

Spektrale Ermüdungsschätzung

(AZ 070511/12)

Martin Lames (Projektleiter) & Malte Siegle

Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft,
Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

1 Problem

Seit der routinemäßigen Verfügbarkeit von Positionsdaten im Fußball steht eine Vielzahl an Informationen über das Bewegungsverhalten der Sportlerinnen und Sportler zur Verfügung. Mit Hilfe eines Methodentransfers aus der Analyse der neuromuskulären Ermüdung sollte ein Spektraler Ermüdungsindex (SFI) entwickelt werden, mit dem auf Basis von Positionsdaten Aussagen über den Grad der Ermüdung der Sportlerinnen und Sportler getroffen werden können. Hierfür wurden zwei Projektziele formuliert:

- › Erarbeitung eines Feintunings für die Bestimmung des SFI (inklusive Anwendung verschiedener Verfahren zur Spektralanalyse)
- › Validierung des SFI anhand von Trainings- und Wettkampfdaten und Abgleich mit physiologischen Ermüdungsindikatoren.

2 Methode

2.1 Optimierungsstudie

Um optimale Ergebnisse durch die neue Methode erzielen zu können, wurden unterschiedliche Verfahren zur Spektralanalyse, verschiedene Fenstergrößen, sowie Parameter der Datenverarbeitung getestet.

Das optimale Verfahren bezüglich sämtlicher Kriterien ist die Wavelet Packet Decomposition mit den D2 Koeffizienten nach Daubechies (WPD D2). Dem steht die weit verbreitete und intuitivere Short-time Fourier Transform (SFT) gegenüber. Da in einer speziellen Untersuchung (Bartels, 2012) sich jedoch ergab, dass WPD D2 in der Prädiktion zwar eine etwas kleinere Abweichungsrate, aber mehr Ausreißer produziert, wird bis auf weiteres für die Verwendung der SFT plädiert. Damit können die aus der vorgenommenen Studie abgeleiteten, konkreten Empfehlungen zur SFI-Berechnung wie folgt zusammengefasst werden:

- › Spektralanalytisches Verfahren: Short-time Fourier Transformation
- › Breite des Datenfensters: 5-20 Sekunden
- › Referenzmedian: Unkritisch im Bereich von 0.20-0.50
- › Absolutmedian: Kritisch, sorgfältig auf Daten/Verfahren abstimmen, Empfehlung 0.60-0.80
- › Der relative SFI sollte dem absoluten SFI vorgezogen werden.
- › Quasi-Peak-Filter Vorwärts: Kritisch, Empfehlung >0.80
- › Quasi-Peak-Filter Rückwärts: Unkritisch, Empfehlung 0.40-0.80.

2.2 Validierungsstudie

Gemäß dem eingangs formulierten Projektziel der Validierung des SFI und dem Vergleich mit physiologischen Ermüdungsindikatoren wurde eine entsprechende Studie durchgeführt. Zur Ermittlung der Positionsdaten wurde das TUM-eigene, mobile, radarbasierte LPM (Local Position Measurement) System eingesetzt.

Ziel bei der Wahl der Spielformparameter war es, eine möglichst hohe Belastung zu erzeugen. Folglich wurde ein 2 vs. 2 Kleinfeld-Fußballspiel auf einem 20 m x 20 m großen Spielfeld durchgeführt. Es wurden 5 Belastungsphasen à 3 Minuten mit 2 Minuten Pause angesetzt. Bei den Beteiligten handelte es sich um erfahrene Fußballspieler aus dem hochklassigen Amateurbereich (Regionalliga). Jedem Team wurde ein „Trainer“ zugeteilt, der motivierend von außerhalb des Feldes dafür sorgte, dass die Belastung hoch gehalten wird. Zur Sicherung einer möglichst hohen Intensität wurden weiter um das Spielfeld herum Personen positioniert mit der Aufgabe, bei Ausbällen sofort nach der Einwurf-Regel einem Spieler einen Ersatzball zuzuspielen, so dass es zu keinen Belastungspausen kam.

2.3 Variation der Vorbelastung und Wahl der Parameter

Da die Studie den Abgleich von physiologischen Ermüdungsindikatoren mit dem SFI zum Gegenstand hatte, wurde die Trainingsübung an zwei um eine Woche verschobenen Mess-Terminen unter Variation der Vorbelastung durchgeführt: Termin 1 (23.11.2012): ohne Vorbelastung und Termin 2 (30.11.2012): mit Vorbelastung. Beide Termine wurden zur selben Uhrzeit und zu möglichst gleichen Bedingungen (Schlafdauer, Ernährung) durchgeführt, um den Einfluss des circadianen Rhythmus zu minimieren.

Zum ersten Termin begannen die Spielformen unmittelbar nach Beendigung des Aufwärmprogramms. Im Vergleich dazu wurde beim zweiten Termin vor Beginn der Spielformen ein Shuttle-Run-Test bis zur Ausbelastung durchgeführt.

Als Vergleichsparameter dienten der SFI, Geschwindigkeit, Herzfrequenz (aufgrund einer Systemweiterentwicklung nur beim zweiten Testtermin), Rated Perceived Exertion (RPE) und Laktat.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse einzelner Parameter dargestellt. Abb. 1 zeigt den Verlauf des SFI im Mittelwert zu beiden Testterminen im Vergleich zu einem theoretisch idealen Verlauf unter den gegebenen Testbedingungen

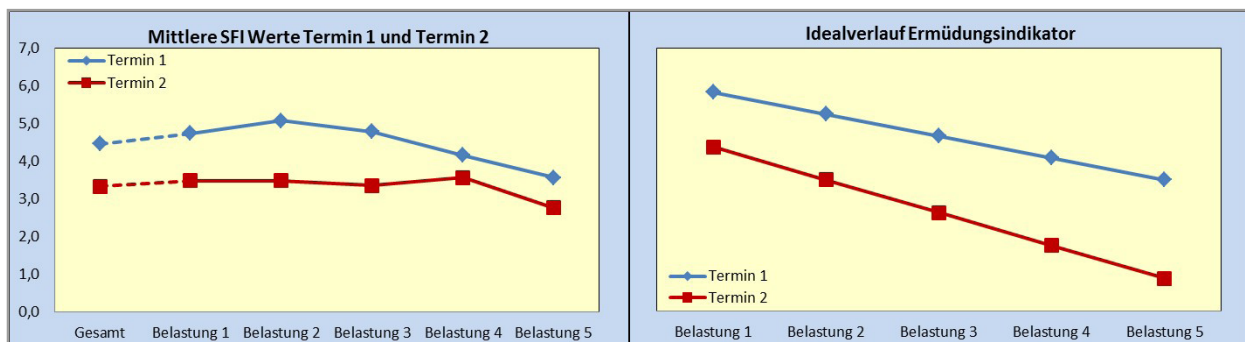


Abb. 1: Vergleich des empirischen SFI-Verlaufs (links) mit einem theoretisch idealen SFI-Verlauf (rechts).

Vergleicht man den Idealverlauf eines Ermüdungsindikators bei dieser Spielform und Design mit den empirisch gewonnenen Daten (Abb. 1), lässt sich feststellen, dass eine große Ähnlichkeit der Werte vorherrscht. Bei Termin 1 nimmt die Ermüdung nach dem ersten Intervall kontinuierlich ab (ohne Vorbelastung!), während im 2. Termin das niedrigere Leistungsniveau (Vorbelastung!) bis zum 4. Belastungsintervall noch aufrechterhalten werden kann. Abb. 2 zeigt die Ergebnisse der Laktat-Analyse.

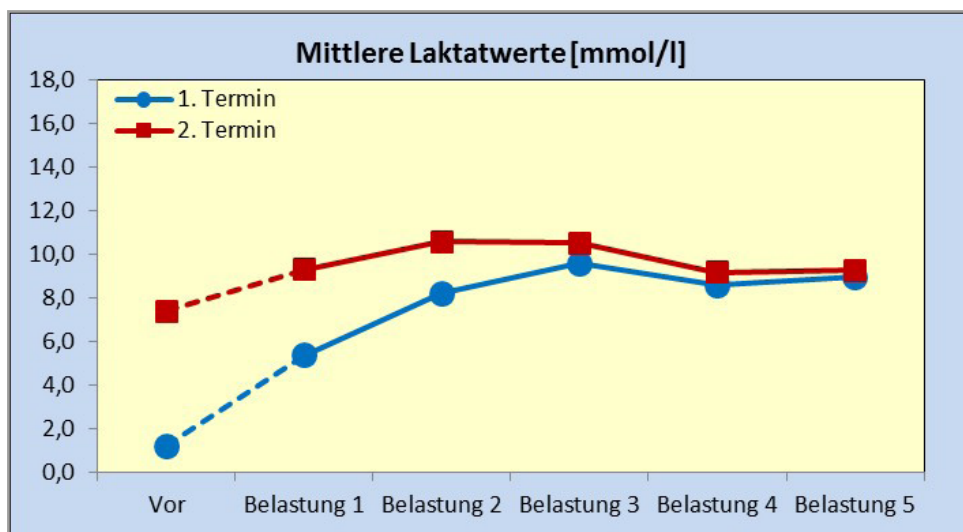


Abb. 2: Mittelwerte Laktat aller Testpersonen.

Die Abbildung zeigt deutlich, dass es bei beiden Terminen zu einer starken Ausbelastung der Testpersonen kam. Während bei Termin 1 keine Vorermüdung bestand (Mittelwert vor Belastung 1,2 mmol/l), führte der Shuttle-Run vor Beginn der Belastungsphasen bei Termin 2 zu einer hohen Vorermüdung (Mittelwert 7,4 mmol/l). Im Verlauf beider Termine ist klar zu erkennen, dass es zu einem Anstieg der Ermüdung kommt, der in einer maximalen Belastung endet. Hervorzuheben ist die Tatsache, dass es sich bei Spieler 1 und 4 um sehr junge Probanden handelte; dies ist an den hohen Laktatwerten zu erkennen. Die Ergebnisse der Herzfrequenzanalyse des zweiten Testtermins werden in Abb. 3 dargestellt.

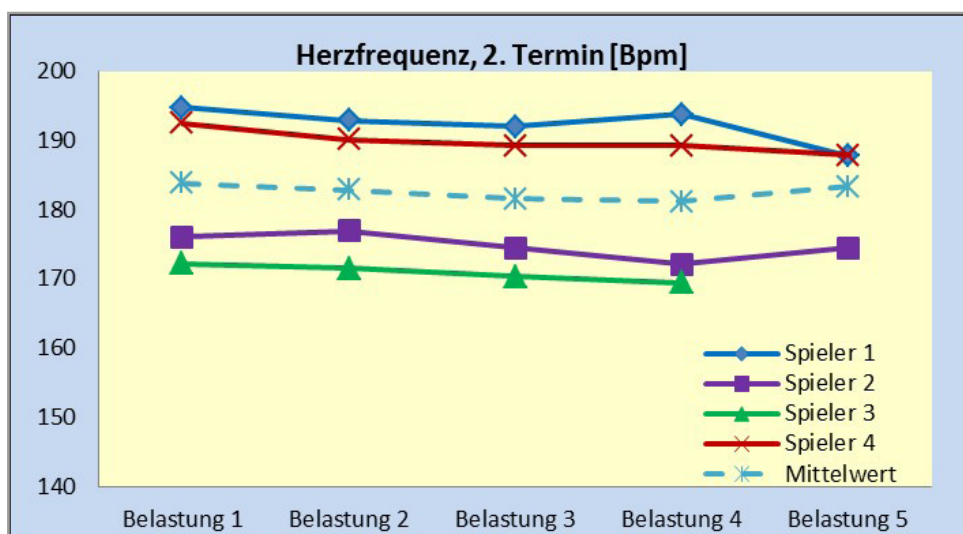


Abb. 3: Mittlere Herzfrequenz Termin 2.

Abb. 3 verdeutlicht nochmals die Ausbelastung der Testpersonen während Termin 2. Die Beteiligten sind nach der Vorbelastung an der maximalen Herzfrequenz angekommen, die sich im Verlauf der Belastung nicht mehr steigert und somit einen Deckeneffekt aufweist. Im Mittelwert der drei vollständigen Datensätze deutlich erkennbar zeigt sich, dass sich die Werte sogar im Verlauf des Tests verringern. Eine Aussage über den Ermüdungszustand auf Basis dieser Werte wäre irreführend und kann in der Sportspielpraxis nicht als Maßstab verwendet werden.

Die Analyse der RPE-Werte ergab eine konstant steigende subjektiv gefühlte Belastung bei allen Testpersonen. Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsanalysen verstärken die von Siegle, Geisel und Lames (2012) Position, dass Geschwindigkeit im Sportspiel kein Belastungsindikator sein kann. Es zeigten sich keine Veränderungen der Bewegungsgeschwindigkeiten im Verlauf beider Testtermine.

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Analyse von Ermüdung mit Hilfe des neu entwickelten SFI erfolgreich war. Auch der Vergleich mit anderen physiologischen Parametern fällt positiv aus, da diese jeweils selbst problembehaftet sind. Im Gegensatz zu den Parametern Laktat und Herzfrequenz zeigt sich kein asymptotisches Verhalten des SFI. Die Aussagekraft von Geschwindigkeitsdaten ist eingeschränkt. Eine Interpretation des Rückgangs von Laufumfängen kann aufgrund zu vieler Einflussfaktoren (Unterbrechungen, Spielstand, vgl. Siegle, Geisel & Lames, 2012) nicht als valider Indikator herangezogen werden. Ebenfalls scheint die Verwendung der RPE-Werte nicht zuverlässig genug, um einen neuen Indikator zu prüfen bzw. Aussagen über den Ermüdungsgrad treffen zu können, da eine hoch subjektive Komponente in dieses Verfahren mit einfließt.

Mit Hilfe des SFI kann es in Zukunft gelingen, Ermüdung in Sportspielen zuverlässig zu untersuchen. Der nicht-invasive Charakter und die prinzipielle Verfügbarkeit der Informationen in Echtzeit lassen den SFI auch für die praktische Trainingssteuerung geeignet erscheinen.

5 Literatur

Bartels, O. (2012). Bewertung unterschiedlicher Spektraltransformationen auf ihre Eignung zur Berechnung eines spektralen Ermüdungsindex im professionellen Fußball. unveröff. Bachelorarbeit, TU München.

Siegle, M., Geisel, M. & Lames, M. (2012). Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63 (9), 278-282.