich zur artverwandten Massage). Häufig wird Foam-Rolling auch als ein Teilelement des Aufwärmprogramms eingesetzt.

### 4.7.2 Physiologischer Hintergrund

Foam-Rolling bezweckt Veränderungen auf neurologischer, physiologischer und mechanischer Ebene. Der gesteigerte Blutfluss (u. a. infolge einer parasympathisch ausgelösten Vasodilatation) reduziert in Kombination mit ei-

ner gesteigerten Neutrophilen-Konzentration die Entstehung von Inflammationsherden und wirkt so einer Ödembildung entgegen. Dieser Vorgang bewirkt eine Entlastung der fasziellen Gewebestrukturen und resultiert in der Schonung drucksensitiver Schmerzrezeptoren (Pearcey et al., 2015). Zusätzlich soll die Bildung von Adhäsionen zwischen den Faszienschichten durch eine Viskositätsverminderung der Interstitialflüssigkeit minimiert werden. Hierdurch ökonomisiert sich die Arbeitsweise des Muskel-Faszien-Komplexes (Macdonald et al., 2013; MacDonald et al., 2014).

### 4.6.3 Studienlage

Die aktuelle wissenschaftliche Evidenzlage zeichnet ein überwiegend positives Bild hinsichtlich der akuten und kurzfristigen regenerativen Wirksamkeit von Foam-Rolling. Sowohl die Beweglichkeit der mittels Foam-Roller behandelten Strukturen als auch der subjektiv empfundene Muskelschmerz nach sportlichen Belastungen konnten positiv beeinflusst werden (Healey et al., 2014; Pearcey et al., 2015). Demgegenüber ist der Einfluss von Foam-Rolling auf die Leistungsfähigkeit von Athletinnen und Athleten bisher nicht einheitlich dokumentiert. Einerseits existieren Befunde, die Foam-Rolling eine beschleunigte Wiederherstellung der Sprint- und Sprungleistungsfähigkeit attestieren, andererseits widersprechen weitere Studiergebnisse diesem leistungsfördernden Effekt (Pearcey et al., 2015). In diesem Zusammenhang wird die Annahme diskutiert, dass die Effekte des Foam-Rollings nicht hauptsächlich durch Veränderungen der Muskelperipherie, sondern vielmehr durch eine Optimierung der neuronalen Reizweiterleitung und einer geordneten Remodulation des myofaszialen Gewebes zu erklären sind (Beardsley & Škarabot, 2015; Macdonald et al., 2013; MacDonald et al., 2014).

## Handlungsempfehlungen für die Praxis

- Foam-Rolling dient nach aktueller Erkenntnislage zur kurzfristigen Steigerung der Beweglichkeit sowie zur akuten Reduktion von belastungsinduziertem Muskelschmerz, ohne dabei die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu passiver Erholung zu beeinträchtigen.
- Somit spricht derzeit nichts gegen den Einsatz als regenerationsfördernde Maßnahme sowohl in der direkten Trainingsnachbereitung als auch an trainingsfreien Tagen, obwohl der Nachweis einer überdauernden Leistungssteigerung bislang noch nicht erfolgt ist.
- Vor diesem Hintergrund sollten Routinen der Athletinnen und Athleten nicht durchbrochen und auf das individuelle Wohlbefinden Rücksicht genommen werden.
- Auch ein Einsatz zur Trainings- und Wettkampfvorbereitung ist durch die nachweisbaren Warm-Up-Effekte (z. B. Erhöhung der Muskeltemperatur) möglich und sinnvoll.

## 4.8 Schlafmanagement

4.8



*Foto Vorderseite: Schlaf als wichtiger Erholungsfaktor*

### 4.8.1 Anwendungsmethoden

Internationale Wettkämpfe finden häufig in weit entfernten Ländern in anderen Zeitzonen statt. Ab einer Zeitverschiebung von etwa drei Stunden ist das Auftreten von Jet-Lag-Symptomen sehr wahrscheinlich. Veränderte externe Bedingungen (anderer Tag-Nacht-Rhythmus) stehen in Konflikt mit dem internen Zeitgeber. Häufige Symptome sind u. a. Schwierigkeit, zur richtigen Zeit einzuschlafen, vorübergehende Müdigkeit am Tag, Konzentrationsschwierigkeiten, verringerte Motivation sowie mentale und körperliche Leistungsfähigkeit, Verdauungsstörungen und Appetitlosigkeit (Reilly, 2009).

Nach Reisen in östliche Richtung sind die Symptome tendenziell stärker ausgeprägt als in westliche Richtung. Für den Körper ist die Umstellung auf einen Zeitvorsprung (z. B. Richtung Asien) in der Regel schwieriger als an eine Zeitverzögerung (z. B. Richtung Amerika) (Lee, 2012). Dabei wird angenommen, dass sog. „Morgentypen“ (frühes Zubettgehen und Aufstehen) die Anpassung an die östlichen Zeitzonen leichter fällt, während sich sog. „Abendtypen“ (späte Bett- und Aufstehzeiten) leichter auf die westlichen Zeitzonen umstellen können (Reilly, 2009).

Zu den wichtigsten Methoden bzw. Strategien des Schlafmanagements zur Korrektur von Jet-Lag-Symptomen gehören die Festlegung von Schlafzeiten während des Flugs (adaptiert nach Flugrichtung), die Justierung von Einschlafzeiten und Nachtschlafdauer vor und nach dem Eintreffen am Wettkampfort, die Einplanung einer ausreichend langen Akklimatisierungsdauer und ggf. die Nutzung von Hilfsmitteln zur Schlafunterstützung. Trotz dieser Maßnahmen ist ein optimiertes Schlafmanagement eine Herausforderung für Athletinnen und Athleten.

### 4.8.2 Studienlage

Bislang gibt es wenige Studien im Sport, insbesondere im Leistungssport, die den Einfluss längerer Interkontinentalreisen bzw. eines resultierenden Jet-Lag auf die Leistungsfähigkeit untersuchten. In den meisten Fällen wurde kein

negativer Effekt auf sportliche Leistungsparameter gefunden, sondern eher auf wahrnehmungs- und verhaltensbezogene Parameter (Kölling et al., in Druck). Die Mehrheit der Studien wurde jedoch mit geringeren Stichprobengrößen durchgeführt sowie eine große Spannweite der jeweiligen Ausprägungen berichtet. Das unterstreicht jedoch, dass die Anpassung an die geänderten Rahmenbedingungen – wie auch die Reaktion auf Trainingsbelastungen – individuell sehr unterschiedlich ist.

### 4.8.3 REGman-Befunde

Die Ruder-Weltmeisterschaft der Junioren (JWM) 2015 in Brasilien stellte eine Generalprobe für die Olympischen Spiele 2016 dar und eignete sich daher in idealer Weise für eine Feldbeobachtung unter realen Umgebungsbedingungen. Hierbei ergaben sich folgende Befunde:

- Die Schlafprotokolle zeigten, dass die Athletinnen und Athleten in Rio de Janeiro bei gleichen Aufstehzeiten ca. 1 Stunde früher zu Bett gingen und schneller einschliefen (Abb. 19).

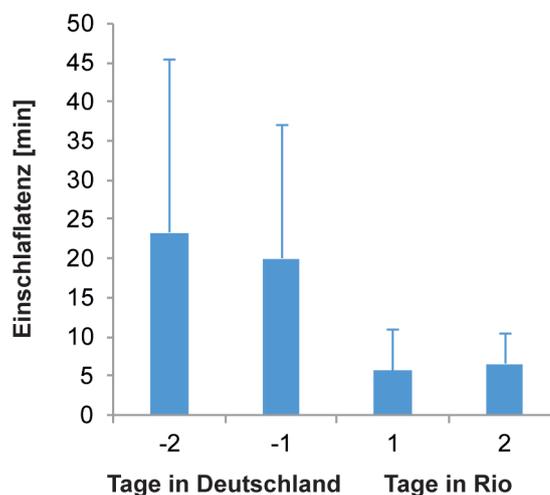


Abb. 19: Subjektive Einschätzung der Einschlafdauer zwei Nächte vor (-2, -1) und in den ersten zwei Nächten in (1, 2) Rio de Janeiro.

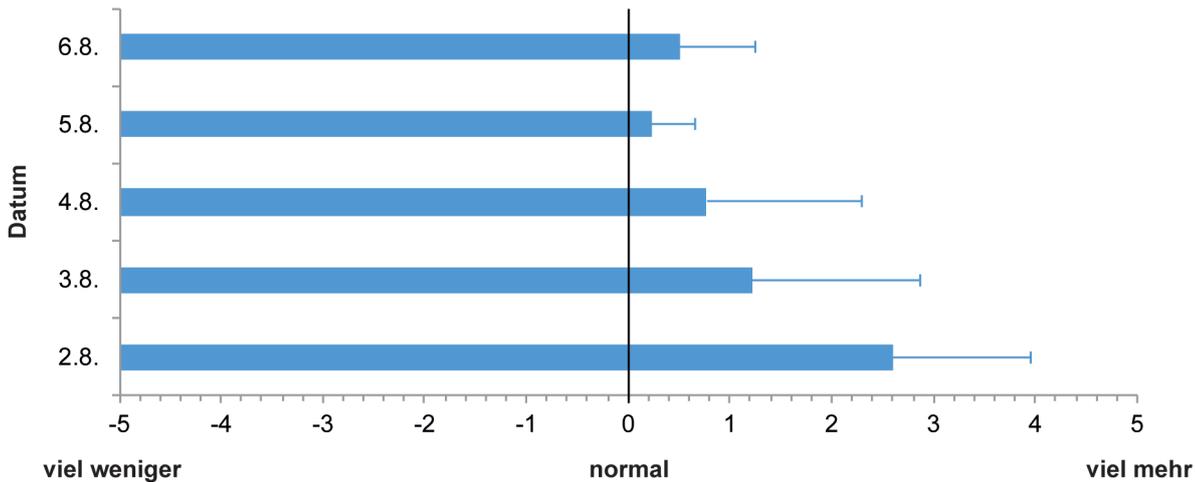


Abb. 20: Angaben über die Müdigkeit am Abend im Vergleich zum Normalzustand (Hinweis: 2.8. war Anreisetag; Ankunft 5:30 Uhr in Rio de Janeiro nach Nachtflug).

- ▶ In den ersten Abenden bzw. Nächten gaben die Athletinnen und Athleten eine größere Müdigkeit im Vergleich zum Normalzustand an, was sich aber ab dem 4. Abend normalisierte (Abb. 20).
- ▶ Bis auf die leichten Veränderungen im Schlafverhalten wurden keine Veränderungen bei stimmungs- oder subjektiven Erholungs- und Beanspruchungsparametern angegeben.
- ▶ Die Finalläufe fanden bereits am 6. Tag nach der Ankunft statt, bei denen die deutsche Nationalmannschaft sehr erfolgreich abschnitt.

## Handlungsempfehlungen für die Praxis

Bekanntermaßen finden die Olympischen Sommerspiele 2016 in Rio de Janeiro, Brasilien, statt, was für die deutschen Teilnehmerinnen und Teilnehmer eine Reise Richtung Westen bedeutet (ca. 11 Stunden Flugzeit). Aufgrund der dortigen Winterzeit und der europäischen Sommerzeit beträgt der Zeitunterschied 5 Stunden. Während in Deutschland im August Sonnenaufgang um ca. 5:30 Uhr und Sonnenuntergang um ca. 21:00 Uhr liegen, geht die Sonne in Rio erst gegen 6:30 Uhr auf und geht bereits um ca. 17:30 Uhr unter. Damit ist mit weniger Tageslicht zu rechnen, was sich auch auf die Tag-Nacht-Umstellung auswirken kann. Neben der Zeitverzögerung ist es daher denkbar, dass der frühe Sonnenuntergang das Gefühl der Müdigkeit bereits am frühen Abend stärker als sonst ausgeprägt ist.

- ▶ Einige Tage vor der Abreise sollten die Schlafzeiten bereits um 1-2 Stunden an

die Rio-Zeit angepasst werden (falls mit Tagesabläufen vereinbar).

- ▶ Da durch die Zeitverschiebung der Tag 5 Stunden verlängert wird, kann/sollte während des Flugs geschlafen werden (v.a. bei Nachtflug), wobei man sich an der Zeit des Zielortes orientieren sollte (z. B. bei Ankunft am frühen Morgen, Schlaf eher in der zweiten Hälfte des Fluges).
- ▶ Die Anreise sollte möglichst frühzeitig vor Wettkampfbeginn, mindestens jedoch eine Woche vorher erfolgen.
- ▶ Schlaf- und Trainingszeiten sollten möglichst unmittelbar an die Ortszeit angepasst werden.
- ▶ Da mit früheren Einschlafzeiten gerechnet werden sollte, sind Abendessen und Besprechungen nach Möglichkeit am frühen Abend zu einzuplanen.

## 4.9 Powernapping

4.9



*Foto Vorderseite: Power Nap-Intervention im Trainingslager der U19-Nationalmannschaft im Rudern (Hinweis: die Anordnung im Raum wurde von den Teilnehmern selbst gewählt).*

### 4.9.1 Anwendungsmethoden

Der Kurzschlaf bzw. Power Nap dauert in der Regel weniger als 30 Minuten und ist in der Allgemeinbevölkerung ein verbreitetes Phänomen. Er findet entweder aus Gewohnheit statt oder erfolgt um Schlafmangel zu reduzieren, bzw. diesem vorzubeugen (Milner & Cote, 2009).

Ausreichend Schlaf ist für die Gesundheit sowie die physiologische und psychologische Erholung, vor allem im Leistungssport, eine wichtige Voraussetzung. Trainings- und Wettkampfbearbeitungen, aber auch außersportliche Stressfaktoren können das Schlafbedürfnis und die Schlafqualität beeinflussen (u. a. Leeder et al., 2012; Sargent et al., 2014). Ein häufig resultierendes Phänomen ist Schlafmangel bzw. gestörter Schlaf, der sich über einen längeren Zeitraum akkumuliert negativ auf die Stimmung sowie auf die Leistungsfähigkeit (u. a. durch verlängerte Reaktionszeiten oder verminderte Lernfähigkeit) auswirken kann (Reilly & Edwards, 2007). Es kann folglich für die Athletinnen und Athleten sinnvoll sein, sich für einen kurzen Moment tagsüber schlafen zu legen (Robsen-Ansley et al., 2009).

### 4.9.2 Physiologischer Hintergrund

Verschiedene physiologische Funktionen unterliegen zyklischen Veränderungen im Tagesverlauf (u. a. Aufmerksamkeit, Konzentrationsfähigkeit, Körpertemperatur). Häufig kommt es zum sog. „Mittagstief“, während Höchstleistungen meist am späten Nachmittag erbracht werden. In zahlreichen Laborstudien konnten positive Effekte durch Kurzschlaf auf kognitive und psychomotorische Parameter (z. B. Reaktionszeit, computerbasierte Tests) nachgewiesen werden (Ficca et al., 2010; Milner & Cote, 2009). Untersucht wurden verschiedene Schlaflängen (90 s bis 90 min). Für unmittelbare positive Effekte, z. B. ein „frisches“ Gefühl nach dem Erwachen,

ist die Vermeidung von Tiefschlaf entscheidend (Milner & Cote, 2009). Eine längere Schlafdauer am Tag kann zwar auch zur Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit führen, allerdings mit zeitlicher Verzögerung durch die zunächst entstehende Trägheit. Für einen sog. „Power Nap“ werden daher Kurzschlafphasen von unter 30 Minuten empfohlen, was sich in die engen Tagespläne von Athletinnen und Athleten ohnehin leichter integrieren lässt.

### 4.9.3 Studienlage

Die wissenschaftliche Evidenz zur Wirksamkeit von Kurzschlaf bzw. Power Naps im Sport ist derzeit noch unzureichend, bzw. es liegen teilweise widersprüchliche Befunde vor. In einer Studie wurden positive Effekte einer 30-minütigen Schlafgelegenheit auf eine lineare Sprintleistung aufgezeigt, wobei den Teilnehmenden in der Nacht zuvor nur vier Stunden Schlaf zugestanden wurde (Waterhouse et al., 2007). In einer anderen Untersuchung konnten keine positiven, aber auch keine negativen Effekte eines 20-minütigen Schlafes auf die Leistung im Wingate-Test am Fahrradergometer festgestellt werden (Petit et al., 2014).

### 4.9.4 REGman-Befunde

- › In einer Untersuchung mit Sportstudierenden wurden 2 hochintensive Intervallsprinttests (6 x 4 s) durch einen 25-minütigen Schlafzeitraum unterbrochen. Gegenüber einer Kontrolluntersuchung ergaben sich nach der Schlafintervention geringfügige Leistungssteigerungen (Abb. 21). Bei einer weiteren Studie beeinflusste eine kurze Störung in der Schlafpause die nachfolgende Sprintleistung nicht.

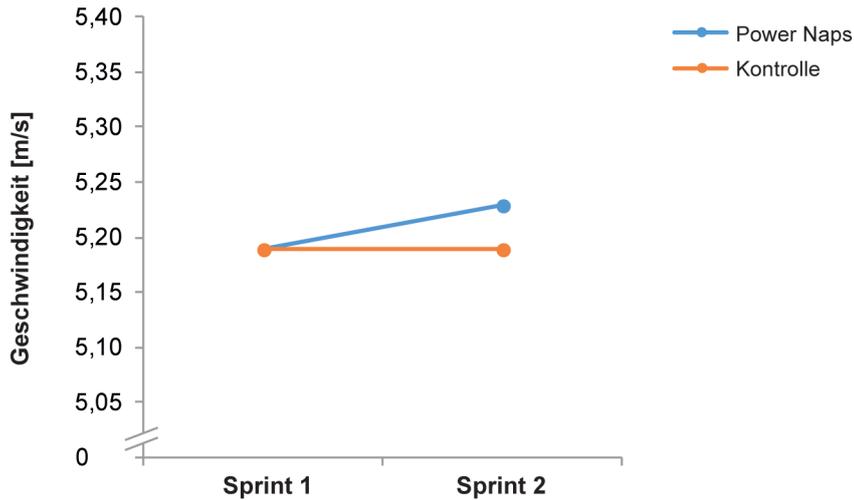


Abb. 21: Leistungsfähigkeit im Intervallsprinttest (durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit) vor (Sprint 1) und nach (Sprint 2) einer Schlafintervention bzw. einer Kontrollbedingung ohne Intervention.

- In das Trainingslager der U19-Nationalmannschaft im Rudern ließ sich eine 8-tägige Power Nap-Intervention problemlos integrieren.
- Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Intervention zeigten im Anschluss eine Verringerung in den Skalen Übermüdung

und Somatische Beanspruchung des Erholungs-Belastungs-Fragebogens für Sportler (EBF-Sport), (Abb. 22 und 23 ) und im Vergleich zu den nicht Teilnehmenden nach der Interventionswoche ein günstigeres EBF-Sport-Profil.

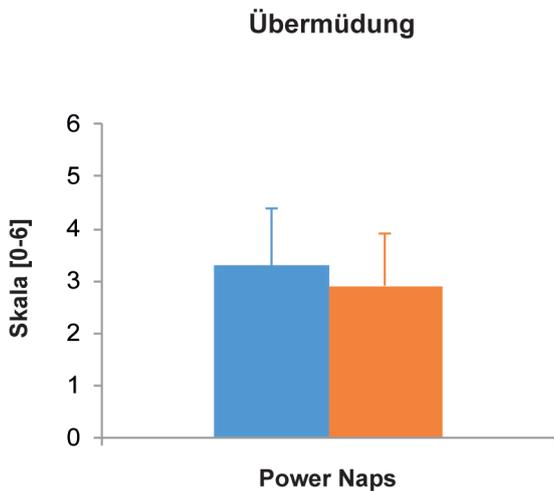


Abb. 22: Gegenüberstellung der EBF-Skala Übermüdung vor und nach der 8-tägigen Power Nap-Intervention im Trainingslager (0 = nie; 6 = immerzu).

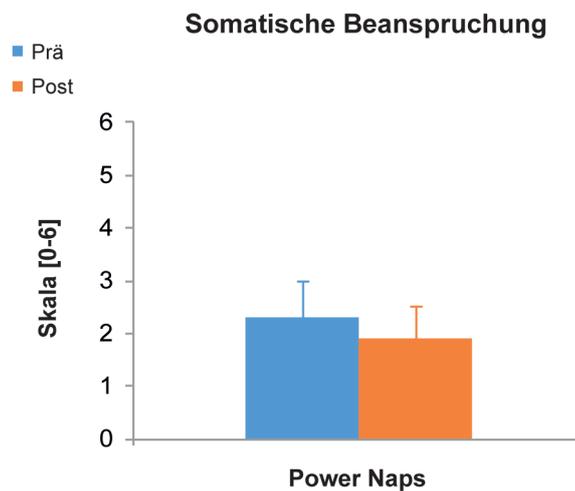


Abb. 23: Gegenüberstellung der EBF-Skala Somatische Beanspruchung der vor und nach der 8-tägigen Power Nap-Intervention im Trainingslager (0 = nie; 6 = immerzu).

## Handlungsempfehlungen für die Praxis

- › Die bisherigen Befunde zeigen eine vielversprechende Wirkung und eine praktische Einsatzmöglichkeit auf und weisen damit auf einen sinnvollen Einsatz von Power Naps im Sport hin.
- › Unsere Erfahrungen deuten darauf hin, dass eine entsprechende Intervention zwischen zwei intensiven Trainingseinheiten am Tag oder sogar zwischen zwei Wettkämpfen (z. B. vormittags und nachmittags) möglich ist.
- › Power Naps können prinzipiell überall durchgeführt werden, wenn die Person einen bequemen und ruhigen Ort für sich findet. Sie lassen sich allein sowie in der Gruppe durchführen, sofern ausreichend Platz und Ruhe gegeben ist. Folglich sollten die organisatorischen Voraussetzungen sowohl an der heimatlichen Trainingsstätte als auch bei externen Trainings- und Wettkampfaufenthalten frühzeitig sichergestellt werden.
- › Es wird empfohlen einen Wecker oder Timer zu stellen, damit eine 30-minütige Schlafphase nicht überschritten wird und um Tiefschlafphasen zu vermeiden. Ferner ist die individuelle Verträglichkeit zunächst unter Trainingsbedingungen zu prüfen, bevor die Schlafintervention unter Wettkampfbedingungen eingesetzt wird.



## 4.10 Psychologische Entspannungsstrategien

4.10



*Foto Vorderseite: Aufzeichnung einer Atemregulation*

### 4.10.1 Anwendungsmethoden

Entspannung ist ein spezifischer körperlicher Prozess, der sich auf einem Kontinuum von „Aktiviertheit – Deaktiviertheit“ bewegt. Standardisierte Entspannungsverfahren, wie z. B. Progressive Muskelentspannung, Hypnose, Autogenes Training, meditative Verfahren, imaginative Verfahren, Atemregulation und Biofeedback, werden im Sport mit kurz- und langfristigen Zielen eingesetzt. Kurzfristig sollen sie in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung störende Gedanken beseitigen, eine möglichst vollständige Konzentration auf die Ausführung des Wettkampfs gewährleisten und ein Abschalten oder Regenerieren in Wettkampfpausen oder bei Verzögerungen ermöglichen (Vaitl, 2014). Gleichzeitig besitzt auch die Aufrechterhaltung der Wettkampfspannung oberste Priorität. Langfristig ausgelegte Ziele sind die systematische Unterstützung der Regeneration nach Training, Wettkampf und Verletzungen, sowie der Einsatz als Grundlage für weitere Selbstregulationsfertigkeiten.

Zusammenfassend beinhalten die Ziele von Entspannungstraining drei Kernpunkte: (1) die Entwicklung von Ausgeglichenheit, (2) die Regenerationsbeschleunigung durch effiziente Zeitzu- und Vermeidung von Überlastung und (3) den Einstieg in das Erlernen von Selbstregulation.

### 4.10.2 Physiologischer Hintergrund

Aus psychophysiologischer Sicht ist das Ziel aller Verfahren die Entspannungsreaktion. Diese

Reaktion kann mit unterschiedlichen Methoden erreicht werden, wobei grundsätzlich ein somatischer und ein kognitiver Ansatz unterschieden wird. Somatische Techniken (z. B. Progressive Muskelrelaxation, Biofeedback, Atemregulation) beinhalten primär das Training der Sensitivität für Muskelspannung, während kognitive Techniken (z. B. Autogenes Training, Hypnose, Meditation) das vegetative Nervensystem ansprechen. Die Entspannungsreaktion kennzeichnen diverse kurzfristige physiologische (Tab. 4) und psychologische Effekte. Zu letzteren zählen unter anderem der Anstieg der Konzentrationsfähigkeit und die Abnahme von nicht aufgabenbezogenem Grübeln (Jain et al., 2007). Werden die Verfahren über längere Zeit hin systematisch erlernt und angewandt, resultieren langfristige Effekte. Diese zeichnen sich durch eine verbesserte Steuerungsfähigkeit der sympatho-adrenergen Erregung und durch Modulation zentralnervöser Prozesse aus. Es muss jedoch beachtet werden, dass bei komplexeren Techniken (z. B. Progressive Muskelrelaxation oder Yoga) eine Lernphase vorausgesetzt wird um tiefgreifende Effekte erzielen zu können. Weiterhin ist das Timing von großer Bedeutung; Beckmann und Elbe (2008) berichten z. B. von negativen Effekten von Progressiver Muskelrelaxation vor Wettkämpfen, da bei zu starker Deaktivierung die notwendige Wettkampfspannung nicht mehr erreicht wird. Alle Verfahren werden in erster Linie von ausgebildeten Expertinnen und Experten angeleitet und mit dem Ziel vermittelt, sie selbstständig anzuwenden.

Tab. 4: Physiologische Kennzeichen einer Entspannungsreaktion

Neuromuskuläre Veränderungen	Kardiovaskuläre Veränderungen	Respiratorische Veränderungen
Abnahme des Muskeltonus der Skelettmuskulatur	Periphere Gefäßerweiterung	Abnahme der Atemfrequenz
Verminderung der Reflexaktivität	Verlangsamung der Herzfrequenz	Gleichmäßigkeit der einzelnen Atemzyklen
	Zunahme der Herzfrequenzvariabilität	Abnahme des Sauerstoffverbrauchs
	Senkung des arteriellen Blutdrucks	

### 4.10.3 Studienlage

Da die Forschung bisher größtenteils im klinisch-psychologischen Kontext durchgeführt wurde, kommen nahezu alle Erklärungsansätze aus diesem Bereich. Befunde im direkten Sportkontext sind demnach rar. Grundsätzlich lässt sich jedoch festhalten, dass Entspannung zwischen Trainingseinheiten eine Beschleunigung des natürlichen Erholungsvorgangs bewirkt und intensivere und erhöhte Trainingsbelastun-

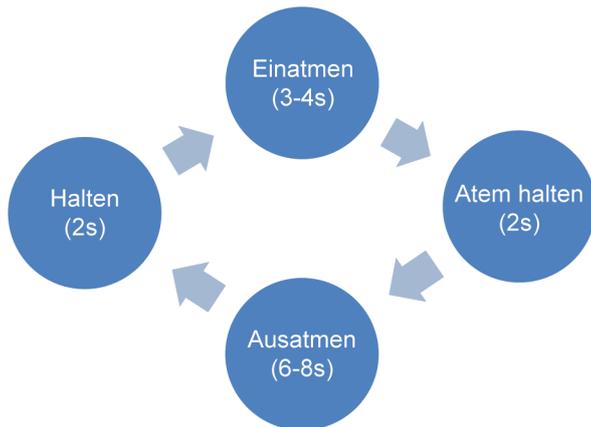


Abb. 24: Variante eines Atemzyklus

gen ermöglicht (Allmer, 1996). Im Verlauf der letzten Jahre haben bisher nur wenige Studien die Anwendung im Sport untersucht und belegt, dass physische Erholung nach Belastungen mit Unterstützung von Entspannungsverfahren im Vergleich zu passiver Erholung größere Erfolge zeigt (u. a. Atemregulation: Kim & Tennant, 1993; Autogenes Training: Gros Lambert et al., 2003; Hypnose: Barker et al., 2010).

### 4.10.4 REGman-Befunde

- › In einer Untersuchung mit Sportstudierenden wurden 2 hochintensive Intervallsprinttests (6 x 4 s) durch verschiedenen Entspannungsverfahren und Erholungsstrategien unterbrochen. Hier zeigte sich nur bei systematischer Atemregulation eine geringfügig leistungssteigernde Wirkung auf die Wiederholungssprintleistung (Abb. 25).

- › Im Einklang mit Beckmann und Elbe (2008) erzielten Progressive Muskelrelaxation und Yoga (Einzelsitzungen) diese Wirkung nicht, unterschieden sich aber auch nicht von passiver Erholung und verursachten keinen Leistungsrückgang (Abb. 25).
- › Die Realisierung der Atemregulation benötigt keinen längeren Übungsvorlauf seitens der Athletinnen und Athleten, wenn sie von einer Fachkraft angeleitet und erklärt wird.
- › Kurze Störungen der Entspannung beeinflussten weder die Erholungspause (Atemregulation) noch die nachfolgende Sprintleistung.
- › Subjektive Bewertungsinstrumente (Kurzskala Erholung & Beanspruchung, strukturiertes Interview) beschreiben Progressive Muskelrelaxation, Yoga und Atemregulation ohne Ausnahme als erholend und unterstützend. Allerdings ergeben sich keine Unterschiede gegenüber der Kontrollbedingung (Abb. 26).

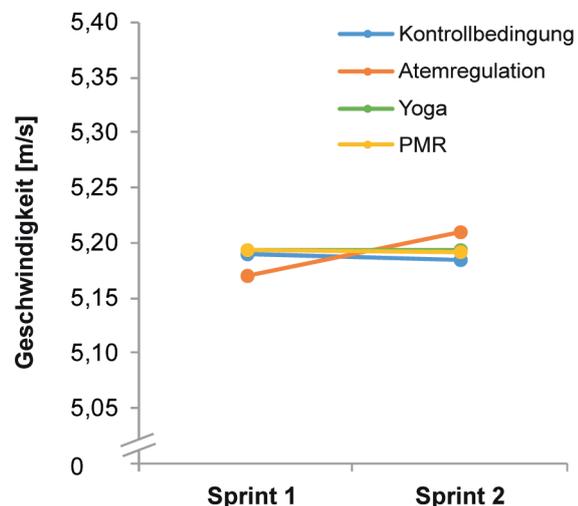


Abb. 25: Leistungsfähigkeit im Intervallsprinttest (durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit) vor (Sprint 1) und nach (Sprint 2) verschiedenen psychologischen Entspannungsinterventionen bzw. einer Kontrollbedingung ohne Intervention.

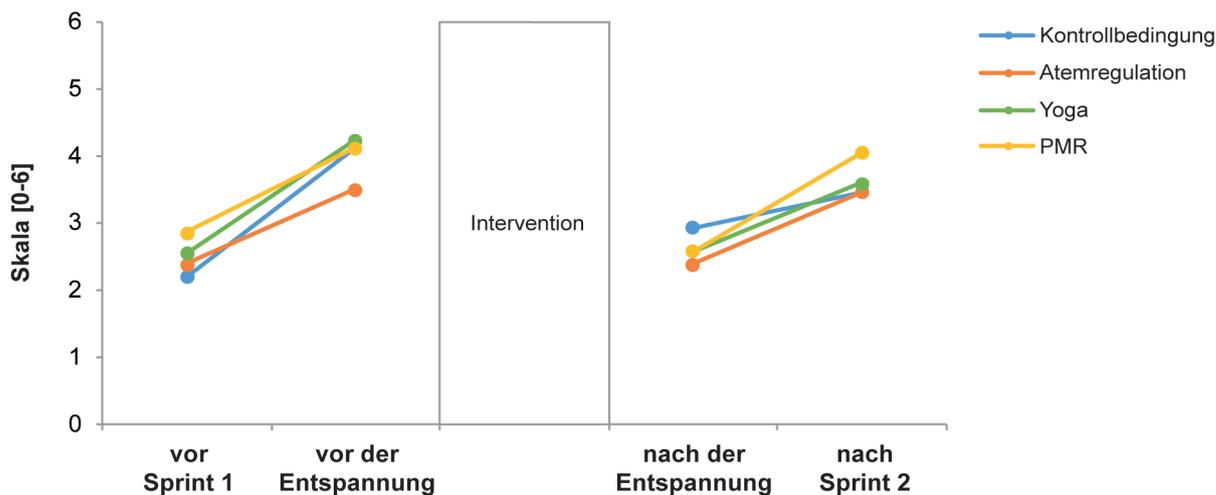


Abb. 26: Allgemeiner Beanspruchungszustand (Kurzsкала Erholung & Beanspruchung).

### Handlungsempfehlungen für die Praxis

- › Die Atemregulation kann immer dann unterstützend wirken, wenn trotz kurzfristiger Entspannung das Aktivierungsniveau aufrechterhalten werden soll, z. B. zwischen Trainings- oder Wettkampfbelastungen.
- › Der Einstieg zur Anwendung von Entspannungsverfahren ist die Anleitung durch eine Fachkraft. Das Ziel ist die eigenständige Ausübung.
- › Schaffen einer räumlichen und zeitlichen Basis für Entspannung, d. h. Abstand zu mobilen elektronischen Geräten, Vermeidung von Ablenkungen und definieren eines festen Zeitraumes.

› Das Austesten von verschiedenen Entspannungsverfahren ist Voraussetzung für die differenzierte Anwendung. Durch die Praxiserfahrung kann individuell entschieden werden, welches Verfahren zu welcher Situation am besten passt (abhängig von Zeit und Ort).

- › Alle Entspannungsverfahren sollten im Training/zu Hause vorbereitet und geübt werden, um eine sichere Ausführung in Stresssituationen zu gewährleisten.



## 4.11 Musik

4.11



*Foto Vorderseite: Musik als beliebte und weit verbreitete Erholungsstrategie, speziell in der Trainings- und Wettkampfpause*

### 4.11.1 Anwendungsmethoden

Musik ist im Sportkontext allgegenwärtig. Ein Blick in Stadien und andere Wettkampfstätten zeigt viele Athletinnen und Athleten vor, während und nach ihren Einsätzen mit Kopfhörern um sich mit der Musik ihrer Wahl einzustimmen oder runterzufahren. In Bezug auf Regeneration wird Musik im Vergleich zu systematischen Entspannungsverfahren häufig als naive Strategie betrachtet, obwohl sie am weitesten verbreitet ist (Terry & Karageorghis, 2011). Darüber hinaus gibt es auch keine Erholungsvariante, die derart auf die individuellen Vorlieben der Person eingeht wie Musik. Die Athletinnen und Athleten scheinen Musik routinemäßig zu nutzen, um ihre Motivation und ihre Leistung zu steigern (Harwood et al., 2011). Zwischen Trainingseinheiten und Wettkämpfen wird Musik meist als stimulierendes oder beruhigendes Mittel eingesetzt um eine optimale Aktivierung zu unterstützen. Die Variationen hinsichtlich Lautstärke, Tempo, Rhythmus, kulturellem Hintergrund und Liedtexten geben dem Feld der Musik im Sport einen breiten Hintergrund und sehr viel Raum für Individualität.

### 4.11.2 Physiologischer Hintergrund

Einige Studien der letzten Jahre zeigen die Wirkung von Musik auf unterschiedliche Parameter wie z. B., eine Abnahme der Sympathikusaktivität und reduzierte Blutlaktatwerte nach Erholungsphasen mit selbst gewählter Musik (Ghavam-Bakhtiar et al., 2012). Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass mit dem Einsatz von entspannender Musik unter anderem eine erhöhte Aufmerksamkeit, eine verbesserte Emotionsregulation, eine erhöhte Arbeitsbereitschaft und -leistung, sowie die Reduktion von Hemmungen einhergehen (Karageorghis & Priest, 2012; Loizou & Karageorghis, 2015). Nach Karageorghis

und Priest (2012) kann Musik des Weiteren als Beruhigungsmittel angesehen werden, wenn es z. B. um die Regulation von Anspannungsniveaus geht. Potentielle physiologische Reaktionen auf rhythmische Komponenten von Musik (z. B. langsame und beruhigende Klänge) sind unter anderem eine Abnahme der Atemfrequenz und der Herzfrequenz. Die physiologischen Prozesse sind die gleichen, die auch Erholung durch Entspannungsverfahren zugrunde liegen. Hintergrundmusik und Entspannung werden beide mit verringerter Herzfrequenz, systolischem Blutdruck und Norepinephrinproduktion assoziiert (Syledra & Bacharach, 1998). Weitere Übereinstimmungen sind die Reduktion von Muskelanspannung und daraus folgend ein gesteigerter Blutfluss. Musik hat daher das Potential Athletinnen und Athleten in der Hinsicht zu beeinflussen, dass Schmerz und Druck kurzfristig vergessen werden (durch aufgabenfokussierte Aufmerksamkeit) und Muskelschmerz und Müdigkeit reduziert werden (Ghavam-Bakhtiar et al., 2013; Karageorghis & Priest, 2012). Hierbei ist es essentiell, dass Musik selbst gewählt und nicht vorgeschrieben wird (Radstaak et al., 2014).

### 4.11.3 Wissenschaftliche Evidenz

Die Studienreihen von Karageorghis und Kollegen im Laufe des letzten Jahrzehnts zeigen den positiven Einfluss von Musik auf die Leistung vor und während des Trainings und der Wettkämpfe (Karageorghis & Priest, 2012), lassen aber die Effekte im Bereich der Regeneration bislang unberührt. Der Einsatz als beruhigendes Mittel im Vorfeld von Training und Wettkampf lässt aber durchaus einige Rückschlüsse zu. Unter anderem wurde gefunden, dass beruhigende Musik (< 100 bpm) Stress und Anspannung reduziert (Ghaderi et al., 1998).



## 4.12 Sonstige Verfahren

4.12



*Foto Vorderseite: LED- und Laserbehandlungen sollen die intramuskuläre Regeneration beschleunigen*

Wegen der Bedeutung einer raschen Regeneration für die Realisation einer hohen sportlichen Leistungsfähigkeit wird der Markt derzeit zunehmend von weiteren Maßnahmen und Technologien mit weitgehend unklarer Evidenz und teilweise metaphysischen Wirkungstheorien überflutet. Akupressur kann beispielsweise als manuelle und praktikable Form der Akupunktur ein Bindeglied zur Sportmassage darstellen. Die Stimulation der entsprechenden Akupressur-Punkte entlang der Körpermeridiane (z. B. Handrücken, Knie, Brust und Kopf) soll gegen Stress helfen und wird als Entspannungstherapie von zahlreichen kommerziellen Wellness-Zentren angeboten.

Im Bereich der regenerationsfördernden Gerätetechnologie werden seit einigen Jahren vakuumbasierte Behandlungsmethoden propagiert. Durch Unterdruckbehandlung soll die Gewebedurchblutung gefördert und der venöse und lymphatische Rücktransport unterstützt werden. Durch geschickte Marketing-Strategien sind entsprechende Geräte bereits im Leistungssportlichen Betreuungssystem im Einsatz. In ähnlicher Weise soll die aus dem klinischen Bereich auf die Regeneration von Athletinnen und Athleten übertragene pneumatische exter-

ne Gegenpulsation (PECP) wirken. Durch die rhythmische EKG-gesteuerte diastolische Kompression der Beinvenen mittels externer pneumatisch wirkender Manschetten soll der venöse Rückstrom unterstützt werden und muskuläre Ermüdungsbeschwerden rascher abklingen. Auch die zunehmende Verfügbarkeit von Vibrations-Trainingsgeräten kann für den Bereich der Regeneration von Interesse sein, obwohl ein wissenschaftlicher Wirksamkeitsnachweis (z. B. für eine niederfrequente Vibrationsintervention) bislang fehlt.

Schließlich werden Geräte zur LED- und Lasertherapie auch mit dem Ziel der Regenerationsverbesserung angepriesen. Die Wirkungsweise soll auf zellulärer Ebene in einer Aktivierung mitochondrialer Stoffwechsellaskaden liegen und im Rahmen der Zellheilung nach Muskeldestruktion beschleunigend wirken.

Da in keinem der beschriebenen Fälle eine überzeugende Evidenz in sportpraktisch relevanten experimentellen Versuchsanordnungen gegeben ist, muss zum jetzigen Zeitpunkt, nicht zuletzt aufgrund des hohen apparativen und finanziellen Aufwandes, von einem Einsatz abgeraten werden.



## 4.13 Fazit

4.13



*Foto Vorderseite: Ski-Ass Lukas Joas, einer der besten Freestyler Deutschlands*

Trotz plausibler Theorien zur Wirksamkeit lassen wissenschaftliche Evidenz und auch die eigens erhobenen REGman-Befunde unter den gegebenen Untersuchungsbedingungen keine klaren Vorteile einzelner Regenerationsverfahren erkennen. Unbestritten ist sicherlich die Bedeutung einer raschen und angemessenen Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr nach körperlicher Belastung. Der Einbau von Ruhetagen bzw. Ruheperioden sowie ein optimiertes Schlafmanagement erscheinen ebenfalls ratsam. Formen der aktiven Erholung, Wärme- oder Kälteapplikationen, Sportmassage, Kompressionskleidung sowie verschiedene geräteunterstützte Verfahren sind trotz vergleichsweise hoher Akzeptanz in der Sportpraxis hinsichtlich ihrer funktionalen Wirksamkeit weiterhin fragwürdig. Dies betrifft insbesondere den häufig fehlenden Nachweis einer frühzeitigeren Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit nach einer intensiven Trainings- oder Wettkampfbelastung, aber auch die physiologischen und psychologischen Kenngrößen zur Objektivierung von Ermüdung und Erholtheit. Prinzipiell ist die Größenordnung aller gemessenen Effekte gering.

Bei genauerer Betrachtung ist jedoch zwischen kurzfristigen aktuellen Effekten (Regeneration in den ersten 30-90 Minuten nach Belastungsende) und nachhaltigen Effekten (Regeneration am Folgetag bzw. an den Folgetagen) zu unterscheiden. Ferner muss der Einfluss von Interventionen auf die Regeneration bzw. auf die Adaptation (im Sinne von langfristigen Trainingsanpassungen) isoliert betrachtet werden. Schließlich sollte eine angemessene Aufwand-Nutzen-Abwägung zur Bedeutung regenerativer Maßnahmen stets nach dem Prinzip der Sportartspezifität und Individualität erfolgen.

### **Kurzfristige Effekte**

Die REGman-Befunde weisen auf eine Vielzahl an kurzfristigen Effekten ausgewählter Regenerationsverfahren hin. Zur raschen Wiederherstellung und zum Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit am Wettkampftag oder zwischen zwei Trainingseinheiten scheinen am ehesten die aktive Erholung und die Sportmassage sowie vereinzelte psychologische Erholungsstrategien und das Power-Napping wirksam zu sein. Kaltwasserimmersion führt hingegen aufgrund der

Absenkung der Muskeltemperatur zu einer akuten Leistungsminderung. Das körperliche Wohlbefinden sowie der Muskelschmerz der Athleten und Athletinnen kann durch zahlreiche Interventionen kurzfristig positiv beeinflusst werden. Folglich sprechen die Befunde grundsätzlich für einen sportart- und belastungsabhängigen Einsatz von regenerationsfördernden Maßnahmen.

### **Nachhaltige Effekte**

Aufgrund der allgemeinen Datenlage müssen jedoch die Erwartungen der Sportpraxis hinsichtlich nachhaltiger Effekte von Regenerationsverfahren zur Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit am Folgetag eher gedämpft werden. Trotz einiger Tendenzen beim Einsatz von KWI und Kompressionskleidung lassen sich im Mittel keine überzeugenden Effekte darstellen. Hierbei ist jedoch methodenkritisch anzumerken, dass der experimentelle Zugang zum Forschungsfeld der Regeneration aufgrund der Vielzahl an möglichen Fragestellungen und Anwendungsbereichen (unterschiedliche Sportarten und deren spezifische Trainings- und Wettkampfstruktur) nicht leicht ist. Ferner ergeben sich bei der konkreten Applikation von Regenerationsverfahren eine unendliche Zahl an Verabreichungsformen (Art, Dauer und Wiederholungshäufigkeit einer Intervention) und Interventionskombinationen. Dies mag auch ein Grund für teilweise divergierende Ergebnisse sein, denn nach wie vor herrscht Unklarheit hinsichtlich möglicher Nebenwirkungen oder Interaktionseffekte zwischen einzelnen Verfahren. Hinsichtlich der Beeinflussung einer langfristigen (kumulierten) Ermüdung (z. B. im Verlauf einer ganzen Saison) durch regenerative Verfahren liegen bislang noch keine Informationen vor.

### **Regeneration versus Adaptation**

Der aktuellen Diskussion, ob der Einsatz von regenerationsfördernden Maßnahmen im langfristigen Trainingsprozess möglicherweise adaptionsmindernd wirkt, kann nach den vorliegenden Befunden wie folgt begegnet werden. Die vergleichsweise geringen oder kaum nachweisbaren nachhaltigen Effekte sprechen gegen einen nennenswerten adaptionsmindernden Einfluss von Regenerationsinterventionen. Dies

konnte zumindest für das hochintensive Ausdauertraining bereits belegt werden. Hinsichtlich eventueller nachteiliger Effekte kontinuierlicher Kälteanwendungen im Krafttraining liegen die REGman-Befunde noch nicht vor. Derzeit existieren demnach keine überzeugenden Anhaltspunkte dafür, dass Athleten ihre gängige Regenerationspraxis zur eventuellen Optimierung der Adaptationswirkung des Trainings verändern sollten.

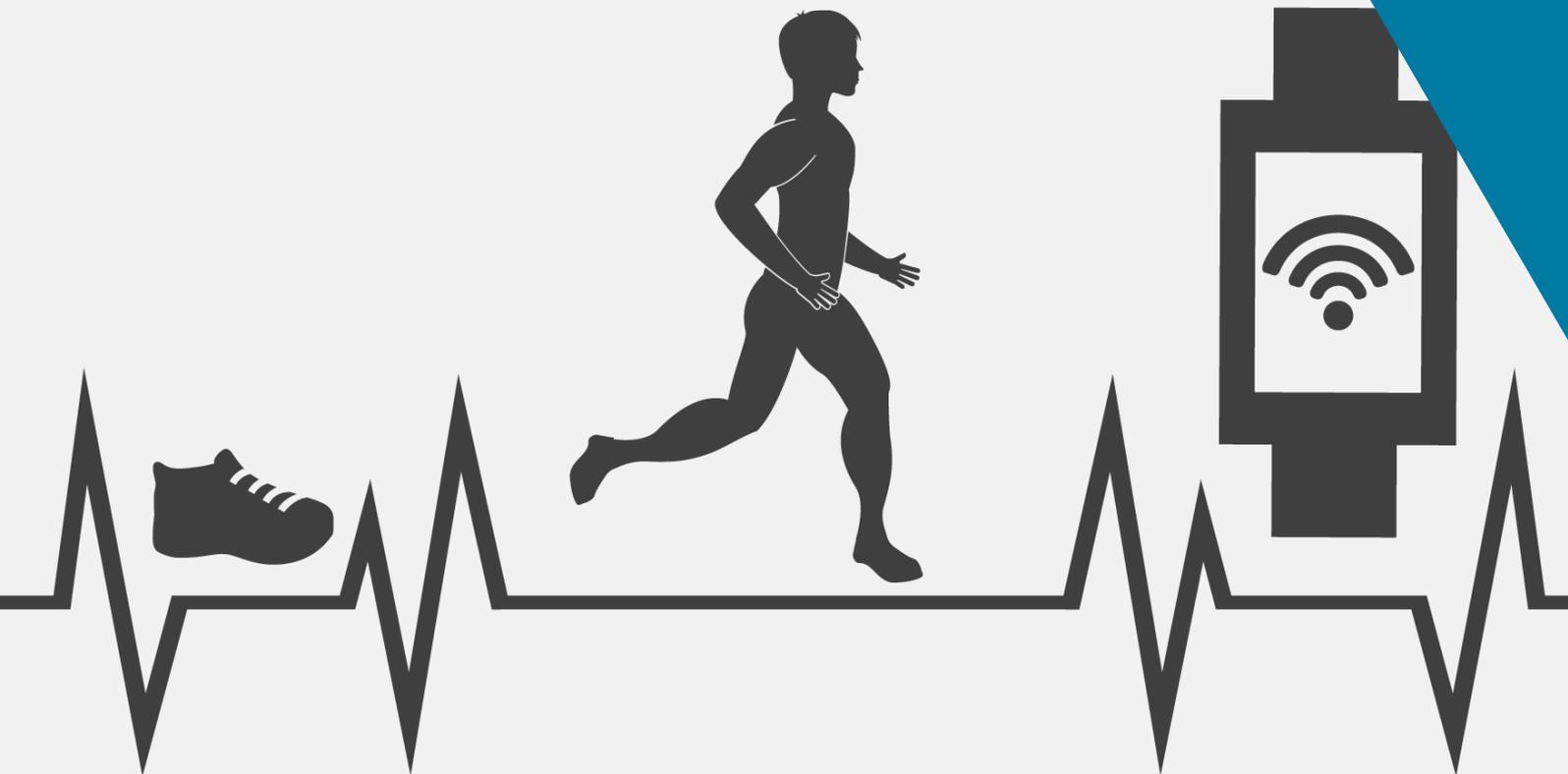
### **Prinzip der Sportartspezifität und Individualität**

Aufgrund der insgesamt im Mittel geringen Evidenz zur Wirksamkeit einzelner regenerationsfördernder Maßnahmen, der individuell unterschiedlichen Belastungs- und Erholungsverläufe sowie der sehr spezifischen Rahmenbedingungen einzelner Sportarten (Belastungsstruktur sowie infrastrukturelle und klimatische Umgebungsbedingungen), kann die Entscheidung für oder gegen eine Regenerationsmaßnahme bzw. eine Maßnahmenkombination nur unter strenger Einhaltung des Prinzips der

Sportartspezifität und Individualität erfolgen. Das Prinzip der Sportartspezifität wird plausibel nachvollziehbar, wenn es beispielsweise um die Frage nach dem Sinn einer KWI für Schwimmer oder eines Saunabads nach einem Tennismatch bei den Australian Open geht (in beiden Fällen kaum effektiv). Darüber hinaus sind individuell bewährte Strategien unbedingt zu erhalten. Das schließt möglicherweise auch die Forderung nach einer Differenzierung der Regenerationsstrategien im Kaderverbund ein. Trotz wechselnder Wettkampfstandorte sollte zudem – soweit möglich – eine Konstanz bei der Interventionsrealisation angestrebt werden. Apparativ aufwendige Verfahren machen demnach nur dann Sinn, wenn diese auch regelmäßig an unterschiedlichen Orten eingesetzt werden können. Eine Ausnahme mag hierbei der Wechsel zwischen extremen klimatischen Bedingungen sein. Jedoch sollten erstmalig eingesetzte Verfahren stets im Vorfeld erprobt und die individuelle Verträglichkeit sichergestellt werden.

# 5 Zukunftsperspektiven

5



☆ Technology ☆

*Foto Vorderseite: Tragbare Messsysteme zur Unterstützung des Regenerationsmanagement  
(Quelle: Bundesinstitut für Sportwissenschaft)*

## 5.1 Wearables im Sport

In den letzten Jahren wurden für fast alle Lebensbereiche zunehmend Systeme mit dem Ziel entwickelt, das menschliche Verhalten über die direkte und kontinuierliche Erfassung personenbezogener Daten zu steuern (Hill, 2015; Roggen et al., 2006). Auch im Anwendungsfeld des Sports, insbesondere im Fitnessbereich, sind tragbare Geräte zur Analyse von Trainingsprozessen weit verbreitet (Seiler & Hüttelmann, 2015). Durch den Einsatz so genannter Wearables können vielfältige Informationen über das realisierte Training bereitgestellt und anschließend zur Ableitung personenbezogener Handlungsempfehlungen genutzt werden. Wearables sind somit sowohl hinsichtlich der Diagnostik regenerationsbedürftiger Zustände als auch der Steuerung von Belastung bzw. Beanspruchung und Erholung (Periodisierung) ein interessantes Thema. Dabei ist die rasante Zunahme von Wearables im Anwendungsfeld des Sports maßgeblich von zwei Entwicklungen geprägt:

- › Bedingt durch den Fortschritt auf dem Gebiet der Messtechnologie ist es zunehmend möglich, sehr kleine Sensoren zu verwenden, mit denen auch unter dem Einfluss von Störgrößen, wie sie im Einsatz unter realen Trainingsbedingungen auftre-

ten, zuverlässig biometrische Daten erfasst werden können.

- › Die Grundlagen- und Anwendungsfor-
- sung zu Effekten körperlicher Aktivität auf verschiedene Funktionssysteme des Organismus hat in den letzten Jahren vielfältige Erkenntnisse bereitgestellt, die grundlegend für die zielgerichtete Auswertung biometrischer Daten sind.

Vor dem Hintergrund des Themas „Regeneration“ wird nachfolgend zunächst ein kurzer Überblick zu den bereits auf dem Markt erhältlichen Wearables gegeben, bevor aktuelle Forschungsarbeiten vorgestellt werden, die das Potential besitzen, zukünftig für das Regenerationsmanagement einen sinnvollen Beitrag leisten zu können.

## 5.2 Verfügbare Systeme

Aktuell werden zur Unterstützung des Trainingsprozesses eine Vielzahl an Wearables mit unterschiedlichen Sensoren und Funktionen angeboten. Je nach Modell und Hersteller werden auf der Basis verschiedener, direkt erfassbarer Vital- und Umweltparameter weitere Beschreibungsgrößen bestimmt (Tab. 5).

Tab. 5: Auswahl der auf dem Markt verfügbaren Wearables, Art der Sensoren, Messgrößen und ausgewählte Parameter

Geräte	Sensoren	Messgrößen	Berechnete Parameter
Herzfrequenzuhren	Beschleunigungsaufnehmer (3D)	Beschleunigung	Bewegungsart/-umfang
Pulsmesser (ohne Brustgurt)	Gyrometer	Herzfrequenz	Energieverbrauch
Kopfhörer	Hautelektroden	Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen (RR-Intervall)	Sauerstoffverbrauch
Elektrokardiograph (EKG)	Optische Sensoren (z. B. LED)	Sauerstoffsättigung	Nachbelastungssauerstoffverbrauch (EPOC)
T-Shirt, Bustier	Thermometer	Hauttemperatur	Herzfrequenzvariabilität (HRV)
Socken	Hautwiderstandsmesser	Weg	
	GPS	Zeit	

Hinsichtlich der primären Zielstellung lassen sich im Wesentlichen zwei Anwendungsbereiche voneinander abgrenzen.

*Trainingsauswertung:* So genannte Activity-Tracker oder Fitness-Tracker können genutzt werden, um das Ausmaß der körperlichen Aktivität zu bestimmen. Dabei werden überwiegend Beschleunigungsaufnehmer verwendet, um anhand der Messdaten verschiedene Kenngrößen des Bewegungs- (z. B. Anzahl der Schritte, aktive Minuten usw.) und Schlafverhaltens sowie den Kalorienverbrauch zu bestimmen. Durch eine Integration weiterer Sensoren lassen sich mit komplexeren Systemen zusätzlich Vitalparameter (Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung) recht zuverlässig messen und auswerten.

*Trainingssteuerung:* Verschiedene Systeme bieten neben einer differenzierten Auswertung von Trainingseinheiten zusätzlich die Möglichkeit, basierend auf den biometrischen Daten individuelle Empfehlungen für das zukünftige Training bereitzustellen. Hierfür werden anhand der Herzfrequenz, der Herzfrequenzvariabilität (HRV) und der Bewegungsart verschiedene Trainingskenngrößen berechnet, die unter Berücksichtigung des bisherigen Trainings (Trainingshistorie) die Bestimmung des körperlichen Leistungs- oder Erholungszustandes herangezogen werden. Der Einsatzbereich liegt vorwiegend im Ausdauer- und Krafttraining z. T. mit einer direkten Ausrichtung auf den Lauf- und Radsport.

Seitens der Hersteller wird für beide Anwendungsbereiche für die Zielgruppe auf ein breites Spektrum verwiesen, welches vom Fitnesssportler bis zum Leistungs- oder Spitzensportler reicht. Für das Regenerationsmanagement sind vor allem solche Systeme interessant, mit denen sich der aktuelle Erholungszustand bestimmen lässt und die darüber hinaus Handlungsempfehlungen für die zukünftige Belastungssteuerung anbieten. Die derzeit erhältlichen Modelle nutzen hierfür die Herzfrequenz, die Herzfrequenzvariabilität (HRV) und Trainingskenngrößen wie Dauer (Umfang), Intensität (Geschwindigkeit, Leistung) und Bewegungsart. Vor allem bei der HRV bestehen jedoch bedingt durch die verschiedenen messtechnischen Verfahren zur Bestimmung der zeitlichen Dauer von Herzschlag zu Herzschlag (RR-Intervalle) erhebliche Unter-

schiede hinsichtlich der Datenqualität. Während die Erfassung der RR-Intervalle mittels Hautelektroden (Brustgurt, Einkanal-EKG) zuverlässige Daten liefert, gelingt deren Bestimmung mit einem optischen Sensor über eine photoelektrische Registrierung der Volumenpulsationen (Photoplethysmographie) bislang nur unzureichend (Schäfer & Vagedes, 2013). Dies führt bei der anschließenden Berechnung von HRV-Parametern zu deutlichen Abweichungen gegenüber Werten aus einer EKG-Messung.

Neben der HRV werden für die Bestimmung des Erholungszustandes weitere Größen (u. a. max. Herzfrequenz,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}O_{2max}$ , EPOC, Energieverbrauch) herangezogen, welche je nach Hersteller zusätzlich mit den Personenangaben (u. a. Alter, Geschlecht, Körperhöhe/-gewicht, Trainingspensum, Leistungsklasse) erhoben oder vom System auf der Basis sehr unterschiedlicher (und teilweise fraglicher) Algorithmen berechnet werden. Während zur Validität der berechneten Basisparameter verschiedene Untersuchungen existieren (u. a. zur Sauerstoffaufnahme, Smolander et al., 2008), steht eine derartige wissenschaftliche Prüfung für den Erholungsstatus und die hieraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen (Trainingssteuerung) noch aus. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Hersteller die einzelnen Berechnungsalgorithmen nur bedingt offenlegen.

## 5.3 Technologische Entwicklungen

Der Entwicklungsfortschritt auf dem Gebiet der Sensortechnologie (z. B. Entwicklung biochemischer Sensoren) und der Datenverarbeitung wird stetig dazu beitragen, dass wir zukünftig Trainingsprozesse immer besser erfassen und steuern können. Aktuelle Forschungsaktivitäten im Anwendungsfeld Sport selbst sowie in Lebensbereichen, von denen ein innovativer Transfer in den Sport bereits erkennbar ist, wie beispielsweise der Patientenüberwachung (vgl. u. a. Samson, 2015), liegen auf verschiedenen Technologiefeldern. Während bei der Bekleidung die Integration von Messsensoren (EKG, EMG) bereits weit voran geschritten ist, befindet sich die Forschung im Bereich der biochemischen Sensoren noch am Anfang. Bei-

spielsweise wurden im Rahmen des britischen Elite Sport Performance Research in Training Programms (ESPRIT) Biosensoren zur Bestimmung von Sauerstoff, Glukose und Laktat sowie zur Schweißanalyse entwickelt, die sich subkutan implementieren lassen (Armstrong-Smith, 2014). Ein weiterer Ansatz besteht in der Anbringung von Sensoren direkt auf der Haut (Tattoos, Biostamp), womit es zukünftig möglich sein soll, eine Vielzahl an Vitalparametern online zu erfassen. Erste erfolgversprechende Ansätze bestehen beispielsweise bei der Bestimmung des Laktatwertes über den Schweiß. Für den Einsatz im Sport entwickelten Forscher einen Mundschutz mit dem Ziel, während körperlicher Belastungen verschiedene Metaboliten und Biomarker über den Speichel bestimmen zu können (Armstrong-Smith, 2014). Erfolgreich getestet wurde das Konzept bisher am Beispiel des Laktats.

Zusammenfassend bleibt zu konstatieren, dass auf dem Gebiet der Erfassung biometrischer Daten mittels tragbarer Systeme und der darauf aufsetzenden datenbasierten Verhaltenssteuerung weltweit ein reges Forschungsinteresse und wirtschaftliches Interesse besteht. Dies ist zum einen von permanenten Neuentwicklungen vor allem auf dem Gebiet der Biosensoren gekennzeichnet. Zum anderen werden bereits etablierte Systeme kontinuierlich weiterentwickelt. So wurde 2015 ein neuer optischer Sensor vorgestellt, der in Kombination mit einem dreidimensionalen Beschleunigungsaufnehmer in der Lage ist, bewegungsinduzierte Artefakte herauszufiltern. Hierdurch ließen sich beispielsweise die Probleme bei der HRV-Bestimmung mittels einer am Handgelenk getragenen Pulsuhr verringern.

Eine ähnlich rasante technologische Entwicklung von Wearables, wie sie hier für den Bereich der Vitalparameterbestimmung beschrieben wurde, ist auf dem Sektor der Erfassung biomechanische Daten zu beobachten. Im Zusammenhang mit Fragen der Regeneration könnten kinematische und dynamometrische Daten zukünftig dazu beitragen, Ermüdungszustände frühzeitig anhand einer veränderten Bewegungsqualität zu identifizieren.

## 5.4 Ausblick: Regenerationsmanagement und Wearables

Durch den Einsatz von Wearables wird es zukünftig möglich sein, ein breites Spektrum an biometrischen Parametern sowohl in Ruhe als auch während körperlicher Beanspruchung online zu erfassen und zeitnah auswerten zu können. Damit stehen vielfältige Informationen über die Bewegung (u.a. Art, Ausführung), die verschiedenen Belastungsgrößen (u. a. Dauer, Intensität, Methode) sowie den Zustand einzelner Körper- und Funktionssysteme permanent zur Verfügung. Um die umfassenden Daten im Rahmen des Regenerationsmanagements nutzen zu können, besteht zukünftig die besondere Herausforderung für die Wissenschaft darin, hinreichend fundierte Erkenntnisse sowohl zur Diagnostik von Erholtheit bzw. Ermüdung als auch zu den Effekten regenerativer Maßnahmen bereitzustellen. Nur so wird es gelingen Verfahren zu entwickeln, mit denen sich aus dem umfassenden Datenmaterial die relevanten Informationen herausfiltern lassen. Neben der Unterscheidung von bedeutsamen und weniger bedeutsamen Daten bzw. Informationen schließt dies die automatische Erkennung von fehlerhaften Daten (Artefakte) ein. Gleichzeitig sind für die Datenerfassung und -auswertung allgemein verbindliche Standards zu formulieren (Byrom, 2014).

Im Rahmen des REGman-Projekts werden mit der Entwicklung einer internetbasierten Plattform im Modul 3 (Transfermaßnahmen) erste Schritte in Richtung einer wissenschaftlichen Unterstützung des individuellen Regenerationsmanagements gemacht. Ziel ist es, basierend auf den empirischen Befunden der ersten beiden Projektstufen ein adressatengerechtes Auswertungssystem für die individuelle Steuerung von Belastung und Erholung zu entwickeln, wobei der Einfluss regenerativer Maßnahmen berücksichtigt wird (Abb. 27).

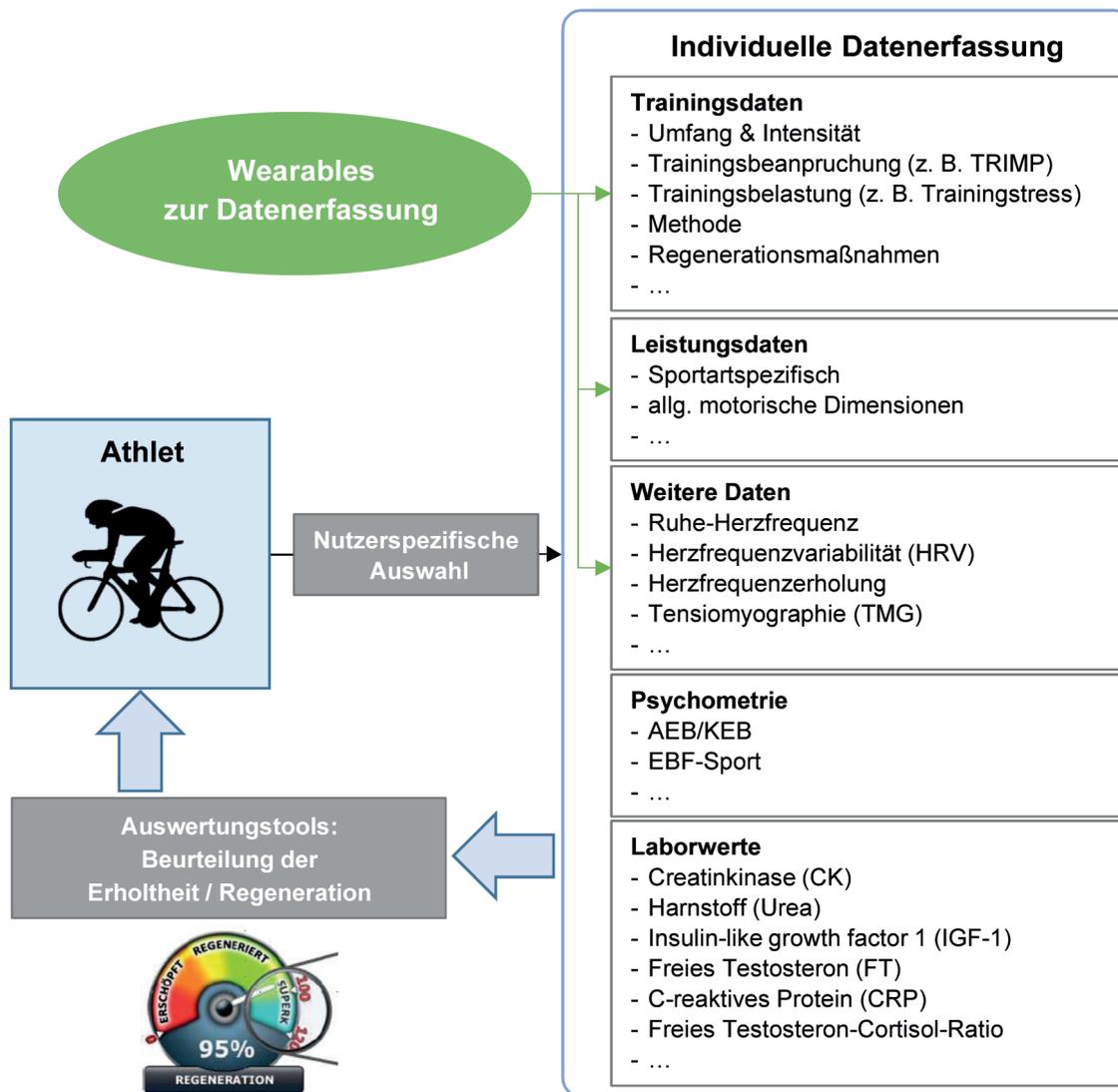


Abb. 27: Struktur der internetbasierten Plattform zur Unterstützung des individuellen Regenerationsmanagements als Teil des REGman-Projekts

Die bisherigen Erfahrungen im REGman-Projekt haben gezeigt, dass für eine breite Akzeptanz der Plattform bei der Sportpraxis neben einer Orientierung an der sportartspezifischen Belastungsstruktur z. B. bei der Auswahl der Indikatoren (Diagnostikinventar), im Einzelfall weitere Bedürfnisse und Besonderheiten berücksichtigt werden müssen. Diese können zwischen den Sportartengruppen oder aber auch zwischen verschiedenen Trainingsgruppen oder Athletinnen und Athleten innerhalb einer Sportart sehr unterschiedlich sein. Um diesem Umstand gerecht zu werden, soll das System möglichst offen und flexibel konzipiert werden. Die Idee ist, dass über verschiedene Auswahlmenüs die einzugebenden bzw. zu erfassenden Trainings-

und Leistungsdaten sowie weitere diagnostische Parameter individuell festgelegt werden können (Abb. 27). Die zeitlichen Verläufe bestimmter Parameter bilden dann die Grundlage zur Beurteilung des individuellen Ermüdungszustandes, einer der zentralen Größe im Regenerationsmanagement. Zur Umsetzung werden aktuell zwei Ansätze verfolgt. Während die Entwicklung eines Verfahrens zur Normwertindividualisierung in Anlehnung an das Verfahren im „Athlete Biological Passport“ auf die Analyse von Einzelparametern ausgerichtet ist, basiert die Klassifikation von individualtypischen Mustern verschiedener Ermüdungslevels auf der Relation mehrerer Parameter zueinander (vgl. Kapitel 4.5).

## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für die Praxis

6



*Foto Vorderseite: Der Bundestrainer der Deutschen Volleyball Nationalmannschaft Vital Heynen zusammen mit der REGman Forschergruppe bei einer Interventionsstudie*

Die Spitzenverbände des deutschen Sports und ihr Dachverband, der Deutsche Olympische Sportbund (DOSB) vermissen ausreichend wissenschaftlich fundierte Empfehlungen zum Regenerationsmanagement im Spitzensport. Dieser Bedarfslage widmet sich das Verbundprojekt **„Optimierung von Training und Wettkampf: Regenerationsmanagement im Spitzensport“** (REGman) unter Förderung durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) im Zeitraum von Oktober 2012 bis Ende 2016. Die zwei zentralen Ziele von REGman sind: (1.) ein Diagnostikinventar zur Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf differenziert nach belastungsspezifischen Gegebenheiten zu entwickeln (drei vorbereitende Studien und drei Hauptuntersuchungen in Modul H1) und (2.) im Leistungssport praktizierte Regenerationsstrategien auf ihre Wirksamkeit insbesondere für die Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit zu überprüfen (12 Interventionsstudien, eine Metaanalyse und begleitende Feldstudien in Modul H2).

Weitere Informationen zur Projektstruktur und den Untersuchungsmodulen sowie die wichtigsten REGman-Befunde sind den Kapiteln 1 bis 5 der Broschüre zu entnehmen. Der wissenschaftliche Transfer dieser Ergebnisse mit allen untersuchungsmethodischen und statistischen Details erfolgt in über 30 nationalen und internationalen REGman-Publikationen, deren aktueller Stand im Literaturverzeichnis der Broschüre aufgeführt ist (siehe auch [www.regman.org](http://www.regman.org)). Aus den REGman-Befunden und der Studienlage zur Thematik sowie aus zahlreichen Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern der Sportpraxis lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt die nachfolgenden Schlussfolgerungen für die Sportpraxis ableiten:

## Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf

Die bisherigen REGman-Befunde verdeutlichen, dass die in Tab. 6 genannten Parameter bei identischer Belastungsgestaltung geeignete Indikatoren für das Regenerationsmanagement darstellen können, zwischen den untersuch-

ten Athletinnen und Athleten jedoch zum Teil erheblich streuen. Aus diesem Grund sollten bevorzugt Aussagen anhand der individuellen Verläufe getroffen werden. Dafür ist es zu empfehlen, Parameter aus unterschiedlichen Ermüdungsebenen (vgl. Kap. 2) einzubeziehen. Außerdem sind engmaschige Messungen über mehrere Wochen anzuraten, um individuelle Normbereiche und individualtypische Abweichungen zu erfassen. In dieser Zeit sind aussagekräftige Interpretationen noch nicht möglich. Schließlich sollten trainingspraktische Ableitungen vor dem Hintergrund der aktuellen und vorausgegangenen Trainingsbelastungen sowie der jeweiligen Trainingsziele und Trainingsbedingungen (Rahmenbedingungen wie Klima) getroffen werden.

Es ist darauf zu achten, dass je nach gewähltem Diagnostikverfahren bekannte Einflussgrößen standardisiert und mögliche Störgrößen ausgeschaltet bzw. so gering wie möglich gehalten werden. Dies betrifft die unmittelbare körperliche Vorbelastung, die Ernährung, Koffeinkonsum, Temperatur und Uhrzeit. Bei psychometrischen Erhebungsverfahren wie dem AEB/KEB (vgl. Kap. 3.3) gilt es die „emotionale Gesamtlage“ im Blick zu haben, was die Berücksichtigung nicht belastungsinduzierter Einflüsse einschließt (z. B. Athlet-Trainer-Verhältnis, soziales Klima innerhalb der Trainingsgruppe, Beziehungsgefüge außerhalb des Leistungssports). Tab. 6 gibt einen zusammenfassenden Überblick zu den in REGman untersuchten diagnostischen Verfahren und Messwerten, die den Ergebnissen zufolge unterstützend zur Einschätzung des Regenerationsbedarfs in den drei Belastungsformen verwendet werden können.

Tab. 6: Diagnostische Verfahren zur Messung des Regenerationsbedarfs in Abhängigkeit von der Belastungsform.

		Belastungsform		
		Ausdauer	Kraft	Intervallartig
Diagnostische Verfahren	Motorische Tests	submaximale Tests für Rad-sportler (z. B. LSCT) oder Läufer (z. B. YoYo-Tests)	Maximalkraft gemessen über 1RM oder isometrisch (MVIC)	je nach Beanspruchungsprofil der Sportart CMJ, Multiple Rebound Jump; Kurzsprints
	Laborwerte	Harnstoff, Insulin-like growth factor 1 (IGF-1), freies Testosteron, Quotient aus freiem Testosteron und Cortisol		
		Creatinkinase (CK), C-reaktives Protein (CRP)		
	Psychometrie	AEB und KEB für ein engmaschiges Monitoring; ggf. weitere psychometrische Verfahren (z. B. DOMS-Skala)		
	Weitere Verfahren	Ruhe-HF, HRV (rMSSD)		
		Tensiomyographie (TMG) (z. B. Parameter Dm und Tc)		

## Regenerationsfördernde Maßnahmen

Die erhobenen REGman-Befunde stimmen mit der übrigen wissenschaftlichen Datenlage dergestalt überein, dass die Wirksamkeit der in der Praxis gängigen Regenerationsverfahren (mit Ausnahme der Ernährung, die im Projekt nicht thematisiert wird) zur Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit nicht überzeugend nachweisbar ist.

Diese grundsätzliche Schlussfolgerung bedarf jedoch hinsichtlich ihrer Konsequenzen für die Sportpraxis einer differenzierteren Betrachtung. So ist die am besten geeignete Regenerationsstrategie nicht nur abhängig von der sportart- bzw. disziplinspezifischen Trainings- und Wettkampfstruktur und den jeweiligen klimatischen, materiellen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen, sondern ebenfalls von dem Zeitfenster, in dem die Wiederherstellungsprozesse ablaufen sollen. Es muss beispielsweise zwischen der kurzfristigen Wiederherstellung bei Mehrfachbelastungen am Tag (z. B. mehrere Rennen oder Spiele im Wettkampf bzw. zwei oder drei Trainingseinheiten am Tag) und der längerfristigen Regeneration zur Wiederherstellung der Leistung am Folgetag bzw. an den Folgetagen in einer intensiven Trainingsphase oder

während eines länger andauernden Turniers unterschieden werden. Bei diesen trainingsprozessbegleitenden Regenerationsmaßnahmen steht im Vordergrund, die Leistungsfähigkeit rasch wiederherzustellen, die Wirkung nachfolgender Trainingsmaßnahmen zu optimieren, Übertrainingszustände zu vermeiden und das Verletzungsrisiko zu reduzieren.

### Allgemeine Empfehlungen:

- Die Bedeutung einer raschen und angemessenen Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr nach körperlicher Belastung ist unbestritten. Hierbei steht die Aufnahme von Kohlenhydraten in Kombination mit einer angemessenen Proteinzufuhr im Vordergrund. Die Bedeutung der Kohlenhydratzufuhr steigt verständlicherweise in Sportarten mit hohem gesamt kalorischem Umsatz und hohem Kohlenhydratverbrauch an. Der Konsum von Nahrungsergänzungsmitteln ist nach gängiger Sichtweise nur dann in Erwägung zu ziehen, wenn logistische Probleme bei der Bereitstellung einer ausgewogenen und mindestens isokalorischen Ernährung bestehen.

- ▶ Bei der Festlegung weiterer Regenerationsverfahren sind die individuellen Bedürfnisse der Athletinnen und Athleten unbedingt zu berücksichtigen. Keine der untersuchten Interventionen verursachte am Folgetag nennenswerte Leistungsverluste, so dass die Auswahl weitgehend der Vorliebe des Aktiven angepasst werden kann. Nur in speziellen Ermüdungssituationen und insbesondere, wenn Mikroschädigungen der Muskulatur, Muskelschmerzen und nachfolgende Entzündungsreaktionen zu befürchten sind, kann zur Kälteapplikation geraten werden.
- ▶ Im Einzelfall muss beim Einsatz bestimmter Verfahren unbedingt zwischen „Responder“ und „Non-Responder“ oder zumindest zwischen „Low-“ und „High-Responder“ unterschieden und auch die individuelle Toleranz bzw. Verträglichkeit einer Maßnahme berücksichtigt werden. Für die Identifikation dieser Athletenspezifika bleibt zum jetzigen Zeitpunkt nur die Möglichkeit, während längerfristiger Applikation unter Trainingsbedingungen Erfahrungen zu sammeln.
- ▶ Grundsätzlich sind alle erstmalig beim eingesetzten Regenerationsinterventionen zunächst unter Trainingsbedingungen auf ihre individuellen Reaktionen und auf mögliche Nebenwirkungen zu prüfen, bevor sie unter offiziellen Wettkampfbedingungen eingesetzt werden. Von neuartigen und zum Teil geräteunterstützten Technologien (z. B. LED- oder PECP-Anwendungen), die mit eindeutig ökonomischem Interesse propagiert werden, ist aufgrund der insgesamt geringen Effektivität abzuraten.
- ▶ Bei der Festlegung von Regenerationsinterventionen ist auch eine mögliche Placebowirkung in die Vorüberlegungen einzubeziehen. Interventionen, die vom Trainierenden als wirksam empfunden werden und aus voller Überzeugung und mit Engagement eingesetzt werden, sind zu fördern. Im umgekehrten Fall können wir im Rahmen unserer Studien nicht ausschließen, dass die strikte Vorgabe einer Intervention zu einer negativen Beeinträchtigung der Athletencompliance (bzw. zu einer ungünstigen Wahrnehmung) geführt hat.
- ▶ Insbesondere unter Wettkampfbedingungen sollten individuelle Regenerationsroutinen vereinbart werden. Das schließt möglicherweise auch die Forderung nach einer Differenzierung der Regenerationsstrategien im Kaderverbund ein. Ein wichtiges Orientierungskriterium für die Zusammenstellung dieser Routinen ist neben den individuellen Bedürfnissen auch die regelmäßige Verfügbarkeit der Maßnahmen an allen Wettkampfstätten. Eine Ausnahme mag hierbei der Wechsel zwischen extremen klimatischen Bedingungen sein (z. B. anlässlich der Olympischen Spiele 2016 in Brasilien).
- ▶ Regenerationsroutinen können auch aus einer Kombination mehrerer Regenerationsverfahren bestehen. In den Sportsportarten existieren beliebte Kombinationsmuster wie beispielsweise 1. Auslaufen, 2. Flüssigkeitszufuhr, 3. Nachdehnen, 4. Duschbad, 5. Eisbad, 6. Massage und 7. Nahrungszufuhr. Erste REGman-Befunde weisen darauf hin, dass auch die Kombination mehrerer Verfahren die regenerative Wirksamkeit im Mittel nicht steigert. Inwieweit die Anwendungsdauer bzw. deren Wiederholungshäufigkeit (beispielsweise Mehrfachmassage) die Wirkungsweise beeinflussen mag, kann bislang nicht beantwortet werden.
- ▶ Vor dem Hintergrund der bisherigen Befunde und gemäß den Rückmeldungen der Studienteilnehmenden sollte von einer exzessiven vorgegebenen Regenerationsroutine unbedingt abgeraten werden. Eine zeitlich unangemessene Ausdehnung (z. B. über 60 min) raubt den Gestaltungsraum individuell-naiver Erholungsstrategien (z. B. Fernsehen, Internet oder einfach nur „Chillen“), deren Bedeutung nach unseren Rückmeldungen relativ hoch einzuschätzen ist. Auch der rasche Rückzug in eine

angenehm klimatisierte Umgebung mag vorteilhaft sein gegenüber einer Regenerationsintervention in unangenehmem Umfeld.

- Die am besten geeignete Regenerationsstrategie ist abhängig von den sportart- bzw. disziplinspezifischen Besonderheiten. Beispielsweise ist im Straßenradsport jede Form der Kaltwasserimmersion der Beine im Anschluss an belastende Ausfahrten in den Wintermonaten aufgrund

partieller Auskühlungen (vor allem der Füße) problematisch, selbst wenn dies aus wissenschaftlicher Sicht denkbar wäre. Das Prinzip der Sportartspezifität ist in gleicher Weise bei der Diskussion über eine Kaltwasserimmersion für Schwimmer, über den Einsatz eines Saunabads nach einem Tennismatch bei den Australian Open und entsprechend in den Wintersportarten und in vielen anderen Settings anzuwenden.

#### Kurzfristige Erholungseffekte:

- Kurzfristige Erholungseffekte konnten am ehesten durch die Sportmassage, die aktive Erholung (nicht in allen Sportarten wie zum Beispiel beim Gewichtheben) sowie durch vereinzelte psychologische Erholungsstrategien und das Power-Napping nachgewiesen werden. Auch die Kaltwasserimmersion führte teilweise zu Verbesserungen des subjektiven Befindens. Achtung: Sämtliche positiven oder negativen kurzfristigen Effekte sind am Folgetag nicht mehr nachweisbar!
- Grundsätzlich rechtfertigen kurzfristige Erholungseffekte den dazu erforderlichen Aufwand auch dann, wenn keine weitere Trainings- oder Wettkampfbelastung am Tag erfolgt und daraus keine nachhaltige Leistungssteigerung am Folgetag resultiert. Dies ist unter anderem auch eine wichtige Rechtfertigung für den vielfach erwünschten Einsatz von Massage. Das gute Körpergefühl von Athletinnen und Athleten „nach getaner Arbeit“ kann sogar als ein wesentliches Regenerationsziel jenseits der messbaren Effekte angesehen werden. Es liefert die Voraussetzung für Vorfreude und Selbstvertrauen im Hinblick auf die Herausforderungen des Folgetages und für einen erholsamen Schlaf.
- Für die kurzfristige Wiederherstellung bzw. den Erhalt der Leistungsfähigkeit bei Mehrfachbelastungen am Tag scheinen

am ehesten die aktive Erholung und die Sportmassage sowie vereinzelte psychologische Erholungsstrategien und das Power-Napping wirksam zu sein. Kaltwasserimmersion führt hingegen aufgrund der Absenkung der Muskeltemperatur zu einer akuten Leistungsminderung.

- Die aktive Erholung sollte grundsätzlich sehr moderat sein und eine Dauer von 5-10 min nicht überschreiten. Auf diese Weise bleibt die Funktionsfähigkeit der Arbeitsmuskulatur erhalten; es ist jedoch unklar, ob dieser Effekt nachhaltig ist und bis zur wiederholten Belastung andauert. Einfache Bewegungsmuster (z. B. Laufen oder Fahrradfahren) sind komplexen Programmen vorzuziehen, da die Athletinnen und Athleten in dieser Phase wenig Bereitschaft zeigen, sich auf weitere auch kognitive Anforderungen einzustellen. Der Einsatz eines sportartspezifisch auf die Arbeitsmuskulatur und die motorischen Anforderungen der Sportart ausgerichteten Cool-Down Programms für die Volleyball-Nationalmannschaft wurde von den Spielern weitgehend abgelehnt. Dies zeigt auch, dass in vielen Sportarten nur schwer eine Änderung tradierter Vorgehensweisen zu realisieren ist und die geringe Effektstärke der Befunde eine solche Änderung auch nicht zwingend einfordert. Im Kraftsport und insbesondere in hohen Gewichtsklassen ist von einer aktiven Erholung eher abzusehen.

- › Power-Napping besitzt nach den bisherigen Befunden eine vielversprechende Wirkung und eine praktikable Einsatzmöglichkeit in vielen Sportarten und ist zwischen zwei intensiven Trainingseinheiten am Tag oder sogar zwischen zwei Wettkämpfen (z. B. vormittags und nachmittags) möglich. Dies wird durch

individuelle Erfahrungsberichte untermauert. Allerdings sollte eine 30-minütige Schlafphase nicht überschritten werden, um Tiefschlafphasen zu vermeiden und das Aktivierungsniveau nicht zu stark zu senken. Ferner ist auch hier die individuelle Verträglichkeit zunächst unter Trainingsbedingungen zu prüfen.

#### Regeneration zur Wiederherstellung der Leistung am Folgetag:

- › Nachhaltige Effekte klassischer Regenerationsverfahren zur Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit am Folgetag sind gering. Trotz einiger Tendenzen beim Einsatz von KWI und Kompressionskleidung lassen sich im Mittel keine überzeugenden Effekte darstellen. Hierbei ist jedoch methodenkritisch anzumerken, dass der experimentelle Zugang zum Forschungsfeld der Regeneration aufgrund der Vielzahl an möglichen Fragestellungen und Anwendungsbereichen (unterschiedliche Sportarten und deren spezifische Trainings- und Wettkampfstruktur) nicht leicht ist.
- › Ausreichender und ungestörter Schlaf scheint eine wichtige Grundvoraussetzung, fast auf der Bedeutungsebene der Ernährung, zu sein. Anders als die Ernährung lässt sich die Schlafqualität von Athletinnen und Athleten jedoch nur schwer durch die Trainerschaft oder anderes Betreuungspersonal beeinflussen. Insofern sollten zumindest die externen Rahmenbedingungen im Sinne eines optimierten Schlafmanagements sichergestellt werden (z. B. Planung von Reisezeiten, Unterkünften und Tagesabläufen).
- › Wärme- oder Kälteapplikationen, Sportmassage und Kompressionskleidung

sowie alle weiteren Verfahren sind unter den oben aufgelisteten allgemeinen Empfehlungen möglich, jedoch gemäß unserer Befunde und Erfahrungen nicht grundsätzlich in allen Sportartensettings zwingend zur Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit am Folgetag erforderlich. Hinsichtlich der konkreten Anwendungsmethoden (z. B. Wassertemperatur und Kompressionsdruck) sei auf die konkreten praktischen Empfehlungen zu jeder Intervention in Kapitel 4 verwiesen. Die Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme kann im Zweifelsfall nach den potenziellen Wirkungsebenen ausgewählter Regenerationsverfahren getroffen werden (Kap. 4, Tab. 3).

- › Der Einsatz von regenerationsfördernden Maßnahmen wirkt im langfristigen Trainingsprozess nach unseren bisherigen Befunden zum hochintensiven Ausdauertraining nicht adaptionsmindernd, obwohl dies in der Literatur derzeit diskutiert wird (möglicherweise aufgrund der geringen Effektstärke der Interventionen). Folglich kann die bewährte Regenerationsroutine von Athletinnen und Athleten auch im langfristigen Trainingsprozess unverändert aufrechterhalten bleiben, ohne die Trainingswirkung zu gefährden.



# Literatur

## Kapitel 3 „Messung von Erholtheit, Ermüdung und Regenerationsbedarf“

### Einfache motorische Tests

#### Sprung-, Sprint-, Krafttests

- Ament, W. & Verkerke, G. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39 (5), 389-422.
- Ball, N.B. & Zanetti, S. (2012). Relationship between reactive strength variables in horizontal and vertical drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (5), 1407-1412.
- Byrne, C., Twist, C. & Eston, R. (2004). Neuro-muscular function after exercise-induced muscle damage: Theoretical and applied implications. *Sports Medicine*, 34 (1), 49-69.
- Girard, O., Lattier, G., Micallef, J-P. & Millet, G.P. (2006). Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *British Journal of Sports Medicine*, 40 (6), 521-526.
- Halson, S.L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44 (2), 139-147.
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B. & Piacentini, M.F. (2006). Central fatigue: The serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine*, 36 (10), 881-909.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M.P., Fernandez-Fernandez, J., de Paula Simola, R.Á., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015). Neuro-muscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1519/JSC.0000000000001181
- Toigo, M. (2014). *Muskelrevolution: Konzepte und Rezepte zum Muskel- und Kraftaufbau*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015a). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, Feb 10. [Epub ahead of print].
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015b). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLoS ONE*, 10 (10), e0139801. DOI:10.1371/journal.pone.0139801

#### Submaximale Ausdauerests

- Bradley, P.S., Mohr, M., Bendiksen, M., Randers, M.B., Flindt, M., Barnes, C., Hood, P., Gomez, A., Andersen, J.L., Di Mascio, M., Bangsbo, J. & Krstrup, P. (2011). Submaximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2: heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. *European Journal of Applied Physiology*, 111 (6), 969-978.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, Feb 27; 5, 73. DOI: 10.3389/fphys.2014.00073.
- Hammes, D., Skorski, S., Schwindling, S., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., Kellmann, M., & Meyer, T. (2015). Can the Lamberts and Lambert submaximal cycle test (LSCT) indicate fatigue and recovery in trained cyclists? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1123/ijsp.2015-0119
- Krstrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P.K. & Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (4), 697-705.

Lamberts, R.P., Swart, J., Noakes, T.D. & Lambert, M.I. (2011). A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *British Journal of Sports Medicine*, 45 (10), 797-80.

### Laborwerte

- Areces, F., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J.J., Abian-Vicen, J., Lara, B., Gallo-Salazar, C., Ruiz-Vicente, D. & Del Coso, J. (2015). Changes in serum free amino acids and muscle fatigue experienced during a half-ironman triathlon. *PLoS One*, 10, e0138376.
- Hecksteden, A., Backes, C., Keller, A., Meese, E. & Meyer, T. (2015). Mikro-RNAs in Plasma und Vollblut als Marker trainingsbedingter Ermüdung? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66 (7-8), Abstracts, Nr. 34, S. 182.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A. Glesson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45, 186-205.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M.P., Fernandez-Fernandez, J., de Paula Simola, A.R., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Neuromuscular Fatigue and Physiological Responses after Five Dynamic Squat Exercise Protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1519/JSC.0000000000001181
- Sawada, S., Kon, M., Wada, S., Ushida, T., Suzuki, K. & Akimoto, T. (2013). Profiling of circulating microRNAs after a bout of acute resistance exercise in humans. *PLoS One*, 8, e70823.
- Smith, D.J. & Norris, S.R. (2000b). Changes in glutamine and glutamate concentrations for tracking training tolerance in elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 684-689.

Steinacker, J.M., Lormes, W., Reissnecker, S. & Liu, Y. (2004). New aspects of the hormone and cytokine response to training. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 382-391.

- Urhausen, A., Gabriel, H. & Kindermann, W. (1995). Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine*, 20, 251-276.
- Urhausen, A., Gabriel, H.H. & Kindermann, W. (1998). Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in over-trained endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 407-414.
- Urhausen, A., Kullmer, T. & Kindermann, W. (1987). A 7-week follow-up study of the behaviour of testosterone and cortisol during the competition period in rowers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56, 528-533.
- Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015a). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, Feb 10. [Epub ahead of print].
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015b). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLoS ONE*, 10 (10), e0139801. DOI:10.1371/journal.pone.0139801

### Psychometrie

- Hammes, D., Skorski, S., Schwindling, S., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., Kellmann, M., & Meyer, T. (2015). Can the Lamberts and Lambert submaximal cycle test (LSCT) indicate fatigue and recovery in trained cyclists? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1123/ijsp.2015-0119
- Hitzschke, B., Holst, T., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (in Druck a). Das Akutmaß für Erholung und Beanspruchung. *Diagnostika*.

- Hitzschke, B., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2015). Entwicklung der Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport (KEB). *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 22, 146-161.
- Kölling, S., Hitzschke, B., Holst, T., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2015). Validity of the Acute Recovery and Stress Scale – Training monitoring of the German Junior National Field Hockey Team. *International Journal of Sport Science and Coaching*, 10, 529-542.
- Kellmann, M. & Kallus, K.W. (2000). *Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler; Manual*. Frankfurt: Swets Test Services.
- Kellmann, M. & Kallus, K. W. (2016). The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. In K. W. Kallus & M. Kellmann (Eds.), *The Recovery-Stress Questionnaires: User manual* (pp. 89-134). Frankfurt: Pearson.
- McNair, D. M., Lorr, M. & Droppleman, L. F. (1992). *Manual for the Profile of Mood States*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A. Glesson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45, 186-205.
- Sonstige Verfahren**
- Herzfrequenz-basierte Verfahren
- Aubert, A.E., Seps, B. & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33 (12), 889–919.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, Feb 27; 5, 73. DOI: 10.3389/fphys.2014.00073.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D. & Aubert, A.E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 709-714. DOI: 10.1136/bjism.2007.042200
- Halson, S.L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44 (Suppl. 2), 139–147.
- Plews, D.J. (2013). *The practical application of heart rate variability - Monitoring training adaptations in world class athletes*. Dissertation. Auckland: Auckland University of Technology, Faculty of Health and Environmental Science.
- Schneider, C., Schumbera, O., Raeder, C., Wievelhove, T. & Ferrauti, A. (2015). Effect of an intensive strength training microcycle on resting heart rate variability. In European College of Sport Science (ECSS) (Ed.), *Book of Abstracts of the 20th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS)*, Malmö - Sweden, 24th -27th June 2015 (p. 198).
- Tensiomyographie
- de Paula Simola, R.Á., Harms, N., Raeder, C., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015a). Assessment of neuromuscular function after different strength training protocols using tensiomyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (5), 1339-1348.
- de Paula Simola, R.Á., Harms, N., Raeder, C., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015b). Tensiomyography reliability and prediction of changes in muscle force following heavy eccentric strength exercise using muscle mechanical properties. *Sports Technology*. [Epub ahead of print].
- Garcia-Manso, J.M., Rodriguez-Matoso, D., Rodriguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y. & Calderon, J. (2011a). Effect of cold-water immersion on skeletal muscle contractile properties in soccer players. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90, 356-363.
- Garcia-Manso, J.M., Rodriguez-Ruiz, D., Rodriguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S. & Quiroga, M. (2011b). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance

- triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of Sports Sciences*, 29, 619-625.
- Rey, E., Lago-Penas, C., Lago-Ballesteros, J. & Casais, L. (2012). The effect of recovery strategies on contractile properties using tensiomyography and perceived muscle soreness in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26, 3081-3088.
- Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodriguez-Jimenez, S., Usach, R., Doutres, D.M. & Maffiuletti, N.A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 20, 761-766.
- Hunt, T.K., Aslam, R., Hussain, Z. & Beckert, S. (2008). Lactate, with oxygen, incites angiogenesis. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 614, 73-80.
- Monedero, J. & Donne, B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 593-597.
- Shrier, I. (2004). Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14, 267-273.

## Kapitel 4 „Regenerationsfördernde Maßnahmen“

### Allgemein

- Hauswirth, C. & Mujika, I. (2013). *Recovery for performance in sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S. & Dupont, G. (2013). Recovery in soccer: Part II-recovery strategies. *Sports Medicine*, 43, 9-22.
- Wiewelhove, T. & Ferrauti, A. (in Druck). Regenerationsmanagement im Sport. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft – Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.

### Aktive Erholung

- Andersson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I. & Kadi, F. (2008). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: Effects of active recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 372-380.
- Fairchild, T.J., Armstrong, A.A., Rao, A., Liu, H., Lawrence, S. & Fournier, P.A. (2003). Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 595-602.
- Knudson, D. (2006). The biomechanics of stretching. *Journal of Exercise Science and Physiotherapy*, 2, 3-12.
- Lund, H., Vestergaard-Poulsen, P., Kastrup, I.L. & Sejsen, P. (1998). The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 8, 216-221.
- Sands, W.A., McNeal, J.R., Murray, S.R., Ramsey, M.B., Sato, K., Mizuguchi, S. & Stone, M.H. (2013). Stretching and its effects on recovery: A review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35 (5), 30-36.

- Shrier, I. (2004). Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14 (5), 267-273.
- Torres, R., Pinho, F., Duarte, J.A. & Gabri, J.M.H. (2013). Effect of single bout versus repeated bouts of stretching on muscle recovery following eccentric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16, 583-588.

### Kälteapplikation

- Bleakley, C.M. & Davison, G.W. (2010). What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44 (3), 179-187.
- Broatch, J.R, Petersen, A. & Bishop, D.J. (2014). Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46 (11), 2139-2147.
- Fröhlich, M., Faude, O., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E. & Meyer, T. (2014). Strength training adaptations after cold water immersion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 2628-2633.
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W. & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46 (4), 233-240.
- Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M. & Meyer, T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8 (3), 227-242.
- Roberts, L.A., Raastad, T., Markworth, J.F., Figueiredo, V.C., Egner, I.M., Shield, A., Cameron-Smith, D., Coombes, J.S. & Peake, J.M. (2015). Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signaling and long-term adaptations in muscle to strength training. *Journal of Physiology*, 593 (18), 4285-4301.

### Kompressionskleidung

- Born, D.P., Sperlich, B. & Holmberg, H.C. (2013). Bringing light into the dark: Effects of compression clothing on performance and recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8 (1), 4-18.
- Davies, V., Thompson, K.G. & Cooper, S.M. (2009). The effects of compression garments on recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (6), 1786-1794.
- Doan, B.K, Kwon, Y.H, Newton, R.U., Shim, J., Popper, E.M., Rogers, R.A., Bolt, L.R., Robertson, M. & Kraemer, W.J. (2003). Evaluation of a lower body compression garment. *Journal of Sport Sciences*, 21 (8), 601-610.
- Duffield, R. & Portus, M. (2007). Comparison of three types of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players. *British Journal of Sports Medicine*, 41 (7), 409-414.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (in Druck). *Das Akutmaß und die Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport - Manual*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Sperlich, B., Born, D.P., Kaskinoro, K., Kallioikoski, K.K. & Laaksonen, M.S. (2013). Squeezing the muscle: Compression clothing and muscle metabolism during recovery from high intensity exercise. *PLoS One*, Apr 17; 8 (4):e60923. doi: 10.1371/journal.pone.0060923.

### Sauna

- Brukner, P. & Khan, K. (2001). *Clinical Review of Sports Medicine* (2nd ed.). Roseville, NSW: McGraw-Hill.
- Cochrane, D.J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: A review. *Physical Therapy in Sport*, 5, 26-32.
- Hannuksela, M.L. & Ellahham, S. (2001). Benefits and risks of sauna bathing. *American Journal of Medicine*, 110 (2), 118-126.
- Karila, T.A.M., Sarkkinen, P., Marttinen, M., Seppälä, T., Mero, A. & Tallroth, K. (2008).

Rapid weight loss decreases serum testosterone. *International Journal of Sports Medicine*, 29 (11), 1–6.

- Kukkonen-Harjula, K. & Kyllikki Kauppinen, K. (2006). Health effects and risks of sauna bathing. *International Journal of Circumpolar Health*, 65 (3), 195–205.
- Luetkemeier, M.J. & Thomas, E.L. (1994). Hypervolemia and cycling time trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (4), 503–509.
- Prentice, W.E. (1999). *Therapeutic Modalities in Sports Medicine* (4th ed.). Boston, USA: McGraw-Hill.
- Scoon, G.S.M., Hopkins, W.G., Mayhew, S. & Cotter, J.D. (2007). Effect of post exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10, 259–262.
- Sutkowy, P., Woź Niak, A., Boraczynski, T., Mila-Kierzenkowska, C. & Boraczynski, M. (2014). The effect of a single Finnish sauna bath after aerobic exercise on the oxidative status in healthy men. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory*, 74 (2), 89–94.
- Tyka, A., Palka, T., Tyka, A., Szygula, Z. & Cison, T. (2008). Repeated sauna bathing effects on males' capacity to prolonged exercise-heat performance. *Sports Medicine*, 12 (4), 150–154.
- Viitasalo, J.T., Niemela, K., Kaappola, R., Korjus, T., Levola, M., Mononen, H.V., Rusko, H.K. & Takala, T.E.S. (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71 (5), 431–438.
- Zuluaga, M., Briggs, C., Carlisle, J., McDonald, V., McMeeken, J., Nickson, W., Oddy, P. & Wilson, D. (Eds.). (1995). *Sports physiotherapy: Applied science and practice*. Melbourne: Churchill Livingstone.
- exercise. *Clinics in Sports Medicine*, 18 (5), 446–460.
- Crane, J.D., Ogborn, D.I., Cupido, C., Melov, S., Hubbard, A., Bourgeois, J.M. & Tarnopolsky, M.A. (2012). Massage therapy attenuates inflammatory signaling after exercise-induced muscle damage. *Science Translational Medicine*, Feb 1; 4 (119):119ra13. doi: 10.1126/scitranslmed.3002882.
- Moraska, A. (2005). Sports massage. A comprehensive review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45 (3), 370–380.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S. & Dupont, G. (2013). Recovery in soccer: Part II-recovery strategies. *Sports Medicine*, 43, 9–22.
- Weerapong, P., Hume, P.A. & Kolt, G.S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine*, 35 (3), 235–256.

### Foam-Rolling

- Beardsley, C. & Škarabot, J. (2015). Effects of self-myofascial release: A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19 (4), 747–758.
- Healey, K.C., Hatfield, D.L., Blanpied, P., Dorfman, L.R. & Riebe, D. (2014). The effects of myofascial release with foam rolling on performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (1), 61–68.
- Macdonald, G.Z., Button, D.C., Drinkwater, E.J. & Behm, D.G. (2014). Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46 (1), 131–142.
- MacDonald, G.Z., Penney, M.D., Mullaley, M.E., Cuconato, A.L., Drake, C.D., Behm, D.G. & Button, D.C. (2013). An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (3), 812–821.
- Pearcey, G.E., Bradbury-Squires, D.J., Kawamoto, J.E., Drinkwater, E.J., Behm, D.G. & Button, D.C. (2015). Foam rolling for delayed-

### Sportmassage

- Best, T.M., Hunter, R., Wilcox, A. & Haq, F. (2008). Effectiveness of sports massage for recovery of skeletal muscle from strenuous

onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. *Journal of Athletic Training*, 50 (1), 5-13.

### Schlafmanagement

- Forbes-Robertson, S., Dudley, E., Vadgama, P., Cook, C. & Drawer, S. (2012). Circadian disruption and remedial interventions. Effects and interventions for jet lag for athletic peak performance. *Sports Medicine*, 43, 185-208.
- Fullagar, H.H.K., Duffield, R., Skorski, S., White, D., Bloomfield, J., Kölling, S. & Meyer, T. (2016). Sleep, travel and recovery response of national footballers during and following long-haul international air travel. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 86-95.
- Kölling, S., Steinacker, J.M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (in Druck). The longer the better: Sleep/wake patterns during preparation of the World Rowing Junior Championships. *Chronobiology International*. [Epub ahead of print] DOI: 10.3109/07420528.2015.1118384
- Lee, A. & Galvez, J.C. (2012). Jet lag in athletes. *Sports Health*, 4, 211-216.
- Lemmer, B., Kern, R.-I., Nold, G. & Lohrer, H. (2002). Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition. *Chronobiology International*, 19, 743-764.
- Reilly, T. (2009). How can travelling athletes deal with jet-lag? *Kinesiology*, 41, 128-135.
- Reilly, T., Atkinson, G., Edwards, B., Waterhouse, J., Åkerstedt, T., Davenne, D., Lemmer, B. & Wirz-Justice, A. (2007). Coping with jet-lag: A position statement for the European College of Sport Science. *European Journal of Sport Science*, 7, 1-7.

### Powernapping

- Milner, C.E. & Cote, K.A. (2009). Benefits of napping in healthy adults: Impact of nap length, time of day, age, and experience with napping. *Journal of Sleep Research*, 18, 272-281.
- Petit, E., Mougin, F., Bourdin, H., Tio, G. & Haffen, E. (2014). A 20-min nap in athletes changes subsequent sleep architecture

but does not alter physical performances after normal sleep or 5-h phase-advance conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 305-315.

- Postolache, T.T., Hung, T.-M., Rosentahl, R.N., Soriano, J.J., Montes, F. & Stiller, J.W. (2005). Sports chronobiology consultation: From the lab to the arena. *Clinics in Sports Medicine*, 24, 415-456.
- Reilly, T. & Edwards, B. (2007). Altered sleep-wake cycles and physical performance in athletes. *Physiology & Behavior*, 90, 274-284.
- Robson-Ansley, P.J., Gleeson, M. & Ansley, L. (2009). Fatigue management in the preparation of Olympic athletes. *Journal of Sports Sciences*, 27, 1409-1420.
- Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. (2007). The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *Journal of Sports Sciences*, 25, 1557-1566.

### Psychologische Entspannungsstrategien

- Allmer, H. (1996). *Erholung und Gesundheit. Grundlagen, Ergebnisse und Maßnahmen*. Göttingen: Hogrefe.
- Barker, J., Jones, M. & Greenlees, I. (2010). Assessing the immediate and maintained effects of hypnosis on self-efficacy and soccer wall-volley performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 32 (2), 243-252.
- Beckmann, J. & Elbe, A.-M. (2008). *Praxis der Sportpsychologie im Wettkampf und Leistungssport*. Balingen: Spitta Verlag.
- Gros Lambert, A., Candau, R., Grappe, F., Dugue, B. & Rouillon, J.D. (2003). Effects of autogenic and imagery training on the shooting performance in biathlon. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74 (3), 337-341.
- Jain, S., Shapiro, S.L., Swanick, S., Roesch, S.C., Mills, P.J., Bell, I. & Schwartz, G.E. (2007). A randomized controlled trial of mindfulness meditation versus relaxation training: Effects on distress, positive states of

mind, rumination, and distraction. *Annals of Behavioral Medicine*, 33 (1), 11-21.

Vaitl, D. (2014). Neurobiologische Grundlagen der Entspannungsverfahren. In F. Petermann & D. Vaitl (Hrsg.), *Entspannungsverfahren* (S. 35-51). Weinheim: Beltz Verlag.

## Musik

Ghaderi, M., Rahimi, R. & Ali Azarbayjani, M. (2009). The effect of motivational and relaxation music on aerobic performance, rating perceived exertion and salivary cortisol in athlete meals. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education & Recreation*, 31, 29-38.

Harwood, C.G., Pain, M. & Anderson, R. (2011). Pre-competition imagery and music: The impact on flow and performance in competitive soccer. *The Sport Psychologist*, 25, 212-232.

Karageorghis, C.I. & Priest, D.-L. (2012). Music in the exercise domain: A review and synthesis (Part I). *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5, 44-66.

Loizou, G. & Karageorghis, C.I. (2015). Effects of psychological priming, video, and music on aerobic performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25 (6), 909-920.

Symedra, L. & Bacharach, D.W. (1998). Effect of music on perceived exertion, plasma lactate, norepinephrine and cardiovascular hemodynamics during treadmill running. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 32-37.

Terry, P.C. & Karageorghis, C.I. (2011). Music in sport and exercise. In T. Morris & P.C. Terry (Eds.), *The new sport and exercise psychology companion* (pp. 359-380). Morgantown, WV: Fitness Information Technology.

## Kapitel 5 „Zukunftsperspektiven“

Armstrong-Smith, I. (2014). You wear it so well. *The Analytical Scientist*, 314, 42-50.

Byrom, B. (2014). Wearables in clinical trials. An active interest? *Applied Clinical Trials*, 2014.

Hill, C. (2015). Wearables – the future of biometric technology? *Biometric Technology Today*, 2015 (8), 5-9. doi:10.1016/S0969-4765(15)30138-7

Roggen, D., Arnrich, B. & Tröster, G. (2006). Life style management using wearable computer. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications (UbiHealth '06)*, Copenhagen.

Samson, K. (2015). Wearing the detectives. *Neurology Now*, 11 (4), 34-36. doi:10.1097/01.NNN.0000470763.57000.87

Schäfer, A. & Vagedes, J. (2013). How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram. *International Journal of Cardiology*, 166 (1), 15-29. doi:10.1016/j.ijcard.2012.03.119

Seiler, R. & Hüttermann, M. (2015). E-health, fitness trackers and wearables – Use among swiss students. In *Advances in Business-Related Scientific Research Conference (ABSRC) 2015*, Venice. doi:10.13140/RG.2.1.1054.8649

Smolander, J., Juuti, T., Kinnunen, M.-L., Laine, K., Louhevaara, V., Männikkö, K. & Rusko, H. (2008). A new heart rate variability-based method for the estimation of oxygen consumption without individual laboratory calibration: Application example on postal workers. *Applied Ergonomics*, 39 (3), 325-331. doi:10.1016/j.apergo.2007.09.001

Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M. & Yoshida, M. (2014). Wearable photoplethysmographic sensors - past and present. *Electronics* 2014, 3 (2), 282-302. doi:10.3390/electronics3020282

Yang, H., Yu, J., Zo, H. & Coi, M. (2015). User acceptance of wearable devices: An extended perspective of perceived value. *Telematics and Informatics*, 33 (2), 256-269. doi:10.1016/j.tele.2015.08.007

# REGman-Publikationen

## In Revision

- Julian, R.A., Meyer, T., Fullagar, H.H.K., Skorski, S., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A. & Hecksteden, A. (in Revision). Individual patterns in blood-borne indicators of fatigue – Trait or chance. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Pelka, M., Heidari, J., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (in Revision). Relaxation techniques in sports: A systematic review on acute effects. *Psychology of Sport & Exercise*.
- Pelka, M., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (in Revision). Psychological relaxation between two physical tasks. *Journal of Sport Sciences*.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., de Paula Simola, A.R., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (in Revision). Relationship of surrogate fatigue markers and maximal strength in male and female athletes following six days of intensified strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (in Revision). Effect of repeated active recovery during a high-intensity shock microcycle on markers of fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

## In Druck

- de Paula Simola, R.A., Harms, N., Raeder, C., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (in Druck). Tensiomyography reliability and prediction of changes in muscle force after eccentric strength exercise using muscle mechanical properties. *Sports Technology*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1080/19346182.2015.1117475
- Hammes, D., Skorski, S., Schwindling, S., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., Kellmann, M. & Meyer, T. (in Druck). Can the Lamberts and Lambert submaximal cycle test (LSCT) indica-

te fatigue and recovery in trained cyclists? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1123/ijsp.2015-0119

- Hecksteden, A., Skorski, S., Schwindling, S., Hammes, D., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A. & Meyer, T. (in Druck). Blood-borne markers of fatigue and recovery in competitive athletes – Results from a simulated training camp. *PLOS ONE*.
- Hitzschke, B., Holst, T., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (in Druck). Entwicklung des Akutmaßes zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport. *Diagnostica*.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (in Druck). *Das Akutmaß und die Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport - Manual*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Kölling, S., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (in Druck). Comparing subjective with objective sleep parameters via multi-sensory actigraphy in physical education students. *Behavioral Sleep Medicine*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1080/15402002.2015.1017096
- Kölling, S., Steinacker, J.M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (in Druck). The longer the better: Sleep/wake patterns during preparation of the World Rowing Junior Championships. *Chronobiology International*. [Epub ahead of print] DOI: 10.3109/07420528.2015.1118384
- Kölling, S., Wiewelhove, T., Raeder, C., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T. & Kellmann, M. (in Druck). Sleep monitoring of a six-day microcycle in strength and high-intensity training. *European Journal of Sport Science*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1080/17461391.2015.1041062
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M.P., Fernandez-Fernandez, J., de Paula Simola, A.R., Kellmann, M., Meyer, T.,

Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (in Druck). Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1519/JSC.0000000000001181

Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (in Druck). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. [Epub ahead of print]

## 2016

Fullagar, H.H., Duffield, R., Skorski, S., White, D., Bloomfield, J., Kölling, S. & Meyer, T. (in Druck). Sleep, travel and recovery responses of national footballers during and following long-haul international air travel. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 86-95.

Kölling, S., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., Meyer, T. & Kellmann, M. (2016). Sleep in sports: A short summary of alterations in sleep/wake patterns and the effects of sleep loss and jet-lag. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 67, 35-39.

Poppendieck, W., Wegmann, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Meyer, T. (2016). Massage and performance recovery: A meta-analytical review. *Sports Medicine*, 46, 183-204.

## 2015

de Paula Simola, R.A., Harms, N., Raeder, C., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer & M., Ferrauti, A. (2014). Assessment of neuromuscular function after different strength training protocols using tensiomyography. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29 (5), 1339-1348.

Hitzschke, B., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2015). Entwicklung der Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport (KEB). *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 22, 146-161.

Kölling, S., Hitzschke, B., Holst, T., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2015). Validity of the Acute Recovery and Stress Scale – Training monitoring of the German Junior National Field Hockey Team. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 10, 529-542.

Skorski, S., Hammes, D., Schwindling, S., Veith, S., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Meyer, T. (2015). Effects of training induced fatigue on pacing patterns in 40 km cycling time trials. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47 (3), 593-600.

Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLOS ONE*, 10 (10), e0139801. DOI:10.1371/journal.pone.0139801

## 2014

Meyer, T., Wegmann, M., Poppendieck, W. & Fullagar, H.H. (2014). Regenerative interventions in professional football. *Sportorthopädie und Sporttraumatologie*, 30, 112-118.

## 2013

Meyer, T., Kellmann, M., Ferrauti, A., Pfeiffer, M. & Faude, O. (2013). Die Messung von Erholtheit und Regenerationsbedarf im Fußball. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64, 28-34.

Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M. & Meyer, T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8 (3), 227-242.

# Kooperationspartner

## Kooperationspartner der Sportpraxis

Bund Deutscher Radfahrer (BDR)  
 Bundesverband Deutscher Gewichtheber e. V.  
 (BVDG)  
 Deutscher Badmintonverband (DBV)  
 Deutscher Basketballbund (DBB)  
 Deutscher Fußball-Bund (DFB)  
 Deutscher Ruderverband (DRV)  
 Deutscher Tennisbund (DTB)  
 Deutscher Tischtennisbund (DTTB)  
 Deutsche Triathlon Union (DTU)  
 Deutscher Verband für Modernen Fünfkampf  
 (DVMF)  
 Deutscher Volleyball-Verband (DVV)  
 International Tennis Federation (ITF)  
 Olympiastützpunkte Rheinland-Pfalz/Saarland  
 Olympiastützpunkt Rhein-Ruhr  
 Olympiastützpunkt Westfalen

## Kooperationspartner der Wissenschaft

Billy Sperlich, Arbeitsbereich Integrative und  
 Experimentelle Trainingswissenschaft, Julius-  
 Maximilians-Universität Würzburg

## Externe Kooperationspartner ohne eigenen An- teil an der praktischen Durchführung

Aaron Coutts, Rob Duffield (Sydney, Australien)  
 Oliver Faude (Basel, Schweiz)  
 Daniel Erlacher (Bern, Schweiz)  
 Jürgen Perl (Mainz, Deutschland)



# Notizen

