

Meyer T<sup>1</sup>, Kellmann M<sup>2</sup>, Ferrauti A<sup>3</sup>, Pfeiffer M<sup>4</sup>, Faude O<sup>5</sup>

# Die Messung von Erholtheit und Regenerationsbedarf im Fußball

## *The Measurement of Recovery and Regeneration Requirements in Football*

<sup>1</sup>Institut für Sport- und Präventivmedizin, Bereich Klinische Medizin, Universität des Saarlandes

<sup>2</sup>Lehr- und Forschungsbereich Sportpsychologie, Fakultät für Sportwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum

<sup>3</sup>Lehr- und Forschungsbereich Trainingswissenschaft, Fakultät für Sportwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum

<sup>4</sup>Abteilung Theorie und Praxis der Sportarten, Institut für Sportwissenschaft, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

<sup>5</sup>Bereich Trainingswissenschaft, Institut für Sport und Sportwissenschaften, Universität Basel, Schweiz

### ZUSAMMENFASSUNG

Im leistungssportlich betriebenen Fußball wird eine verbesserte Regeneration zunehmend als relevante Ressource betrachtet, zumal ein dichter Spielplan und sonstige Verpflichtungen wenig Raum für ergänzende Trainingseinheiten lassen. Allerdings ist zur Feststellung des individuellen aktuellen Bedarfs an Regeneration eine Messung des Grades der erzielten Erholtheit seit der letzten Belastung (oder im langfristigen Gesamtgefüge der additiven Belastungen) erforderlich. Ein solcher Erholtheitsindikator sollte die Testgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität möglichst gut erfüllen, daneben jedoch nicht zu teuer und zu zeitraubend in der Bestimmung sein. Schließlich sollte die Erhebung selbst eine womöglich vorhandene Ermüdung nicht vertiefen. Unter diesen Kriterien lässt sich kein einzelner optimaler Parameter erkennen, der integrativ alle Ebenen des Organismus erfasst, auf denen eine fußballinduzierte Ermüdung zu erwarten ist. Während Laborwerte und einfache motorische Tests zwar weitgehend objektiv und günstig sind, decken sie jeweils nur einen Teil der fußballspezifischen Anforderungen ab. Psychometrische Skalen weisen oft einen sehr integrativen Charakter auf, sind jedoch vom Sportler potenziell durchschaubar und damit manipulierbar. Verschiedene ergänzende Verfahren bedürfen ebenso wie einzelne experimentelle Laborwerte noch der Evaluation. Die aktuelle wissenschaftliche Herausforderung ist darin zu sehen, eine sportartrelevante Batterie aus einfachen motorischen Tests, Laborwerten, psychometrischen Verfahren und ergänzenden Methoden (z.B. Parameter aus Messungen der Herzfrequenz) zu kreieren, die praktischen Alltagsanforderungen des Fußballs genügt. Zu diesem Zweck ist eine Mitarbeit von Spielern, Trainern und Betreuern aus dem professionellen Bereich unerlässlich.

**Schlüsselwörter:** Ermüdung, Erholung, Mannschaftssport, Test.

### EINLEITUNG

Angesichts der vielfach als ausgereizt wahrgenommenen Trainings- und Zeitpläne im Spitzenfußball rückt zunehmend der Aspekt einer optimierten Erholung zwischen zwei Trainingseinheiten/Wettkämpfen bzw. nach intensiven Trainingsperioden in den Vordergrund (32). Dies gilt umso mehr, wenn man die dokumentierte eingeschränkte Leistungsfähigkeit nach Fußballspielen in Betracht zieht (21). Eine verbesserte Regeneration könnte häufigere, intensivere oder qualitativ verbesserte Trainingseinheiten oder gar eine längere Aufrechterhaltung der Spielleistung ermöglichen. Allerdings ist zur Beurteilung des Regenerationsbedarfs eine möglichst objektive Erfassung der aktuellen Ermüdung bzw. des Grades der bereits erzielten Erholtheit erforderlich. Würde man sich auf die subjektive Einschätzung des Sportlers oder Trainers

### SUMMARY

In elite football, improved regeneration is being considered more and more as relevant to performance enhancement. This is particularly true in light of a dense schedule of competition and other obligations. But to determine individual regenerative requirements, it is necessary to measure the degree of recovery that has been reached since the last training and/or competition (or in the long-term constellation of additive loads). Such an indicator of the recovery state should fulfill the normal requirements for testing procedures: objectivity, reliability and validity. In addition, its determination should not be too time-consuming and too expensive. Finally, the determination itself must not be tiresome. Considering all these criteria, there is no single optimal indicator which integratively covers all levels of fatigue. While laboratory values and simple motor tests are objective and cheap, they cover only a part of football-specific requirements. Psychometric scales integrate several levels of fatigue but can be seen through and, thus, potentially manipulated by players. Some supplementary methods, as well as some rather experimental laboratory values, need further evaluation. Therefore, it will be a target of future scientific efforts to create a battery of simple motor tests, laboratory values, psychometric scales and supplementary methods (e.g. parameters from measurements of resting heart rate) which covers the demands of regular elite football training. For this purpose, cooperation with players, trainers and other team staff of professional teams is indispensable.

**Key Words:** Fatigue, recovery, team sport, test.

verlassen, wäre neben der stets bestehenden Irrtumsmöglichkeit auch eine interessengeleitete Verfälschung denkbar. So könnten Spieler beispielsweise ein nachvollziehbares Interesse daran haben, gegenüber dem Trainer als erholt zu gelten, wenn es um das Erobern oder Verteidigen eines Platzes in einer Mannschaft geht. Selbstverständlich müssen Erholtheitsindikatoren den üblichen Testgütekriterien (Objektivität, Reliabilität, Validität) genügen. Sie sollten darüber hinaus anwendungsökonomisch (bezahlbar und nicht zu zeitaufwändig) sein, und ihre Bestimmung selbst sollte

accepted: December 2012

published online: January 2013

DOI: 10.5960/dzsm.2012.054

Meyer T, Kellmann M, Ferrauti A, Pfeiffer M, Faude O: Die Messung von Erholtheit und Regenerationsbedarf im Fußball. Dtsch Z Sportmed 64 (2013) 28-34.

den Trainingsprozess nicht behindern, z.B. durch eine testinduzierte zusätzliche Ermüdung (36). Eine Fehleinschätzung in beide Richtungen-Über- oder Unterschätzung des Regenerationsbedarfes - würde die Effektivität eines leistungssportlichen Trainings reduzieren (13, 29, 48). Denn mögliche Konsequenz einer Erholtheitsdiagnostik ist stets eine Trainingsmodifikation oder gar -reduktion.

Es ist bei Auswahl geeigneter Indikatoren für den Fußball auch zu bedenken, dass sie eine INDIVIDUELLE Bewertung des Regenerationsbedarfes erlauben sollten. Untersuchungen, die aufzeigen, dass bestimmte Parameter in einer üblichen Gruppenstatistik der experimentell induzierten Ermüdung folgen, sind nicht zwangsläufig aussagekräftig. Denn erwartungskonforme Mittelwertsbewegungen allein sind keine hinreichenden Belege für die Anwendbarkeit eines Parameters. Da in der Regel eine individuelle Konsequenz gezogen werden soll, hat die Zuverlässigkeit im Einzelfall eine besondere Bedeutung. So kann sich ein Parameter im Mittel einer 20-köpfigen Gruppe durchaus in der erwarteten Richtung bewegen, und diese Entwicklung mag auch statistische Signifikanz erreichen. Wenn jedoch in vier Einzelfällen ein gegenläufiger Trend zu verzeichnen ist, obwohl auch hier von einer zunehmenden Ermüdung auszugehen ist, beträgt die Irrtumswahrscheinlichkeit bei der Bestimmung bereits 20%. Diese Fehleinschätzung kann rechnerisch im ungünstigsten Fall annähernd die Hälfte der Stammfeldspieler betreffen und ist für ein leistungssportliches Setting in der Regel nicht akzeptabel. Will man lediglich die durchschnittliche Ermüdung einer Mannschaft abbilden, sind derartige Mittelwertstatistiken brauchbar - eine allerdings sehr ungewöhnliche Zielstellung. Ein im Durchschnitt NICHT nachweisbarer ermüdungsinduzierter Ausschlag der Indikatoren ist jedoch bis zum Beleg des Gegenteils als mangelnde Eignung der untersuchten Parameter für eine Erholtheitsdiagnostik zu werten.

Erholung ist ein Vorgang, der Zeit in Anspruch nimmt und dessen Resultat dementsprechend nach unterschiedlichen Zeitabschnitten auf verschiedenen Ebenen (z.B. muskulär, metabolisch, mental) erfassbar ist. Auch wenn aus studienökonomischen Gründen die Zahl der wissenschaftlichen Untersuchungen über die akute fußballinduzierte Ermüdung (bis zu 24 Stunden nach Spielende) am größten ist, stellt sich in der Praxis eher nach 2-3 Tagen die Frage nach ausreichender Erholung oder der Notwendigkeit regenerationsfördernder Maßnahmen (z.B. Trainingsmodifikationen). Darüber hinaus wird nicht selten eine Erfassung der kumulativen Ermüdung im Laufe einer Saison gewünscht, für die ein Zusammenhang mit der Häufigkeit von Verletzungen angenommen wird (6). Insofern sind wissenschaftliche Studien für die Praxis besonders interessant, wenn sie einen längeren Zeitraum abdecken. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass für einen gegebenen Messzeitpunkt innerhalb einer Saison die akute Ermüdung (durch den letzten Wettkampf und die Trainingseinheiten der Vortage) von der additiv durch wiederholte Trainings- und Spielbelastungen induzierten Ermüdung kaum sicher zu trennen ist.

Die komplexe Struktur des Fußballspiels bringt eine Ermüdung auf verschiedenen Ebenen mit sich: metabolisch, kardiozirkulatorisch, vegetativ, neuromuskulär etc. Diese erreicht jedoch häufig nicht jenes Ausmaß, das in einfacher strukturierten Sportarten für deren primär beanspruchte Komponente zu finden ist. So dürfte der Grad der lokal-muskulären Ermüdung nach Marathonläufen oder Etappenrennen im Radsport deutlich jenen nach Fußballspielen übersteigen. Dies bedeutet, dass Erholtheitsindikatoren, die eine dieser Ebenen abbilden, im Fußball nicht zwangsläufig

gleich effektiv einsetzbar sind wie in anderen Sportarten, in denen diese Ebene stärker beansprucht wird. Möglicherweise sind daher „integrative“ Parameter, die verschiedene Ebenen der Ermüdung einbeziehen, eher geeignet, eine fußballspezifisch eingeschränkte Erholtheit zu dokumentieren.

Nachfolgend sollen die üblichen und in der Sportpraxis eingesetzten Verfahren zur Abschätzung des Grades von Erholtheit beschrieben und kritisch diskutiert werden. Es handelt sich um einfache motorische Testverfahren, Laborwerte, psychometrische Methoden sowie ergänzende Verfahren (z.B. Messungen der Herzfrequenzvariabilität). Eine Übersicht findet sich in Tabelle 1. Um eine Beurteilung einschlägiger wissenschaftlicher Untersuchungen zu ermöglichen, erfolgt vorab eine Darstellung des Standards, ohne den experimentelle Ansätze, die auf die Validierung von Parametern abstellen, wenig aussagekräftig sind.

### SPORTARTSPEZIFISCHE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Es ist plausibel, dass die sportartspezifische Leistungsfähigkeit der Standard einer Erholtheits- und Ermüdungsdiagnostik sein muss. Schließlich muss man davon ausgehen, dass mit zunehmender Ermüdung bzw. mangelnder Erholung die sportartspezifische Leistungsfähigkeit leidet. Insofern ist jeder Parameter daraufhin zu hinterfragen, ob er die sportartspezifische Leistungsfähigkeit adäquat abbildet. Tut er das nicht, ist seine Eignung zumindest sehr fraglich. Unter experimentellen Gesichtspunkten ist außerdem zu fordern, dass in Studien zur Ermüdung und Erholtheit eine relevante Schwankung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit dokumentiert wird. Andernfalls wäre der Grad der erreichten Ermüdung zumindest von zweifelhafter Relevanz.

Da sich Wettkämpfe unter realistischen Rahmenbedingungen zu Testzwecken nicht beliebig wiederholen lassen, treten standardisierte wettkampfnah Testverfahren (z.B. Tests, in denen fußballtypische Belastungen in einer Laborsituation simuliert werden oder Shuttle-Run-Tests) an ihre Stelle. Diese erfordern jedoch nicht selten eine ähnlich große Anstrengung wie der Wettkampf selbst und sind daher in der konkreten Situation einer vermuteten mangelnden Erholtheit (typisches Setting eines Einsatzes von Erholtheitsindikatoren) häufig nur eingeschränkt verwendbar. Insofern dienen diese Verfahren primär der Wissenschaft, um alternative, weniger aufwändige Methoden zu validieren.

Insbesondere in einfacher aufgebauten Disziplinen existieren solche sportartnahen Testverfahren, die einen engen Bezug zur Wettkampfleistung aufweisen. Dies sind in den Ausdauerdisziplinen sogenannte Time Trials und in den Kraft- und Schnelligkeitsdisziplinen Kraft- und Sprungtests der relevanten Muskulatur sowie Sprinttests. Für den Fußball steht kein sportartspezifischer Test zur Verfügung, der entsprechend validiert ist. Daher wird in der Regel - ähnlich wie in der Leistungsdiagnostik (14) - auf konstrukt plausible Testbatterien mit bekannten Schwierigkeiten der Standardisierung und Übertragbarkeit auf reale Wettkampfbedingungen zurückgegriffen. Neuerdings erscheinen verschiedene Parameter der Spielanalyse als denkbare Alternativen, auch wenn hier offenbar noch Forschungsbedarf besteht (8, 11, 27). So unterliegen beispielsweise messbare Variablen der Laufleistung der Spieler (aufgrund taktischer Anforderungen und in Abhängigkeit vom Gegner) hohen intra-individuellen Schwankungen (17, 45).

**Tabelle 1:** Übersicht der aktuell praxistauglichen Erholtheitsindikatoren bzw. Verfahren zur Feststellung des Grades der Regeneration. ÜT=Übertraining, HFV=Herzfrequenzvariabilität, CRP=C-reaktives Protein, IL-6=Interleukin 6; Abkürzungen der psychometrischen Verfahren: s. entsprechendes Kapitel.

Kategorie	Verfahren	Vorteile	Nachteile	Bemerkungen
Einfache motorische Testverfahren	Sprinttest (Maximal-)Krafttest Sprungtest	einfach und wiederholt anwendbar	bilden nur eine kleine Komponente des Fußballs ab	Studien: nicht sensitiv für fußballtypische Schwankungen der Saisonbelastung (12, 31, 33)
Laborwerte	CK	günstig, kapillär bestimmbar	bildet nur mechanisch-muskuläre Beanspruchung ab	auch durch fußballtypische Belastungen erhöht (33)
	Harnstoff	günstig, kapillär bestimmbar	bildet nur Stoffwechselbeanspruchung ab	Fußball hinreichend katabol für Anstiege?
	Entzündungsparameter: z.B. CRP, IL-6	misst anderweitig kaum zugängliche Komponente	Verfälschung durch andere Entzündungen	Entzündung Stimulus für spätere Trainingseffekte?
	Hormone	unmittelbarer Blick auf Stoffwechsellage	zirkadiane Rhythmik, tlws. teuer	aus ÜT-Diagnostik entlehnt
	Glutamin/Glutamat	Einblick in Katabolismus	teuer, kein Routineparameter	noch eher experimentell
Psychometrie	RPE, EBF-Sport, POMS, TQR, DALDA, DOMS	potenziell integrativ, günstig, z.T. schnell	durch Sportler verfälschbar	wiederholte Anwendung mit „Ermüdungseffekten“
Ergänzende Verfahren	Ruhe-Herzfrequenz, HFV	einfache und präzise Messbarkeit; direkte Messung der vegetativen Regulation	fragliche Spezifität für Ermüdungsprozesse; Vielfalt der HRV-Parameter	uneinheitliche Studienlage
	HF-Abfall, Doppeltests	direkte Messung der Erholungsfähigkeit	hohe Belastung durch Test in Phasen hoher Beanspruchung unerwünscht	Bestimmung weiterer Parameter erforderlich (z.B. Hormone)
	psychomotorische Geschwindigkeit	misst „logische“ Komponente, die der Ermüdung unterliegt	vermutlich durch anderweitige Ermüdung beeinträchtigt	bislang keine Anwendung im Fußball

### EINFACHE MOTORISCHE TESTVERFAHREN

Wegen des relativ hohen Aufwands einer sportartspezifischen Diagnostik sowie der bereits erwähnten unerwünschten zusätzlichen Ermüdung durch manche Durchführungsformen erscheint es sinnvoll, auf einfachere Testverfahren auszuweichen. Dies können Sprinttests, Maximalkrafttests, Sprungtests oder andere isolierte motorische Tests sein (7, 9, 12, 26). Allerdings bilden sie insbesondere in komplex aufgebauten Sportarten wie Fußball häufig nur einen kleinen Ausschnitt der sportartspezifischen Realität ab. Darüber hinaus ist zum Einsatz einfacher motorischer Testverfahren im Rahmen der Erholtheitsdiagnostik eine wenig konsistente empirische Befundlage festzuhalten.

So ergab ein saisonbegleitender Einsatz in Nachwuchsteams der höchsten deutschen Klassen keine befriedigende Parallelität zwischen motorischen Testresultaten und kumulierter Trainings- und Spielbelastung während sogenannter Englischer Wochen (31), so dass eine einfache Interpretation derartiger Messungen als Erholtheitsindikatoren offenbar nicht zielführend ist. In einer anderen Studie zeigte sich allerdings ein Zusammenhang zwischen der kumulierten Beanspruchung im Saisonverlauf und einer Reduktion der Sprunghöhe im Tief-Hoch-Sprung (Drop Jump, (12), so dass prinzipiell der Einsatz von reaktiven Sprüngen möglich scheint. Es wäre zwar denkbar, komplexere Testbatterien unter verstärkter Einbeziehung sportartrelevanter Bewegungen aufzunehmen. Insbesondere bei Hinzunahme des Balles dürfte jedoch die erforderliche Standardisierung leiden und die externe Validität (und damit die sinnvolle Einsetzbarkeit) in Frage stehen.

### LABORWERTE

Ein großer Vorteil von Laborwerten zur Beurteilung der Erholtheit und Ermüdung liegt in ihrer offensichtlichen Objektivität und guten Reproduzierbarkeit durch weitgehende Automatisierung der Prozesse sowie regelmäßige Qualitätskontrollen der Laboratorien. Dies ist sicherlich auch ein Grund dafür, dass insbesondere die Kreatinkinase (CK) und der Harnstoff als Parameter des Trainingmonitorings eine hohe Popularität gewonnen haben. Da es sich um Routine-Laborwerte handelt, ist ihre Bestimmung in der Regel kostengünstig möglich. Die CK, als Enzym der anaeroben alaktaziden Energiebereitstellung im Cytosol der Myozyten angesiedelt, wird bei Schädigungen der Muskelzellmembran vermehrt ins Blut freigesetzt und kann insofern als ein Indikator für Mikroschädigungen der Muskulatur betrachtet werden (37, 49). In diesem Sinne ist ein Monitoring von Belastungen, die typischerweise hohe mechanische Beanspruchungen der Muskulatur mit sich bringen, durch Bestimmungen der CK denkbar. Typische Beispiele sind Krafttraining, insbesondere solches mit exzentrischen Anteilen, und Trainingsphasen mit hohen Anteilen von Schnelligkeits- und Schnellkrafttraining. Es muss darauf hingewiesen werden, dass professionelle Fußballspieler im Durchschnitt CK-Konzentrationen aufweisen, die deutlich über den üblicherweise angegebenen Referenzbereichen liegen (33) und die daher vor dem sportartspezifischen Hintergrund interpretiert werden müssen. Gehen Trainingsprozesse mit einer stärkeren Myozytenschädigung einher, ist auch eine geringfügige Erhöhung der Harnsäure denkbar.

Der Harnstoff als Metabolit der Aminosäuren wird potenziell in katabolen Stoffwechselsituationen erhöht im Blut gemessen (19,47). Insofern erfasst das Harnstoff-Monitoring am ehesten Phasen eines zeitweise auftretenden kalorischen Defizits bzw. eines sehr hohen energetischen Bedarfs. Übliche Einsatzphasen für wiederholte Harnstoffbestimmungen sind daher Ausdauer-Trainingslager bzw. Saisonphasen mit hohem Energiebedarf.

Da muskuläre Beanspruchung und Schädigung mit lokalen Entzündungsprozessen einhergehen können, sind Inflammationsmarker potenzielle Kandidaten für ein laborbasiertes Belastungsmonitoring (39,46). Neben dem C-reaktiven Protein (CRP) als empfindlichstem Routineparameter kommen als weitere „Kandidaten“ verschiedene weniger kostengünstige Interleukine in Betracht, von denen das IL-6 scheinbar am besten untersucht ist. Das rote Blutbild reagiert offenbar eher auf längerfristige trainingsinduzierte Flüssigkeitsverschiebungen (33).

Allerdings konnten im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung der 1. und 2. Fußball-Bundesliga kürzlich keine praxisrelevanten Veränderungen der genannten Parameter in Abhängigkeit von der akuten oder aufsummierten Belastung beobachtet werden (31,33), so dass ein einfaches Monitoring der aktuellen Beanspruchung bzw. Erholtheit über Laborwerte offensichtlich im Fußballsport nur begrenzt möglich ist. Inwiefern ein individualisiertes Profil mit ausgesuchten Laborwerten Potenzial besitzt, bleibt zukünftigen Studien vorbehalten. In jedem Fall wäre vor einer Anwendung ein mannschaftsweites Screening erforderlich, in dessen Rahmen die „Response“ einzelner Spieler für bestimmte Laborwerte zu erfassen ist. Auf diese Weise identifizierte Indikatoren könnten dann individuell Einsatz finden.

Alternative Parameter mit interessantem theoretischem Hintergrund, die aber nicht in der medizinischen Routine bestimmt werden und dementsprechend teurer sind, umfassen insbesondere hormonelle und metabolische Parameter. So wurde mehrfach anhand von Testosteron- oder Kortisolmessungen bzw. deren Quotient versucht, Ermüdungsprozesse abzubilden (9,10,15,16). Auch der Quotient aus Glutamin und Glutamat wurde bereits untersucht (9,10). Selbst wenn Mittelwertstatistiken diesen Parametern durchaus Potenzial zuweisen, lässt doch die Überlappung zwischen Normalbereich und auffälligem Bereich an einer ausreichenden Trennschärfe für eine verlässliche Beurteilung im Einzelfall zweifeln.

## PSYCHOMETRIE

Einen weiteren Ansatz zur Erfassung der aktuellen Erholtheit stellen psychometrische Fragebögen dar, zumal Erholtheit auch durch außersportliche Belange beeinflusst werden kann. Ihre Durchführung interferiert kaum mit dem Training selbst, und es wurden bereits mehrfach relativ gute Übereinstimmungen mit der kumulativen Belastung nachgewiesen (7,12,15,16,44). Während andere Parameter häufig nur eine Ebene der Beanspruchung abbilden, sind psychometrische Fragebögen potenziell integrativ, d.h. sie bilden die gemeinsame Endstrecke verschiedener Ermüdungsebenen und das Befinden einer Person ab.

Studien zum Befindensmonitoring nutzen überwiegend Borgs Rating of Perceived Exertion (RPE, (3)), das Profile of Mood States (POMS, (28)) oder den Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler (EBF-Sport, (23,24)). Mittels RPE konnte belegt werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen dem Trainingsstimulus und dem

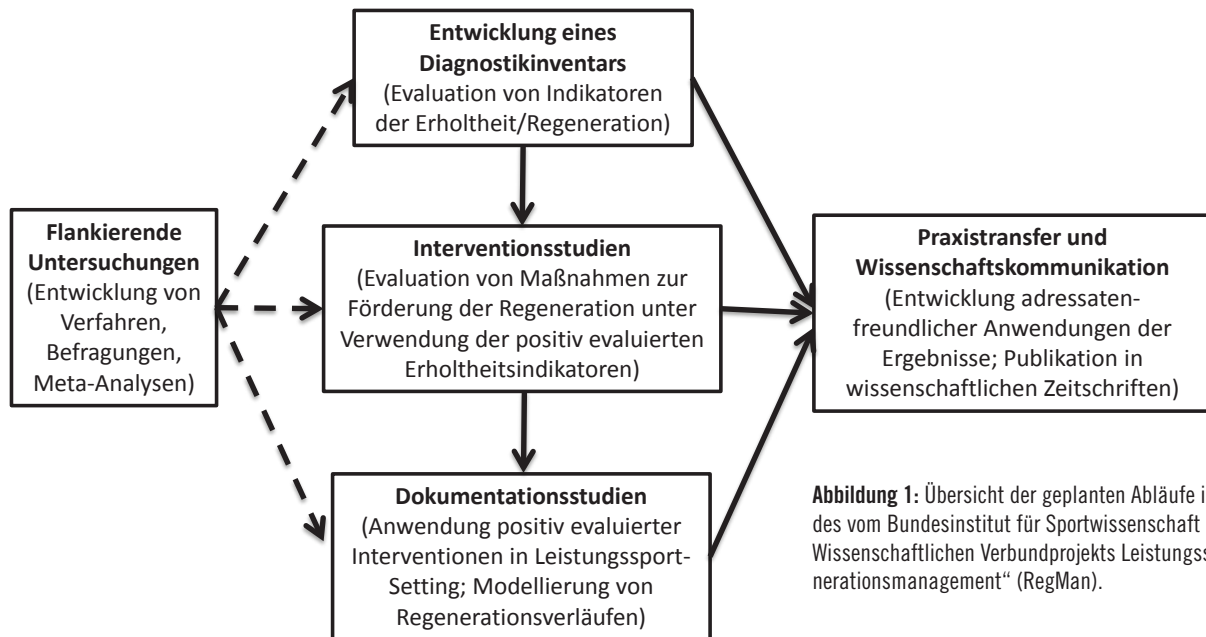
aktuell wahrgenommenen Erschöpfungsgrad der Athleten besteht. Der häufige Studieneinsatz geht darauf zurück, dass das RPE als Ein-Item-Einschätzung ein sehr ökonomisches Verfahren ist, das jedoch die multi-dimensionalen Aspekte von Erholung und Beanspruchung nicht erfassen kann (22). Dies realisiert das POMS, ein Fragebogen zur Erfassung von Stimmungen und Befindenszuständen. Morgan und Mitarbeiter (34) wiesen mit dem POMS nach, dass das Befinden ebenfalls eng mit dem Trainingsumfang zusammenhängt. Bei einer Zunahme des Umfangs verschlechtert sich das Befinden, verbessert sich jedoch bei einer erneuten Abnahme. Es ist allerdings unzureichend, Erholung nur durch das Ausbleiben oder eine Reduktion von Belastung zu charakterisieren. Deshalb ist das POMS für die differenzierte Betrachtung von Erholungsaspekten nur bedingt einsetzbar.

Der Total Quality Recovery (TQR, (25)) ist ein Fragebogen, der aus einer Kombination von Erholungsaktivitäten und -wahrnehmung die aktuelle Erholtheit abbildet. Demgegenüber erfasst der EBF-Sport (23,24) befindensorientierte Belastungs- und Erholungsaktivitäten und zeichnet ein differenziertes Bild des aktuellen Beanspruchungszustandes eines Sportlers im Hinblick auf zwölf unspezifische und sieben sportspezifische Dimensionen. Die verhaltensnahe Abbildung des Beanspruchungsgrades und des Erholungsausmaßes in den letzten drei Tagen/Nächten erlaubt eine weitgehende Unabhängigkeit von sehr kurzfristigen und geringfügigen Zustandsveränderungen. Beim TQR und bei der Erfassung von Muskelschmerzen (z.B. DOMS, delayed onset muscle soreness, (20)) werden einfache Skalierungen vorgenommen. Dem Wunsch der Sportpraxis nach zeitökonomischen Instrumenten entsprechend, entstanden der Daily Analysis of Life Demands for Athletes (DALDA, (41)) und das Erholungsverlaufsprotokoll (22).

Allerdings ist bei allen Verfahren zu berücksichtigen, dass Spieler durchaus den Zweck einzelner Fragen durchschauen. Es könnte einerseits nach sozialer Erwünschtheit geantwortet werden, andererseits ist aber auch eine bewusste Verfälschung im Sinne einer Förderung des eigenen Einsatzes beim nächsten Spiel denkbar. Daher ist ein solcher anwendungsorientierter Einsatz nur sinnvoll, wenn die Spieler vorher darüber aufgeklärt werden, dass ein „ehrliches“ Ausfüllen notwendig ist, um eine optimale Trainingssteuerung zu realisieren. Ein weiterer Aspekt ist die Zeit, die notwendig ist, um die Verfahren zu bearbeiten. Nicht ohne Grund wird die RPE aus ökonomischen Gründen häufig eingesetzt, denn die Bereitschaft regelmäßig längere Fragebogen zu beantworten, ist gering. Daher ist am ehesten zu empfehlen, eine Kombination aus regelmäßig (täglich oder wöchentlich) einzusetzenden kurzen Verfahren und zu ausgewählten Zeitpunkten (abgrenzbare Trainingsphasen) längere und folglich detailliertere Verfahren anzuwenden. Allerdings wurden in einer aktuellen Untersuchung durch die relative Ähnlichkeit der psychometrischen Profile unter hoher versus niedriger fußballspezifischer Belastung Zweifel an der Trennschärfe derartiger Vorgehensweisen im Leistungsfußball geweckt (12).

## ERGÄNZENDE VERFAHREN

Die meisten ergänzenden Verfahren greifen auf eine weitergehende Analyse der Herzfrequenz (Herzfrequenzvariabilität oder Herzfrequenzabfall) zurück. Die Erfassung solcher Parameter ist attraktiv, weil keine invasiven Messungen erforderlich sind. Es wurde für verschiedene Indikatoren der Herzfrequenzvariabilität gezeigt, dass sie vorwiegend sympathisch oder parasympathisch beeinflusst sind



**Abbildung 1:** Übersicht der geplanten Abläufe im Rahmen des vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft geförderten Wissenschaftlichen Verbundprojekts Leistungssport „Regenerationsmanagement“ (RegMan).

(2,4,38,42,43). Dies wiederum weist darauf hin, dass mit diesem Konzept Übertraining und/oder mangelnde Erholtheit zu detektieren sind, denn von vielen Autoren werden ein zu starkes Überwiegen des Sympathikus oder des Parasympathikus als ursächlich für diese Zustände angesehen. Dennoch konnte in verschiedenen Studien keine ausreichende Trennschärfe zwischen dem Normalzustand und der Situation nach intensiven Trainingsphasen dokumentiert werden (1,18). Insbesondere eine Überlegenheit der HRV gegenüber der weit simpler zu erfassenden Ruhe-Herzfrequenz war häufig nicht zu sichern (5). Ähnliches gilt auch für den Herzfrequenzabfall nach intensiven Belastungen. Hier ist zusätzlich zu erwähnen, dass die erforderlichen intensiven Belastungen allein für den Test bereits wieder mit dem Training interferieren.

Es wurden darüber hinaus Versuche unternommen, mit Hilfe von Belastungen, die noch intensiver als das übliche Training sind, eine verbesserte Differenzierung verschiedener Erholtheitszustände zu erreichen. Dies gelang teilweise auch mit sogenannten „Doppeltests“ und der hormonellen Reaktion darauf (30), die Störung des üblichen Trainingsprozesses ist jedoch bei diesem Vorgehen noch erheblicher.

Einen weiteren Marker, der bislang wenig untersucht ist, aber gerade im Fußball relevant sein könnte, stellt die psychomotorische Geschwindigkeit dar (35). Die Bestimmung erfolgt in der Regel durch einfache oder komplexe Reaktionstests. Kognitive und konzentrierte Beeinträchtigungen können die Handlungs- und Reaktionsschnelligkeit herabsetzen. Dies kann relevante Auswirkungen auf die fußballerische Leistungsfähigkeit haben. Vereinzelt Befunde nach intensiven Trainingsphasen bei Ausdauerathleten existieren (35,40). Untersuchungen an Mannschaftssportlern sind allerdings bislang nicht publiziert.

### FORSCHUNGSDEFIZIT

Es sollte deutlich geworden sein, dass für komplex aufgebaute Sportarten wie Fußball, in denen die Leistungsfähigkeit durch ver-

schiedene konditionelle und andere Faktoren bestimmt wird, bislang keine zuverlässigen und ökonomisch einsetzbaren Verfahren zur Erholtheitsdiagnostik etabliert sind. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass wenige Untersuchungen an Leistungssportlern und noch weniger an professionellen Fußballspielern durchgeführt werden konnten. Ableitungen mussten daher bislang von Studien an unterklassigen Fußballspielern oder an Athleten anderer Sportarten vorgenommen werden. Eine offensichtliche Forderung besteht demnach darin, dass entsprechende Forschung auch im Spitzenfußball zugelassen wird, will man wissenschaftliche (und damit auch praktische) Fortschritte erzielen. Dabei ist es wesentlich, dass realistische Belastungsszenarien aus dem Alltag verwendet werden, denn eine Ableitung von induzierten Überlastungs- oder gar Übertrainingszuständen wird der Wirklichkeit im Fußball vermutlich nicht gerecht.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Notwendigkeit von Erholung gelegentlich überschätzt wird, weil viele Trainingseffekte erst durch ein gewisses Maß an Ermüdung induziert werden. Die Stärke des Trainingsstimulus könnte dabei durchaus davon abhängen, wie lang die Ermüdung anhält. In diesem Sinne muss man in manchen (wettkampferneren) Trainingsphasen davon ausgehen, dass ein Maximum an Regeneration nicht immer wünschenswert ist. Das optimale Quantum Regeneration ist bislang noch nicht in Abhängigkeit von Saisonphasen bestimmbar, obwohl dies wünschenswert wäre.

Eine ähnliche Unsicherheit herrscht im Übrigen bei der Wahl von Methoden zur Unterstützung der Regeneration. Da nur wenige Studien existieren, die mit akzeptabler Methodik die Effektivität von regenerationsfördernden Maßnahmen evaluiert haben, ist ein Markt entstanden, auf dem mit bestenfalls pseudowissenschaftlichen Behauptungen die merkwürdigsten Produkte angeboten werden. Allein aus sportmedizinischer Verantwortung gegenüber unseren Leistungssportlern ist dringend wissenschaftliche Abhilfe geboten, um derartigen kommerziell motivierten Auswüchsen fundiert begegnen zu können.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Offensichtlich gibt es nicht den einen pragmatischen, trennscharfen und validen Parameter zur Beurteilung von Erholtheit und Ermüdung. Verschiedene Beanspruchungsebenen werden durch unterschiedliche Sportarten keinesfalls identisch angesprochen, so dass von einem sportartspezifischen Panel an Erholtheitsindikatoren auszugehen ist. Der integrativste Ansatz zur Erfassung von Erholtheit besteht offensichtlich in einer sehr sportartspezifischen Testung, diese ist jedoch in Situationen möglicher Überlastung meist nicht erwünscht, weil sie selbst die Ermüdung vertiefen kann. Zudem können gerade im Fußball erhebliche Probleme bei der standardisierten Erfassung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit bestehen, so dass die Trennschärfe im Einzelfall fraglich ist. Psychometrische Verfahren können ebenfalls ein „zusammenfassendes“ Bild liefern, sie sind jedoch verfälschbar, und eine erfolgreiche Anwendung über längere Zeiträume konnte im Fußball bislang nicht dokumentiert werden. Die sehr gute Objektivität und Reliabilität von Laborwerten steht in gewissem Gegensatz zu ihrer beschränkten Aussagekraft, die meist lediglich eine Beanspruchungs- und Erschöpfungsebene umfasst. Neue Laborparameter mögen Potenzial besitzen, sind jedoch teilweise aufwändig in der Bestimmung und relativ teuer. Einfache ergometrische Tests müssen sehr präzise ausgeführt werden und dürfen in ihrer Aussagekraft nicht überschätzt werden. Ähnliches gilt für Parameter, die aus Registrierungen der Herzfrequenz abgeleitet werden.

Für die Diagnostik von Erholtheit und Regenerationsbedarf im Fußball bedeutet dies, dass sehr gezielt und ggf. auf mehreren Ebenen gleichzeitig analysiert werden muss. Will man eine aussagekräftige Batterie von Parametern für eine Mannschaft etablieren, ist es unbedingt empfehlenswert, eine Phase der Baseline-Messungen vorzuschalten, in der für jeden einzelnen Spieler die intraindividuelle Variabilität der Messungen dokumentiert wird. In diesem Zeitraum sollte die äußere Belastung in realistischem Rahmen schwanken, so dass die „Response“ auf diese Veränderungen für jeden einzelnen Spieler erfassbar wird. Sinnvollerweise wird mit dem Trainer vereinbart, dass in der Baseline-Phase noch keine weitergehenden Aussagen zum Regenerationsbedarf getroffen werden. Dies sollte anhand einer gezielten Auswahl von Parametern anschließend zumindest für die Responder möglich sein.

Um die Unsicherheit mit Bezug auf Regenerationsbedarf und -methoden zu verringern, hat das Bundesinstitut für Sportwissenschaft ein 4-jähriges Wissenschaftliches Verbundprojekt Leistungssport (IIA1-081901/12-16; graphische Übersicht in Abb.1) an die Universitäten Saarbrücken, Bochum und Mainz (Autoren 1-4 dieses Artikels) vergeben. Die gemeinsamen Planungen und Besprechungen sind in diese Übersicht eingeflossen.

*Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: keine.*

## LITERATUR

1. **ACHTEN J, JEUKENDRUP AE:** Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 33 (2003) 517-538. doi:10.2165/00007256-200333070-00004.
2. **AUBERT AE, SEPS B, BECKERS F:** Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 33 (2003) 889-919. doi:10.2165/00007256-200333120-00003.
3. **BORG G, NOBLE B:** Perceived exertion. *Exerc Sport Sci Rev* 2 (1974) 131-154. doi:10.1249/00003677-197400020-00006.
4. **BORRESEN J, LAMBERT MI:** Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med* 38 (2008) 633-646. doi:10.2165/00007256-200838080-00002.
5. **BOSQUET L, MERKARI S, ARVISAIS D, AUBERT AE:** Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med* 42 (2008) 709-714. doi:10.1136/bjsm.2007.042200.
6. **BRINK MS, VISSCHER C, ARENDS S, ZWERVER J, POST WJ, LEMMINK KA:** Monitoring stress and recovery: new insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *Br J Sports Med* 44 (2010) 809-815. doi:10.1136/bjsm.2009.069476.
7. **BRINK MS, VISSCHER C, COUTTS AJ, LEMMINK KA:** Changes in perceived stress and recovery in overreached young elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 22 (2012) 285-292. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01237.x.
8. **CARLING C, LE GALL F, DUPONT G:** Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *Int J Sports Med* 33 (2012) 36-42. doi:10.1055/s-0031-1283190.
9. **COUTTS A, REABURN P, PIVA TJ, MURPHY A:** Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *Int J Sports Med* 28 (2007) 116-124. doi:10.1055/s-2006-924145.
10. **COUTTS AJ, REABURN P, PIVA TJ, ROWSELL GJ:** Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur J Appl Physiol* 99 (2007) 313-324. doi:10.1007/s00421-006-0345-z.
11. **DUPONT G, NEDELEC M, MCCALL A, MCCORMACK D, BERTHOIN S, WISLOFF U:** Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 38 (2010) 1752-1758. doi:10.1177/0363546510361236.
12. **FAUDE O, KELLMANN M, AMMANN T, SCHNITTKER R, MEYER T:** Seasonal changes in stress indicators in high level football. *Int J Sports Med* 32 (2011) 259-265. doi:10.1055/s-0030-1269894.
13. **FAUDE O, MEYER T:** Regeneration im Leistungssport. *Leistungssport* 42 (2012) 5-11.
14. **FAUDE O, SCHLUMBERGER A, FRITSCH T, TREFF G, MEYER T:** Leistungsdiagnostische Testverfahren im Fußball - methodische Standards. *Dtsch Z Sportmed* 61 (2010) 129-133.
15. **FILAIRE E, BERNAIN X, SAGNOL M, LAC G:** Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol* 86 (2001) 179-184. doi:10.1007/s004210100512.
16. **FILAIRE E, LAC G, PEQUIGNOT JM:** Biological, hormonal, and psychological parameters in professional soccer players throughout a competitive season. *Percept Mot Skills* 97 (2003) 1061-1072.
17. **GREGSON W, DRUST B, ATKINSON G, SALVO VD:** Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med* 31 (2010) 237-242. doi:10.1055/s-0030-1247546.
18. **HALSON SL, JEUKENDRUP AE:** Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med* 34 (2004) 967-981. doi:10.2165/00007256-200434140-00003.
19. **HARALAMBIE G, BERG A:** Serum urea and amino nitrogen changes with exercise duration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 36 (1976) 39-48. doi:10.1007/BF00421632.
20. **IMPELLIZZERI FM, MAFFIULETTI NA:** Convergent evidence for construct validity of a 7-point likert scale of lower limb muscle soreness. *Clin J Sport Med* 17 (2007) 494-496. doi:10.1097/JSM.0b013e31815aed57.
21. **ISPIRLIDIS I, FATOUROS IG, JAMURTAS AZ, NIKOLAIDIS MG, MICHAELIDIS I, DOUROUDOS I, MARGONIS K, CHATZINIKOLAOU A, KALISTRATOS E, KATRABASAS I, ALEXIOU V, TAXILDARIS K:** Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med* 18 (2008) 423-431. doi:10.1097/JSM.0b013e3181818e0b.
22. **KELLMANN M:** Underrecovery and overtraining: different concepts - similar impact? *Enhancing Recovery: Preventing Underperformance in Athletes.* Kellmann M. Champaign (Ill.), Human Kinetics, 2002, 3-24.

23. KELLMANN M, KALLUS KW: Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler; Manual. Frankfurt, Swets Test Services, 2000.
24. KELLMANN M, KALLUS KW: The recovery-stress questionnaire for athletes: user manual. Champaign (Ill.), Human Kinetics, 2001.
25. KENTTÄ G, HASSMÉN P: Overtraining and recovery - a conceptual model. *Sports Med* 26 (1998) 1 - 16.
26. KRAEMER WJ, FRENCH DN, PAXTON NJ, HAKKINEN K, VOLEK JS, SEBASTIANELLI WJ, PUTUKIAN M, NEWTON RU, RUBIN MR, GOMEZ AL, VESCOVI JD, RATAMESS NA, FLECK SJ, LYNCH JM, KNUTTGEN HG: Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 121 - 128.
27. LAGO-PEÑAS C, REY E, LAGO-BALLESTEROS J, CASAIS L, DOMINGUEZ E: The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res* 25 (2011) 2111-2117. doi:10.1519/JSC.0b013e3181eccdd2.
28. MCNAIR D, LORR M, DROPPLEMANN LF: Profile of Mood States Manual. San Diego, Educational and Industrial Testing Service, 1992.
29. MEEUSEN R, DUCLOS M, GLEESON M, RIETJENS G, STEINACKER J, URHAUSEN A: Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome - ECSS Position Statement 'Task Force'. *Eur J Sport Sci* 13 (2012) 1-24. doi:10.1080/17461390600617717.
30. MEEUSEN R, NEDERHOF E, BUYSE L, ROELANDS B, DE SCHUTTER G, PIACENTINI MF: Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *Br J Sports Med* 44 (2010) 642-648. doi:10.1136/bjism.2008.049981.
31. MEISTER S, FAUDE O, AMMANN T, SCHNITTKER R, MEYER T: Indicators for high physical strain and overload in elite football players. *Scand J Med Sci Sports*, 2011. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01354.x.
32. MEYER T: Regeneration im Leistungssport. *Dtsch Z Sportmed* 61 (2010) 127 - 128.
33. MEYER T, MEISTER S: Routine blood parameters in elite soccer players. *Int J Sports Med* 32 (2011) 875-881. doi:10.1055/s-0031-1280776.
34. MORGAN WP, BROWN DR, RAGLIN JS, O'CONNOR PJ, ELLICKSON KA: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *Br J Sports Med* 21 (1987) 107 - 114. doi:10.1136/bjism.21.3.107.
35. NEDERHOF E, LEMMINK K, ZWERVER J, MULDER T: The effect of high load training on psychomotor speed. *Int J Sports Med* 28 (2007) 595 - 601. doi:10.1055/s-2007-964852.
36. NEDERHOF E, LEMMINK KA, VISSCHER C, MEEUSEN R, MULDER T: Psychomotor speed: possibly a new marker for overtraining syndrome. *Sports Med* 36 (2006) 817 - 828. doi:10.2165/00007256-200636100-00001.
37. NEWHAM DJ, JONES DA, EDWARDS RH: Plasma creatine kinase changes after eccentric and concentric contractions. *Muscle Nerve* 9 (1986) 59-63. doi:10.1002/mus.880090109.
38. PERINI R, VEICSTEINAS A: Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol* 90 (2003) 317 - 325. doi:10.1007/s00421-003-0953-9.
39. REBELO AN, CANDEIAS JR, FRAGA MM, DUARTE JA, SOARES JM, MAGALHAES C, TORRINHA JA: The impact of soccer training on the immune system. *J Sports Med Phys Fitness* 38 (1998) 258 - 261.
40. RIETJENS GJ, KUIPERS H, ADAM JJ, SARIS WH, VAN BREDA E, VAN HAMONT D, KEIZER HA: Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training-induced fatigue. *Int J Sports Med* 26 (2005) 16 - 26. doi:10.1055/s-2004-817914.
41. RUSHALL BS, PYKE FS: Training for Sports and Fitness. Melbourne, Macmillan, 1991.
42. SANDERCOCK GR, BRODIE DA: The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scand J Med Sci Sports* 16 (2006) 302 - 313. doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00556.x.
43. SANDERCOCK GR, BROMLEY PD, BRODIE DA: Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) 433 - 439. doi:10.1249/01.MSS.0000155388.39002.9D.
44. SCHMIKLI SL, DE VRIES WR, BRINK MS, BACKX FJ: Monitoring performance, pituitary-adrenal hormones and mood profiles: how to diagnose non-functional over-reaching in male elite junior soccer players. *Br J Sports Med* 46 (2012) 1019 - 1023. doi:10.1136/bjsports-2011-090492.
45. SIEGLE M, GEISEL M, LAMES M: Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball. *Dtsch Z Sportmed* 63 (2012) 278 - 282.
46. SINGH TK, GUELFY KJ, LANDERS G, DAWSON B, BISHOP D: A comparison of muscle damage, soreness and performance following a simulated contact and non-contact team sport activity circuit. *J Sci Med Sport* 14 (2011) 441 - 446. doi:10.1016/j.jsams.2011.03.008.
47. URHAUSEN A, KINDERMANN W: Biochemical Monitoring of Training. *Clin J Sport Med* 2 (1992) 52 - 61. doi:10.1097/00042752-199201000-00009.
48. URHAUSEN A, KINDERMANN W: Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Med* 32 (2002) 95 - 102. doi:10.2165/00007256-200232020-00002.
49. WARREN GL, LOWE DA, ARMSTRONG RB: Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 27 (1999) 43 - 59. doi:10.2165/00007256-199927010-00004.

**Korrespondenzadresse:**

**Prof. Dr. Tim Meyer**

**Institut für Sport- und Präventivmedizin**

**Universität des Saarlandes**

**Campus, Geb. B 8-2**

**66123 Saarbrücken**

**E-Mail: tim.meyer@mx.uni-saarland.de**