
Optimierung der Trainingssteuerung im Spitzensport: Anwendung neuronaler Netze zur Modellierung von Trainingswirkungen und im Gesundheitsmonitoring

(AZ 070503/09)

Benjamin Haar (Projektleiter), Rolf Brack & Wilfried W. Alt

Universität Stuttgart, Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft

Einleitung

Die zunehmende Trainingsbelastung am Rande der Adaptationskapazität erfordert ein intensives Gesundheitsmonitoring, um Überlastungsfolgen wie Übertrainingszuständen oder einem erhöhten Verletzungs- und Infektionsrisiko vorzubeugen. Aus der Erholungs-/Beanspruchungsforschung verschiedener sportwissenschaftlicher Disziplinen ist eine Vielzahl von physiologischen Diagnoseindikatoren und -instrumenten hervorgegangen (im Überblick Halson & Jeukendrup, 2004). Keiner dieser Belastungsmarker kann in der Erholungs-/Beanspruchungsdiagnostik allein hinreichende Aussagekraft aufweisen. Psychologische Indikatoren scheinen hingegen relativ stabil und sensitiv zu sein, um potentielle Anzeichen für einen Überlastungszustand zu erkennen (Kellmann, 2000). Bislang fehlen aber Forschungsansätze, die strukturell erklärend und integrativ den Zusammenhang zwischen physiologischen als auch psychologischen Kenngrößen und der Leistungsentwicklung betrachten, um daraus eine verbesserte Kontrolle des Erholungs-/Beanspruchungszustandes zu erreichen.

Methodik

In der Studie nahmen 7 männliche Probanden einer Handball Bundesligamannschaft teil. Abb. 1 veranschaulicht das grundlegende Gesundheitsmonitoringsystem. Im Sinne einer hohen Praxistauglichkeit wurden in dieser Studie nur Methoden berücksichtigt, mit denen einfach und regelmäßig Gesundheits-, Leistungs- und Erholungs-/Beanspruchungsparameter erfasst werden können. Zudem wurde darauf geachtet, dass keine besonderen infrastrukturellen Rahmenbedingungen vorhanden sein mussten. Die Eingabedaten wurden wöchentlich jeweils freitags erfasst. In Ausnahmefällen wurden die Daten donnerstags erhoben, wenn freitags aufgrund einer Spielreise kein Training stattfinden konnte. In den Kalenderwochen 8, 30 und 44 waren keine Messungen möglich. Im weiteren Verlauf wird die Methodik der Datenerhebung näher beschrieben.

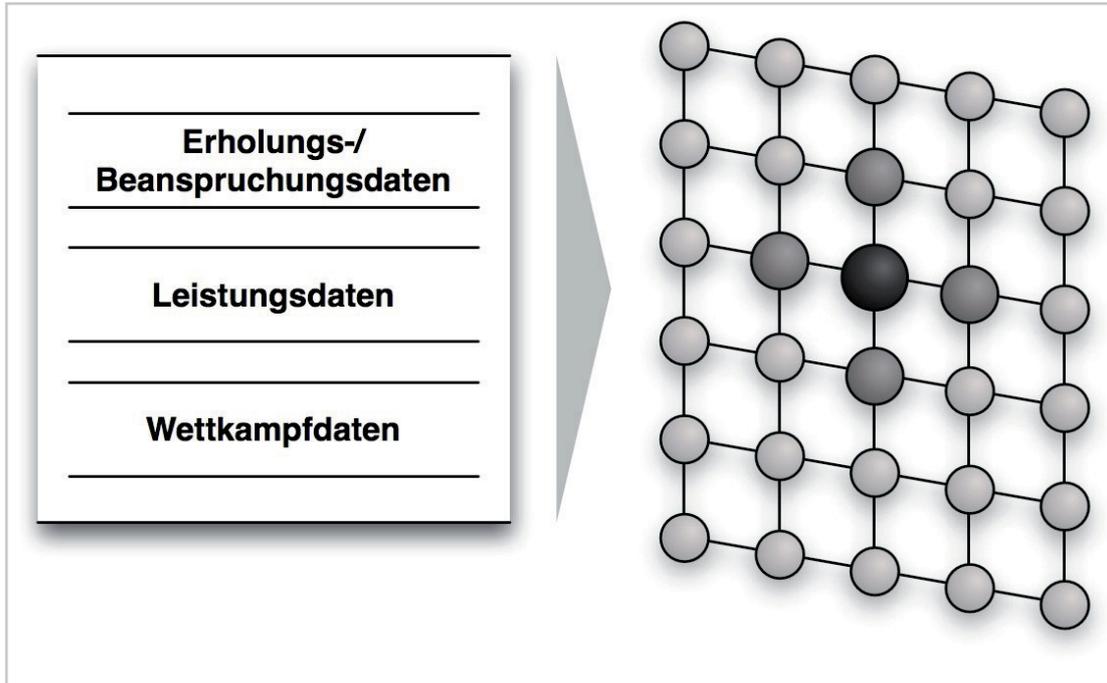


Abb. 1. Schematische Darstellung des Gesundheitsmonitorings. Eine selbstorganisierende Karte wird mit Gesundheits-, Leistungs- und Erholungs-/Beanspruchungsdaten trainiert, um Leistungszustände identifizieren zu können.

Körpermasse - Die Körpermasse der Spieler wurde stets vor der Sprungkraftdiagnostik zu Beginn einer Trainingseinheit mit derselben Waage (Soehnle, Body Balance Caribic) gemessen.

Erholungs-/Beanspruchungszustand - Die Erholungs-/Beanspruchungsdiagnostik erfolgte einmal pro Woche mit dem EVP (Kellmann, 2000). Die Athleten füllten den Fragebogen jeweils morgens zum jeweiligen Messzeitpunkt aus. Bei allen Athleten wurden zudem chronische und akute Verletzungen des Bewegungsapparates dokumentiert. Dabei wurden exakt die Art der Verletzung, die Verletzungsursache und die Behandlungsdauer protokolliert. Als weitere Überlastungsfolgen wurden alle Infektionskrankheiten bei den Athleten erfasst.

Ausdauerleistungsfähigkeit - Die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde mit dem Polar Fitness Test (Polar Electro, Kempele, Finnland) gemessen. Dieser Test schätzt die maximale aerobe Leistungsfähigkeit anhand von Herzfrequenzmerkmalen und personenspezifischen Daten mit einem Neuronale-Netze-Algorithmus. Der Korrelationskoeffizient von spiroergometrisch gemessener VO_{2max} und dem Testergebnis beträgt $r = 0.97$ (Väinämö et al., 1996). Damit kann vor allem in einer Sportspielmannschaft mit geringem Aufwand eine wöchentliche Ausdauerdiagnostik durchgeführt werden.

Sprungkraft - Die Bestimmung der Schnell- und Reaktivkraft erfolgte mit zwei Tests zum Sprungkraftverhalten (SquatJump und DropJump), die detailliert von Gollhofer (1987) beschrieben werden. Die Messung erfolgte mit einem speziellen EDV-gesteuerten Lichtschrankensystem (SMARTSPEED, Fusion Sport), das den Aufwand für die Durchführung und Auswertung des Tests auf ein Minimum reduziert. Es wurden beim SquatJump die Sprunghöhe und beim DropJump der Reaktivitätsindex (RI) bestimmt.

Wettkampfleistung - Die Wettkampfleistung wurde als Spielleistung über den Spielwirksamkeitsindex gebildet. Bei diesem empirischen Messverfahren steht die individuelle Spielleistung als Kriterium und Spitze der Leistungsfähigkeit im Mittelpunkt. Einflüsse von Mitspielern, Gegnern oder des Schiedsrichters finden dabei keine Berücksichtigung. Der Messtheoretische Ansatz geht dabei von der Grundannahme aus, dass die individuelle Spielleistung als „absolute individuelle Häufigkeitsbilanz“ (Brack, 2002, S. 171) gewichteter positiver und negativer Spielhandlungen zu ermitteln ist. Der SWI wurde in der Hinrunde und in der Rückrunde von zwei unterschiedlichen Personen individuell für jeden Athleten und jedes Spiel erfasst. Die Beschreibung der Beobachtungskategorien bzw. die Definition der Spielhandlungen orientierte sich an einer bewährten Methodik im Handball (Rascher, 2003).

Gesundheitsmonitoring - Die Prävention von Überlastungsfolgen erfordert ein intensives Gesundheitsmonitoring. Die Notwendigkeit einer multivariaten Analyse von Gesundheits-, Leistungs- und Erholungs-/Beanspruchungsdaten hat sich aus den Defiziten in diesem Problembereich ergeben. Ziel muss es demnach sein, negative Veränderungen zu identifizieren, damit durch präventive Maßnahmen Überlastungsfolgen vermieden werden können. Hierfür wurde in der vorhandenen Datenmenge nach Strukturen gesucht, die Auskunft über den aktuellen Leistungszustand geben. Selbstorganisierende Karten (self-organizing maps; SOM) können zur Klassifikation von multivariaten Datensätzen eingesetzt werden, indem Ähnlichkeitsbeziehungen der Eingabedaten in einem Netz repräsentiert werden (Kohonen, 1982a; 1982b). In dieser Studie wurde für jeden Athleten eine SOM mit den individuellen Gesundheits-, Leistungs- und Erholungs-/Beanspruchungsdaten trainiert. Hierfür wurde die SOM Toolbox für Matlab eingesetzt. Damit kann die SOM Toolbox für die Vorverarbeitung der Daten, die Initialisierung und das Training der SOM eingesetzt werden. Nach dem Training des Netzes wurden verschiedene Zustände eines Athleten innerhalb der Struktur abgegrenzt und mit den Leistungswerten der quantitativen Spielbeobachtung und den Verletzungsdaten abgeglichen. Lediglich für die Probanden 5, 6 und 7 war eine ausreichende Zahl an Datensätzen vorhanden. Daher wurde der explorative Ansatz zum Gesundheitsmonitoring auf diese Versuchspersonen beschränkt.

Ergebnisse

Für diese Studie wurden zur Visualisierung Funktionen gewählt, die das neuronale Netz als regelmäßig angeordnetes Gitter von hexagonalen Neuronen darstellen.

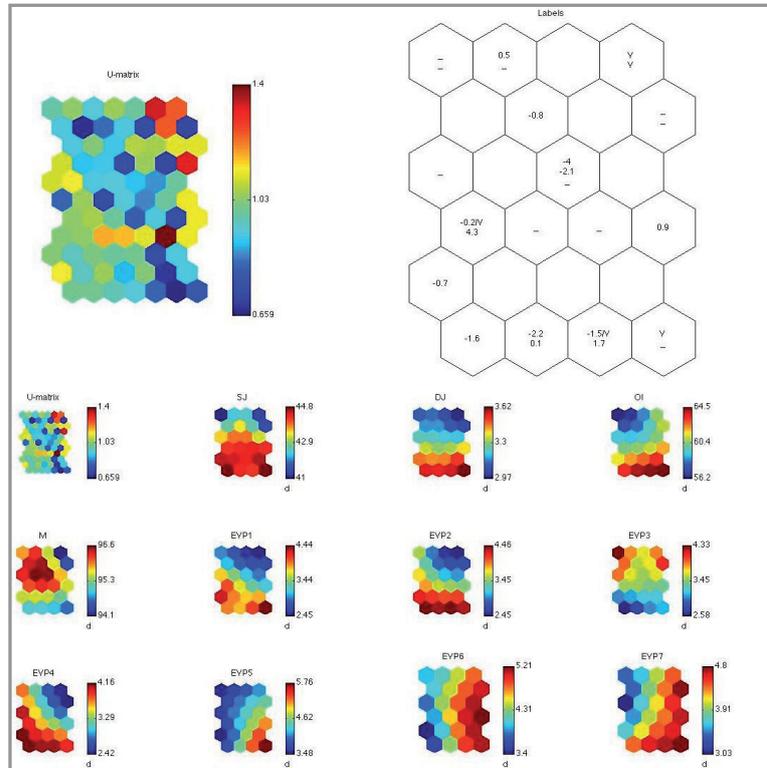


Abb. 2. Die Abbildung zeigt die U-Matrix, die gelabelte SOM und die Variablenverteilung nach der Strukturierung der SOM für Proband 7.

In dieser graphischen Darstellungsform lassen sich unterschiedliche Analyseinstrumente abbilden:

- a) Die U-Matrix (unified distance matrix) gibt die Struktur des trainierten Netzes wieder. Darin werden die Abstände zwischen den Gewichtsvektoren benachbarter Neuronen in der Ausgangserschicht des Netzes visualisiert. Geringe Abstände drücken sich in einer hellen Schattierung und große Abstände in einer dunklen Schattierung aus. Gruppen oder Cluster innerhalb des Netzes lassen sich dann anhand einheitlicher Bereiche mit heller Schattierung identifizieren, an die Clustergrenzen mit hohen Distanzwerten oder dunkel markierten Zellen anschließen. Da in dieser Abbildungsform nicht die Neuronen des Netzes sondern Nachbarschaftsbeziehungen dargestellt werden, ist die Anzahl der abgebildeten Zellen größer.
- b) Eine weitere Abbildung des Netzes wird jeweils ohne farbliche Markierung dargestellt und kann somit für das Labeling genutzt werden. Beim Labeling werden die entsprechenden Leistungswerte der Spielbeobachtung und die dokumentierten Verletzungen auf das Netz übertragen. Dieser Analyseschritt ist letztlich von großer Bedeutung, da hiermit der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Merkmalsgruppen und der Bezeichnung der Datensätze hergestellt werden kann.

c) Die Merkmalsabbildungen zeigen durch die Wertverteilung der einzelnen Variablen, in welcher Form sich einzelne Variablen auf die Strukturierung der SOM auswirken. Somit kann für jedes Neuron anhand der Schattierung aus dem abgebildeten Farbbalken die Ausprägung im entsprechenden Merkmal abgelesen werden. Bei keinem der Probanden zeigt die U-Matrix klar abgrenzbare Areale mit hohen Ähnlichkeitsbeziehungen. Für Proband 5 sind allgemein nur geringe Ähnlichkeiten in der Netzstruktur erkennbar. Obwohl in der U-Matrix bei den Probanden 6 und 7 engere Beziehungen zwischen den einzelnen Neuronen vorhanden sind, zeichnen sich dort ebenfalls keine trennbaren Strukturen in den Daten ab. Auch die Verteilung des Labeling in allen SOM deutet darauf hin, dass in den Eingabedaten keine eindeutigen Strukturen vorhanden sind, die in Verbindung zu bestimmten Leistungszuständen oder einer erhöhten Verletzungsanfälligkeit stehen. Aus der Verteilung der Variablen ist bei allen Probanden ein enger Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Sprungleistung im SquatJump und im DropJump erkennbar. Deutlich wird auch, dass die Verteilung der Ergebnisse aus den Fragebögen eine weitgehend ähnliche Verteilung aufweisen. Bei allen Probanden ist die Verteilung der Variablen Körpermasse und OwnIndex kaum interpretierbar.

Diskussion

Ein entscheidender Faktor für die Entwicklung sportlicher Spitzenleistung ist eine optimale Belastungsgestaltung. Hierfür sind grundlegende Modelle des Trainings und der Trainingssteuerung sowie sportartspezifische Inhalte und Methoden zu berücksichtigen. Weitaus weniger wurden Maßnahmen zur Gesunderhaltung von Aktiven, u. a. auch beim langfristigen Leistungsaufbau berücksichtigt. Obwohl in einer Vielzahl von Studien die Aussagekraft einzelner Faktoren zur Diagnostik des aktuellen Erholungs-/Beanspruchungszustands untersucht wurde, haben monokausalen Ansätze bisher kaum verwertbare Erkenntnisse geliefert. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit der Ansatz verfolgt, mit einer multivariaten Analyseverfahren Strukturen in Gesundheits-, Leistungs- und Erholungs-/Beanspruchungsdaten aufzuklären, die Rückschlüsse auf den aktuellen Gesundheits- oder Leistungszustand zulassen. Als strukturaufklärendes Verfahren wurden hierfür künstliche neuronale Netze eingesetzt. Mit selbstorganisierenden Karten ist es möglich, Ähnlichkeitsbeziehungen in multidimensionalen Datenstrukturen darzustellen. In diesem explorativen Untersuchungsansatz hat sich aber gezeigt, dass anhand der vorhandenen Daten keine eindeutigen Zustände der Probanden abgrenzbar sind. Obwohl in dieser Untersuchung wenig aussagekräftige Ergebnisse erzielt wurden, sind dennoch weitere multivariate Ansätze zu verfolgen. Aufgrund des Studiendesigns und des langen Untersuchungszeitraums konnten nur solche Daten erfasst werden, die rückwirkungsfrei und mit geringem Aufwand im Training der Handball Bundesliga-Mannschaft messbar waren. Bessere Aussagen sind sicherlich dann zu erwarten, wenn ebenfalls über einen längeren Zeitraum die relevantesten Parameter der Erholungs-/Beanspruchungsdiagnostik erhoben und in diesen Daten mögliche Strukturen aufgeklärt werden. Mit dieser Vorgehensweise wird dem multikausalen Geschehen der Leistungsentwicklung und Gesunderhaltung von Athletinnen und Athleten am ehesten entsprochen.

Literatur

- Brack, R. (2002). *Sportspielspezifische Trainingslehre. Wissenschafts- und objekttheoretische Grundlagen am Beispiel Handball*. Hamburg: Czwalina.
- Gollhofer, A. (1987). *Komponenten der Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Erlensee: SFT-Verlag.
- Halson, S. L. & Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports medicine*, 34 (14), 967-981.
- Kellmann, M. (2000). Psychologische Methoden der Erholungs- und Beanspruchungs-Diagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51, 253-258.
- Kohonen, T. (1982a). Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological cybernetics*, 43, 59-69.
- Kohonen, T. (1982b). Analysis of a Simple Self-Organizing Process. *Biological cybernetics*, 44, 135-140.
- Rascher, R. (2003). *Spielbeobachtung im Hallenhandball. Entwicklung und Überprüfung eines Verfahrens zur Quantifizierung der individuellen Sportspielleistung*. Unveröffentlichte Zulassungsarbeit, Universität Stuttgart.
- Väinämö, K., Nissilä, S., Mäkikallio, T., Tulppo, M. & Röning, J. (1996). *Artificial neural networks for aerobic fitness approximation*. IEEE International Conference on Neural Networks, 4, 1939-1944.