

Trainingsmonitoring in der betrieblichen Gesundheitsförderung mittels eines drahtlosen Sensornetzwerks

Thomas Jaitner¹, Anna Kusch², Sebastian Wille², Norbert Wehn²

Technische Universität Dortmund¹, Technische Universität Kaiserslautern²

Einleitung

Mess- und Informationssysteme, die online objektive Rückinformationen über leistungsrelevante Daten bereitstellen, können die Qualität des Trainings substantiell verbessern und nehmen daher in vielen Bereichen des Sports einen herausragenden Stellenwert ein. Mittlerweile verfügen viele solche Systeme über eine drahtlose Datenübertragung, wodurch sich ihr Einsatzbereich aufgrund der höheren Flexibilität erweitert. Kommerzielle Systeme sind bis auf wenige Ausnahmen (z.B. LPM©, Polar Team2 Pro©) darauf beschränkt, für einzelne Sportler Daten bereit zustellen, unterstützen jedoch nicht ein Feedbacktraining großer Sportlergruppen, das zum Beispiel typisch für betriebssportliche Settings ist. Für diesen Zweck wurde ein kompaktes und flexibles drahtloses Sensornetzwerk auf der Basis der AmICA-Plattform entwickelt (Wille et al., 2010), das die Integration verschiedener Sensoren unterstützt und einfach an verschiedene Anforderungen in unterschiedlichen Sportarten angepasst werden kann. Eine erste Anwendung wurde im Rahmen einer Trainingsintervention in der betrieblichen Gesundheitsförderung von Berufsfeuerwehrlern realisiert. Der Fokus dieses Beitrags ist dementsprechend zweigeteilt. Zunächst werden technische Aspekte bezüglich Entwicklung und Einsatz des Sensornetzwerks thematisiert. Daran anschließend widmet sich der zweite Teil der Evaluation des Trainingsexperiments.

Feuerwehrlere können im Einsatz u.a. durch Schutzkleidung und großer Hitze extremen körperlichen Belastungen ausgesetzt sein (Myhre et al., 1997). Eine hohe Fitness ist daher unerlässlich, und insbesondere Kraft- und Ausdauertraining sollten in den täglichen Arbeitsablauf integriert werden (vgl. Williford et al, 1999). Trotz der hohen Bedeutung der körperlichen Leistungsfähigkeit ergeben sich in der Praxis für Trainingsinterventionen zwei Probleme: Zum einen ist die Durchführung von Leistungstests außerhalb der ärztlichen Pflichtuntersuchungen häufig schwierig, da die Probanden teils negative Konsequenzen aufgrund ihrer Testergebnisse befürchten und die Teilnahme verweigern. Zum anderen muss die Belastung beim Training innerhalb der Dienstzeit so gewählt werden, dass die Einsatzfähigkeit aufgrund von Ermüdungseffekten nicht beeinträchtigt wird. Zur Verbesserung der aeroben Ausdauer wurde daher eine Trainingsintervention mit moderaten Belastungen konzipiert. Interventionseffekte wurden indirekt anhand von Beanspruchungsparametern während einer in den Trainingsablauf integrierter, standardisierter Routine überprüft. Das drahtlose Sensornetzwerk erfüllte dabei zwei Aufgaben: Zum einen wurden online dargebotene Trainingsparameter zur Kontrolle der individuellen

Trainingsbelastung herangezogen, zum anderen dienten die erfassten und gespeicherten Messwerte der Evaluation des Trainingsexperiments.

Aufbau des Sensornetzwerks

Das drahtlose Sensornetzwerk (WSN) sollte die Übertragung, Speicherung und Darbietung von Sensordaten in einer Indoor-Anwendung für eine Gruppe von Sportlern gewährleisten. In dem zu realisierenden Anwendungsszenario sollten Herzfrequenz und Trittfrequenzdaten beim Indoor Cycling von bis zu 20 Fahrern erfasst und für eine Onlinemonitoring durch den Trainer bereitgestellt werden. Zudem sollten die Sportler ebenfalls ihre Leistungsdaten verfolgen können.

Diese Anforderungen wurden mit einem drahtlosen Sensornetzwerk realisiert, das sich aus 20 Funkknoten zusammensetzt. Jeder Funkknoten enthielt in kompakter Bauweise (25mm x 25mm x 6mm/9g inkl. Akku) einen 8Bit-Mikrocontroller (Atmel ATmega324P) und ein 868MHz-Funkmodul (HopeRF RFM12B), mit dem bei Sichtverbindung Reichweiten weit über 100m erzielt werden (Abbildung 1). Auf dem Board war ein Modul integriert, das eine drahtlose Übertragung und Erfassung der Herzfrequenz bzw. des zeitlichen Abstands zwischen zwei Herzschlägen (beat-to-beat-Modus) durch handelsübliche Pulsgurte ermöglichte. Die Trittfrequenz wurde mittels eines Magnetsensors an der Kurbel erfasst. Über Kabel wurden die Impulse an den Funkknoten übertragen und dort aufsummiert.

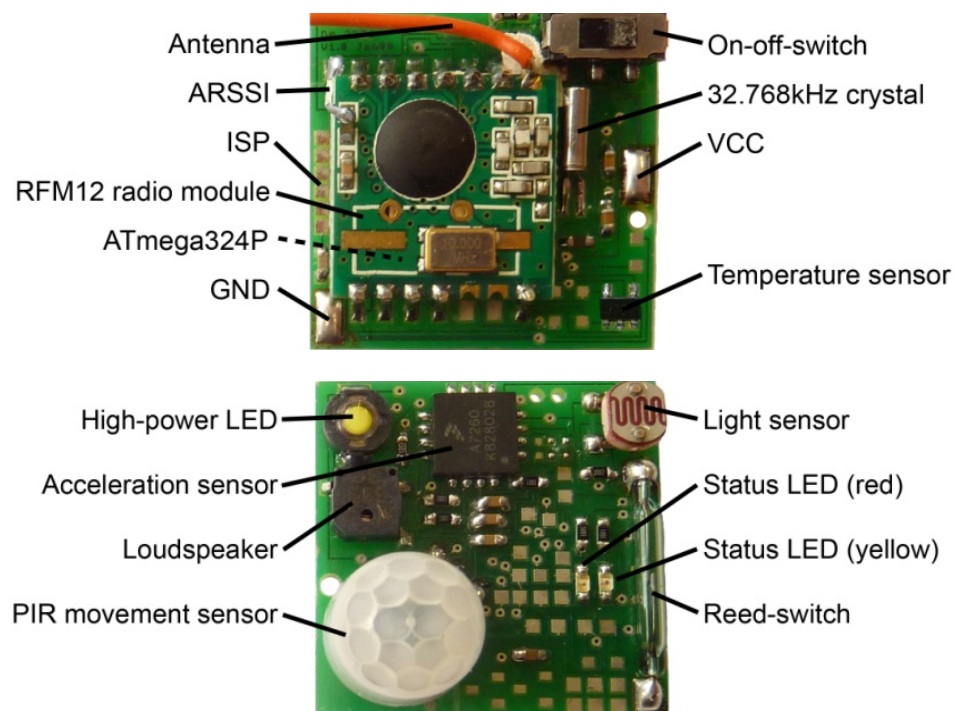


Abb. 1: AmICA Funkknoten (Ansicht von oben und unten)

Jedes Indoor Cycling Rad war mit einem Funkknoten ausgestattet, der Herzfrequenz und Trittfrequenz des Sportlers erfasste und mit einer Frequenz von 3 Hz sendete. Ein weiterer Funkknoten war mit einem PC verbunden, auf dem die Rohdaten vorverarbeitet, gespeichert und anschließend auf einem externen Monitor bzw. Beamer dargestellt wurden. Eine Baudrate von 38.4 Kilobaud pro Sekunde wurde für die Kommunikation zwischen den Funkknoten in der Sporthalle als ausreichend erachtet.

Jedes Datenpaket, das von einem Funkknoten gesendet wurde, enthielt jeweils Werte für die Herzfrequenz und die Trittfrequenz eines Sportlers. Auf dem zentralen Rechner wurden für das Onlinemonitoring die Messwerte über einen Zeitraum von fünf Sekunden gemittelt. Da als Messwerte die zeitlichen Abstände zwischen zwei Ereignissen erfasst übertragen wurden, waren zudem die Voraussetzungen für eine Analyse der Herzfrequenzvariabilität zumindest bis zu einer maximalen Herzfrequenz von ca. 18 Schlägen pro Minute erfüllt.

Mit 28,5 mA bei einer Betriebsspannung von 3V im Sendemodus war der Energiebedarf des Gesamtsystems gering. Im Schlafmodus wurden weniger als 2µA verbraucht.

Trainingsexperiment

Das Sensornetzwerk wurde im Rahmen einer zehnwöchigen Trainingsintervention erprobt und evaluiert, an der insgesamt 77 Feuerwehrleute teilnahmen. Alle Probanden absolvierten an zwei Tagen pro Woche ein Ausdauertraining (Indoor Cycling) und ein Kraftausdauertraining (Hot Iron), auf letzteres wird jedoch im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter eingegangen. Das Indoor Cycling Training wurde während der Dienstzeit durchgeführt und war daher so konzipiert, dass die Intensität in einem moderaten bis niedrigen Bereich liegen sollte. Zur Belastungssteuerung wurde die BORG-Skala (Borg, 1998) verwendet. Auf leistungsdiagnostische Tests zu Beginn und am Ende der Interventionsphase wurde aufgrund der in der Einleitung genannten Gründe verzichtet.

In jeder zweiten Trainingseinheit wurden die Herzfrequenz und die Trittfrequenz mittels des Sensornetzwerks erfasst und online dargeboten. Am Ende dieser Trainingseinheiten wurde eine standardisierte Indoor Cycling Routine (10 min) mit konstantem Belastungsprofil wiederholt, bei der die Probanden den Widerstand gemäß ihres subjektiven Beanspruchungsempfindens (RPE 12) wählten und eine vorgegebene Trittfrequenz (80 U/min) einhalten sollten. Die eingestellten Tretwiderstände wurden nach dem Training mittels eines Kraftsensors an der Kurbel gemessen. Insgesamt wurden Messdaten an fünfzehn Trainingseinheiten (maximal fünf pro Sportler) erhoben, da aufgrund der Stichprobengrößen mehrere Trainingseinheiten in der Woche angeboten wurden.



Abb. 2: Feuerwehrleute beim Indoor Cycling

Zur Evaluation der Trainingseffekte wurden die Probanden posthoc in eine Trainingsgruppe (Trainingsbeteiligung $\geq 60\%$, $n=32$) und eine Kontrollgruppe (Trainingsbeteiligung $\leq 30\%$, $n=9$) eingeteilt. Die Mittelwerte der Herzfrequenzen und Trittfrequenzen während der zehninütigen Routinen sowie die eingestellten Tretwiderstände wurden an allen fünf Messzeitpunkten bestimmt und mittels einer Varianzanalyse (ANOVA) analysiert.

Während des gesamten Trainingsexperiments wurde zudem die Übertragung der Datenpakete protokolliert, um die Zuverlässigkeit der Kommunikation im Sensornetzwerk zu überprüfen.

Ergebnisse

Die Probanden absolvierten die Routinen mit einer durchschnittlichen Trittfrequenz von 81 U/min und einer mittleren Herzfrequenz von 142 S/min. Die Tretwiderstände der Trainingsgruppe lagen zwischen 176 und 239N und stiegen während der Interventionsphase linear an ($p \leq 0.01$) (Abbildung 3). Herzfrequenz und Trittfrequenz differierten nicht signifikant. Bei der Kontrollgruppe konnten bei keinem Parameter Unterschiede festgestellt werden. Bezüglich der Tretwiderstände lag ein signifikanter Interaktionseffekt vor ($p=0.00$, $F= 15.503$), der eine überzufällige Zunahme der Tretwiderstände für die Trainingsgruppe über den Interventionszeitraum bestätigt.

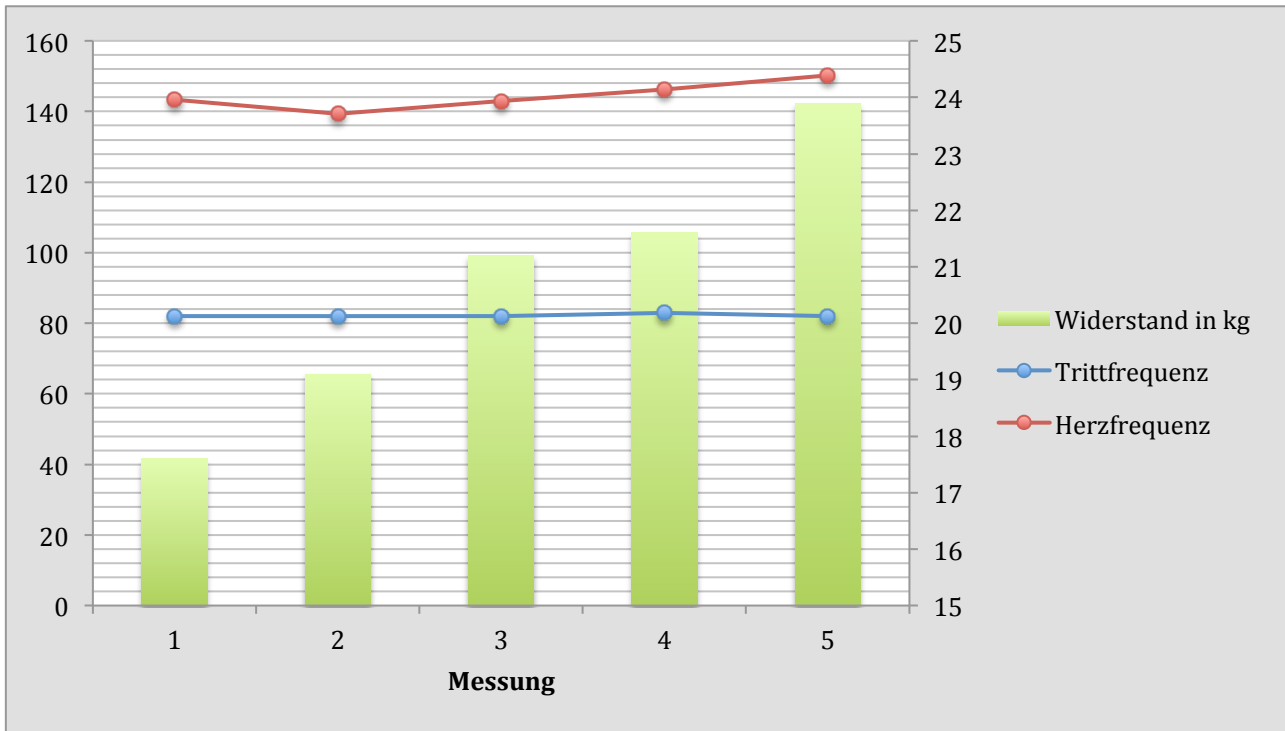


Abb. 3: Tretwiderstand, Trittfrequenz und Herzfrequenz der TG während der Messungen (angegeben sind jeweils die Mittelwerte)

Tab. 1: Mittelwerte der Leistungsparameter für TG und KG in der ersten und letzten Messung

	TG		KG	
	1.Messung	Letzte Messung	1.Messung	Letzte Messung
Tretwiderstand [kg]	17,6	23,9	18,5	17,3
Herzfrequenz [S/min]	143,3	150	142,4	143,3
Trittfrequenz [U/min]	82	82	81	81
Δ Tretwiderstand [kg]	6,3		-1,2	

Diskussion

Das flexible Design der AmICA-Plattform und das zugehörige Software Framework ermöglichten die Realisierung des Messsystems innerhalb von zwei Wochen. Die Trainer waren ohne weitere Vorkenntnisse in der Lage die Funkknoten einzusetzen. Sobald zwei Knoten aktiviert waren, synchronisierte sich das Netzwerk innerhalb weniger Sekunden autonom, später aktivierte Knoten wurden automatisch integriert. Herzfrequenzen und Trittfrequenzen von bis zu 17 Sportlern wurden in 15 Trainingseinheiten simultan erfasst und dargestellt. Über den gesamten Untersu-

chungszeitraum lag die Fehlerrate für die Datenübertragung <0,01% womit die Zuverlässigkeit des System als sehr hoch bewertet werden kann. Insgesamt erfüllte das Messsystem die technischen Anforderungen über Erwartung und ermöglichte eine kontinuierliche Dokumentation der Leistungsentwicklung der Sportler.

Über den Verlaufs des Trainingsexperiments steigerten regelmäßig trainierende Feuerwehrleute trotz sehr moderaten Trainingsbelastungen den Tretwiderstand, während Herzfrequenz und Trittfrequenz kaum Unterscheide zeigen. Sie konnten demnach nach der Intervention bei gleicher Beanspruchung höhere Trainingsbelastungen tolerieren.

Der Vergleich mit der Kontrollgruppe ist aufgrund der unterschiedlichen Stichprobengrößen prinzipiell kritisch zu bewerten. Die Unterschiede ergeben sich letztlich aus dem Kriterium, nach dem die Probanden posthoc zugeordnet wurden. Dieses wurde so gewählt, um einen Vergleich möglichst extremer Gruppen (nicht bis wenig Trainierende vs. regelmäßig bis häufig Trainierende) zu ermöglichen. Bei allen Probanden der Kontrollgruppe lagen mindestens vier Wochen zwischen beiden Messungen, die Gründe für die Nicht-Teilnahme waren zudem vielfältig (u.a. Urlaubszeiten, Einsätze und andere dienstliche Verpflichtungen während der Trainingseinheiten). Unabhängig von den statistischen Analysen dokumentieren die Daten dieser Gruppe zumindest, dass die Leistungssteigerungen der regelmäßig trainierenden Feuerwehrleute auf das Training und nicht auf Gewöhnungseffekte zurück geführt werden können. Dies war aufgrund der niedrigen Trainingsintensität nicht unbedingt im Vorhinein zu erwarten.

Insgesamt lassen die Ergebnisse des Trainingsexperiments damit den Schluss zu, dass sich auch durch ein Training mit moderaten Intensitäten die physische Fitness von Berufsfeuerwehrleuten substantziell verbessern lässt.

Ausblick

Die AmICA-Plattform ermöglicht eine einfache Integration zusätzlicher Sensoren (z.B. Kraft- oder Leistungssensoren) und kann so an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden. Mit einer höheren Übertragungsrates können Sensordaten von mehr als 20 Sportlern simultan erfasst werden. Im Fokus weiterer Anwendungen steht zunächst das Gruppentraining im Radsport.

Literatur

Borg, G. (1998) Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Human Kinetics, Champaign

Wille, S., Wehn, N., Martinovic, I., Kunz, S., and Goehner, P. (im Druck). 7th International ICST Conference on Mobile and Ubiquitous Systems 2010. LNICST. Springer

Williford, Henry N. , Duey, William J. , Olson, Michele S. , Howard, Ron and Wang, Naizhen(1999) 'Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness', Ergonomics, 42: 9, 1179 — 1186

Myhre, L. G., Tucker, D. M., Bauer, D. H., & Fischer, J. R., Grimm, W. H., Tattersfield, C. R., Wells, W.T. (1997) Relationship between selected measures of physical fitness and performance of a simulated firefighting emergency task. Brooks AFB: Armstrong Laboratory.