

**10. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Herzratenvariabilitätsbasierte Belastungsmessung bei  
mobilen Informationssystemen“**

Alexander Suhrbier, Georg Bretthauer  
Institut für Angewandte Informatik, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-  
Leopoldshafen, Deutschland  
E-Mail: alexander.suhrbier@kit.edu

Jens Ziegler, Markus Graube, Leon Urbas  
Institut für Automatisierungstechnik, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

Niels Wessel  
Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland

Sebastian Zaunseder, Hagen Malberg  
Institut für Biomedizinische Technik, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH  
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin“  
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-  
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-  
Hahn, Kirska Dannenberg  
ISBN: 978-3-18-328617-1  
Pages: 28-29

## Herzratenvariabilitätsbasierte Belastungsmessung bei mobilen Informationssystemen

Alexander Suhrbier<sup>1</sup>, Jens Ziegler<sup>2</sup>, Markus Graube<sup>2</sup>, Leon Urbas<sup>2</sup>, Niels Wessel<sup>3</sup>, Sebastian Zaunseder<sup>4</sup>, Georg Bretthauer<sup>1</sup> und Hagen Malberg<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut für Angewandte Informatik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

<sup>2</sup>Institut für Automatisierungstechnik, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

<sup>3</sup>Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland

<sup>4</sup>Institut für Biomedizinische Technik, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

Kontakt: alexander.suhrbier@kit.edu

### Einleitung

Die Belastungsmessung bei Menschen ist eine wichtige Methode, um Aussagen über die Gestaltung von Arbeitsbedingungen abzuleiten.

In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Ansätze entwickelt, um die Belastung zu quantifizieren. Genutzt werden auf der einen Seite subjektive Ansätze, wie z.B. Fragebögen, und auf der anderen Seite objektive Ansätze, wie z.B. Pupillometrie [1]. Unabhängig davon konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass sich Parameter der Herzratenvariabilität (HRV) bei mentaler oder physischer Belastung ändern [2, 3].

In dieser Studie wird daher die Nutzbarkeit der HRV-Analyse zur Quantifizierung der Belastung in einer industriellen Umgebung mit dynamischen Aufgaben untersucht.

### Probanden und Methoden

#### Probandencharakteristika und Versuchsaufbau

Es wurden 13 gesunde männliche Probanden untersucht (Alter:  $24,2 \pm 2,03$  Jahre, body mass index:  $22,75 \pm 2,08$  kg/m<sup>2</sup>, mittlerer arterieller systolischer Blutdruck:  $137 \pm 15$  mmHg, mittlerer arterieller diastolischer Blutdruck:  $81 \pm 7$  mmHg, Ruheherzrate:  $69 \pm 12,4$  bpm).

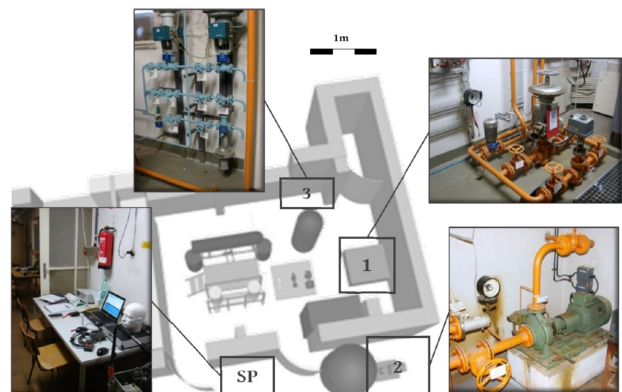
Die Probanden führten Aufgaben in einem üblichen Wartungsszenario aus (visuelle Inspektionsaufgaben, das Öffnen oder Schließen von Ventilen und Gehäusen) (Abb. 1). Währenddessen interagierten sie mit einem mobilen Informationssystem (MIS), um Informationen über die Aufgaben zu erhalten oder Informationen einzugeben. Das Eingabemodul war in drei Varianten ausgeführt: mit Tastatur, mit Scrollrad oder mit Analogstick.

7 Probanden benutzten das Eingabemodul direkt verbunden mit dem Anzeigemodul (kombiniert) und 6 Probanden benutzten ein Eingabemodul, welches räumlich vom Anzeigemodul getrennt war (getrennt; Abb. 2).

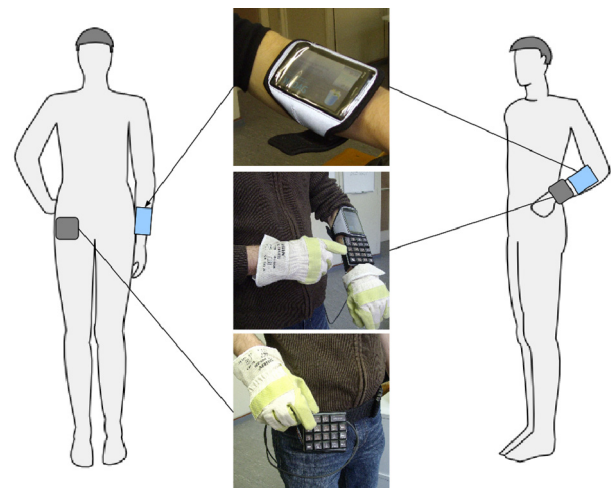
Alle Probanden verwendeten jedes der drei Eingabemodule, jedoch entweder in der kombinierten oder getrennten Konfiguration mit dem Anzeigemodul.

#### Signalaufzeichnung und -verarbeitung

Die Elektrokardiogramme (EKG) wurden mit einem 3-Kanal Holter-EKG aufgenommen (Medilog AR12,



**Abb. 1:** Die Belastungsbedingungen wurden in einem industriellen Wartungsszenario nachgebildet. Die Aufgaben bestanden u.a. in der visuellen Inspektion sowie dem Öffnen und Schließen von Ventilen und Gehäusen.



**Abb. 2:** Die Abbildung zeigt schematisch die Konfiguration des MIS. Auf der linken Seite ist die getrennte Konfiguration und auf der rechten Seite die kombinierte Konfiguration dargestellt.

Schiller AG, CH-6341 Baar, Switzerland). Die Abtastfrequenz betrug 256 Hz bei einer Amplitudenauflösung von 12 bit. Die extrahierten Schlag-zu-Schlag Intervalle (BBI) wurden mit einem adaptiven Filteralgorithmus vorverarbeitet, um Extrasystolen von der Bewertung auszuschließen [4].

Lineare HRV-Parameter wurden aus den BBI Zeitreihen in Übereinstimmung mit dem Standard der Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology [5] berechnet. Außerdem wurden Parameter, welche die nichtlineare Dynamik in den BBI Zeitreihen charakterisieren, bestimmt [6].

Für die statistische Analyse wurde der Mann-Whitney-U Test verwendet, wobei p-Werte von weniger als 0,05 als statistisch signifikant angesehen wurden (korrigiert nach Bonferroni).

## Ergebnisse

Unter Verwendung der Referenzmethoden (Fragebogen, Pupillometrie) zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der Belastung zwischen den Konfigurationen [7]. Hingegen zeigten sich in den HRV-Parametern signifikante Unterschiede zwischen der kombinierten und getrennten Konfiguration des MIS (Tab. 1).

Die stärksten Unterschiede zeigten sich in der Standardabweichung der BBI (SdNN, kombiniert:  $89,4 \pm 37,3$  ms; getrennt:  $60,1 \pm 25,8$  ms;  $p < 0,005$ ) in der Shannon-Entropie der symbolischen Wortverteilung (FWSHANNON, kombiniert:  $2,7 \pm 0,3$ ; getrennt:  $2,4 \pm 0,4$ ;  $p < 0,01$ ) und in der Leistung des Low Frequency Bandes (LF, kombiniert:  $171,0 \pm 90,8$  ms<sup>2</sup>; getrennt:  $107,8 \pm 86,5$  ms<sup>2</sup>;  $p < 0,015$ ).

Diese Parameter lassen erkennen, dass eine unterschiedliche Aktivierung des autonomen Nervensystems zwischen der getrennten und der kombinierten Konfiguration besteht.

## Diskussion

Untersucht wurde der Einfluss von bestimmten Anzeige-Eingabe Konfigurationen (kombiniert vs. abgetrennt) von MIS auf die Belastung von Personal wie z.B. Wartungsingenieuren. Zu diesem Zweck wurde die HRV der Versuchspersonen analysiert, um ihren physischen und psychischen Stress in Form von Kurzzeit HRV-Parametern zu quantifizieren.

Es zeigte sich, dass die mittlere Herzfrequenz tendenziell, jedoch nicht statistisch signifikant, bei der getrennten Gerätekonfiguration höher war als bei der kombinierten (Tab. 1).

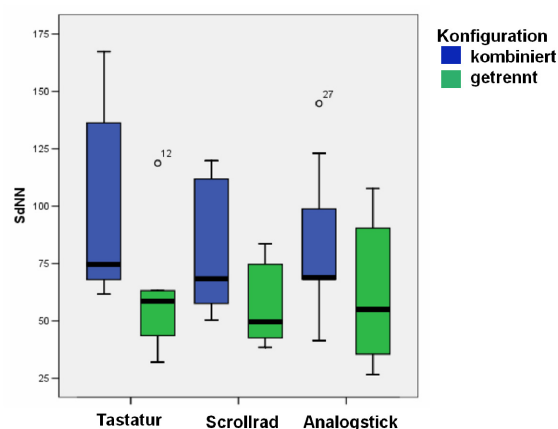
Gleichzeitig war die Standardabweichung der BBI bei der abgetrennten Gerätekonfiguration vermindert. Statistisch signifikante Unterschiede zeigten sich beim Eingabemodul mit Tastatur in der Standardabweichung der BBI, was darauf hinweist, dass bei diesem Modul in der abgetrennten Konfiguration die Belastung am stärksten war (Abb. 3)

## Schlussfolgerungen

Es konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass es mittels HRV-Analyse möglich ist, durch unterschiedliche Belastung hervorgerufenen Veränderungen zu detektieren,

**Tab. 1:** Die Tabelle zeigt die Mittelwerte mit Standardabweichung der berechneten HRV-Parameter. Die p-Werte wurden mittels Mann-Whitney-U Test berechnet (korrigiert nach Bonferroni).

Parameter	Kombiniert	Getrennt	p-Wert
MeanNN (ms)	727,1±128,8	720,3±89,6	n.s.
SdNN (ms)	89,4 ± 37,3	60,1 ± 25,8	0.005
RMSSD (ms)	38 ± 20,9	29,5 ± 12,8	n.s.
PNN50 (%)	0,8 ± 0,08	0,7 ± 0,1	n.s.
FWSHANNON	2,7 ± 0,3	2,4 ± 0,4	0.01
RENYI2 (bit)	2,5 ± 0,3	2,2 ± 0,4	0.028
LF (ms <sup>2</sup> )	171,0 ± 90,8	107,8 ± 86,5	0.015
HF (ms <sup>2</sup> )	36,8 ± 37,7	20,9 ± 19,6	n.s.
LF/HF	7,5 ± 4,2	6,9 ± 3,6	n.s.



**Abb. 3:** Dargestellt sind die Boxplots für den HRV-Parameter SdNN, jeweils für die einzelnen Eingabemodule (Tastatur, Scrollrad, Analogstick). Zwischen der kombinierten und getrennten Konfiguration des tastaturbasierten MIS bestehen statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ; Mann-Whitney-U Test).

welche durch üblicherweise eingesetzte Methoden nicht zu erfassen waren. Diese Fähigkeit macht die HRV auch für zukünftige Studien interessant. Besonders in Umgebungen mit dynamischen Aufgaben kann die HRV-Analyse als zusätzliches Mittel zur Belastungsmessung verwendet werden.

## Literatur

- [1] O'Donnell R. and Eggemeier F, Workload assessment methodology. Handbook of perception and human performance 2 (1986), 42–1–42–49.
- [2] Taelman J et al., Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work, Eur J Appl Physiol. 2011 Jul;111(7):1497-505.
- [3] González-Camarena R et al., Effect of static and dynamic exercise on heart rate and blood pressure variabilities, Med Sci Sports Exerc. 2000 Oct;32(10):1719-28.
- [4] Wessel N et al., Nonlinear analysis of complex phenomena in cardiological data, Herzschr Elektrophys 2000, 11(3): 159-173.
- [5] Task Force on Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Circulation 93, 5 (1996), 1043–1065.
- [6] Wessel N, Malberg H, Bauernschmitt R, Kurths J, Nonlinear methods of cardiovascular physics and their clinical applicability, Int J Bif Chaos 2007, 17: 3325 - 3371.
- [7] Ziegler J et al., Influence of Spatial Separation of Control Elements for Mobile Information Systems on the Workload. In: Proceedings of 13th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2011). 30. August - 2. September 2011, Stockholm, Schweden.