

ENTWICKLUNG EINES TELEMONTORING-SYSTEMS FÜR ARBEITS- UND PRÄVENTIVMEDIZINISCHE ANWENDUNGEN

Neubert S¹, Arndt D², Behrendt S¹, Stoll R¹

Kurzfassung

Die Vorteile von Telemonitoring-Systemen bei der Überwachung physiologischer Parameter von chronisch Kranken bieten auch neue Möglichkeiten im Forschungsbereich der Arbeits- und Präventivmedizin. Der Einsatz moderner Übertragungstechnologien und die Verfügbarkeit mobiler Sensor- und Rechnersysteme ermöglichen eine erhebliche Steigerung der Untersuchungsqualität. Das in dieser Präsentation vorgestellte Erfassungssystem erlaubt die kontinuierliche Überwachung verschiedener Parameter eines Probanden unabhängig von dessen Standort und dem des Untersuchers.

Abstract

The advantage of telemonitoring systems for monitoring physiological parameters of chronic patients also offer new possibilities in the field of research on occupational health and preventive medicine. The use of modern transmission technologies and the availability of mobile sensor and processing systems allows a significant increase of the examination quality. The acquisition system presented in this paper allows the continuous monitoring of several parameters of subjects regardless of location of both, subject and examiner.

Keywords – Mobile Online Acquisition, Telemedicine, Preventive Medicine, Occupational Health, wireless Telemonitoring

1. Einleitung

Bei Überwachungen von arbeitsphysiologischen Studien war es für den Untersucher bis zum Ende der Untersuchung oft ungewiss, ob alle Messungen weitgehend fehlerfrei verlaufen sind oder nicht. Verrutschte oder abgerissene Messsensorik sowie unerwünschte Umgebungseinflüsse auf die Geräte oder den Probanden können Gründe sein, die die Daten ungenau oder sogar unbrauchbar werden lassen.

Eine kontinuierliche Kontrolle der erfassten Parameter, wofür es bereits in der Diagnostik und der Nachsorge einige Entwicklungen gibt [4, 8, 16], bietet auch Untersuchern arbeitsmedizinischer

¹ Institut für Präventivmedizin, Universität Rostock, Deutschland

² celisca – Center for Life Science Automation, Rostock, Deutschland

Studien die Möglichkeit, Störeinflüsse und systematische Fehler sowie medizinische Probleme rechtzeitig zu erkennen und diese gegebenenfalls zu beseitigen bzw. einzugreifen. Besteht für den Probanden trotz des kontinuierlichen Monitorings keine Einschränkung in dessen Bewegungsfreiraum kann die Untersuchung an den individuellen Arbeitsplätzen unter authentischen Umgebungsbedingungen durchgeführt werden. Darüberhinaus kann während einer Untersuchung auf die direkte Anwesenheit des Untersuchers verzichtet werden, was gerade bei Untersuchungen zur psychomentalen Belastung eine wesentliche Einflussgröße darstellt.

Im folgenden Beitrag wird dazu ein Telemonitoring-System zur Durchführung arbeits- und präventivmedizinischer Untersuchung vorgestellt, dass das beschriebene Szenario ermöglicht und damit die Relevanz telemedizinischer Systeme für diese Bereiche verdeutlichen soll.

2. Methode

Um die Kosten für die Entwicklung möglichst gering zu halten sollte nach Möglichkeit auf die Entwicklung neuer Hardware verzichtet. Aus diesem Grund wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt, die alternative Möglichkeiten aufzeigen sollten.

Das Ergebnis dieser Recherchen stellte, unter Berücksichtigung der entsprechend erforderlichen Kompatibilität bezüglich einsetzbarer kabelloser Übertragungstechnologien, drei wesentliche Komponenten heraus, die für die Realisierung des Systems benötigt werden und in ihrem Zusammenwirken die Architektur des Erfassungssystems bilden:

- Messsensorik – zur kontinuierlichen Aufnahme und Übertragung physiologischer Messdaten
- Mobiles Gerät – als Steuer- und Kommunikationseinheit, Aufnahme von Dialogdaten
- Server – Datenempfang, Datensicherung und -bereitstellung

2.1. Sensor System

Die Messsensorik war eines der größten Probleme, da sie sowohl die Herz- als auch Atemfunktion erfassen und vorzugsweise eine Übertragung über genormte Standards erlauben sollte. Gerade die Verwendung genormten Standards erforderte bis vor einigen Jahren meist die Eigenentwicklung der Sensorhardware [2,5,19,20]. Mittlerweile bieten einige Hersteller entsprechende Sensormodule an, die im Bereich des Telemonitorings Einsatz gefunden haben [12,15].

Eine geeignete Lösung zur Aufnahme der Messwert stellte das Sensormodul Equivital dar, das in Kombination mit einem speziellen Brustgurt die Erfassung der Herzfunktion (2 Kanal EKG), der Atemfunktion (Erfassung des Hebens und Senkens des Brustkorbs) und der Hauttemperatur ermöglicht. Das Sensormodul selbst verfügt über einen integrierten Beschleunigungsmesser und ermöglicht Aussagen über die Orientierung (Aufrecht, Bauchlage usw.) und die Bewegungsaktivität des Probanden [11]. Alle Informationen (Rohdaten, berechnete Daten und Meldungen) können von dem Sensormodul kontinuierlich und kabellos über eine Bluetooth-Schnittstelle der Leistungsklasse 2 übertragen werden. Die Sensorlösung erlaubt unter voller Belastung den 24-Stundenbetrieb und ist mit der Schutzklasse IP 67 (0.4m / 30min) fast überall einsetzbar. [6].

2.2. Steuer- und Kommunikationseinheit

Zur Steuerung des Informationsflusses und als Interface zum Probanden wurde ein intelligentes mobiles Gerät (z. B. mobile Handheld) eingesetzt, das die Möglichkeit hat entsprechend benötigte Eigenschaften (z. B. moderne Übertragungstechnologien) bereitzustellen.

Ein mobiler Handheld verfügt zunächst einmal über ein großes Touchscreen-Display, das die Eingabe von Dialogdaten seitens des Probanden ermöglicht. Zu den Dialogdaten gehört beispielsweise eine individuelle Zusammenstellung von Belastungskategorien (z. B. Schlafen, Jogging, PC-Arbeit usw.), die vom Probanden entsprechend seiner aktuellen Aktivität gewählt werden können sowie diverse Fragebögen (KAB [18], SAM [3], NASA-TLX [9], Borg-Skala [17] – zum Teil in modifizierter Form), die eine Aussage über die psychomentele und die emotionale Beanspruchung des Probanden ermöglichen (siehe *Abbildung 1*).

Weiterhin können auf der Oberfläche auch Informationen wie z. B. der Status des Messgurtes, wesentliche Zwischenergebnisse und Nachrichten vom Untersucher dargestellt werden. Mit dem Auslösen eines in den Sensor integrierten Vibrationsmoduls wird der Proband diskret auf relevante Statuswechsel oder den Erhalt von Untersuchernachricht hingewiesen.

Durch die digitale Aufzeichnung der Dialogdaten kann bei der Untersuchung auf papierbasierte Lösungen verzichtet werden. Die damit verbundene Synchronisation übernimmt ebenfalls das mobile Gerät und ermöglicht dem Probanden eine schnelle und unkomplizierte Eingabe von Informationen [7].

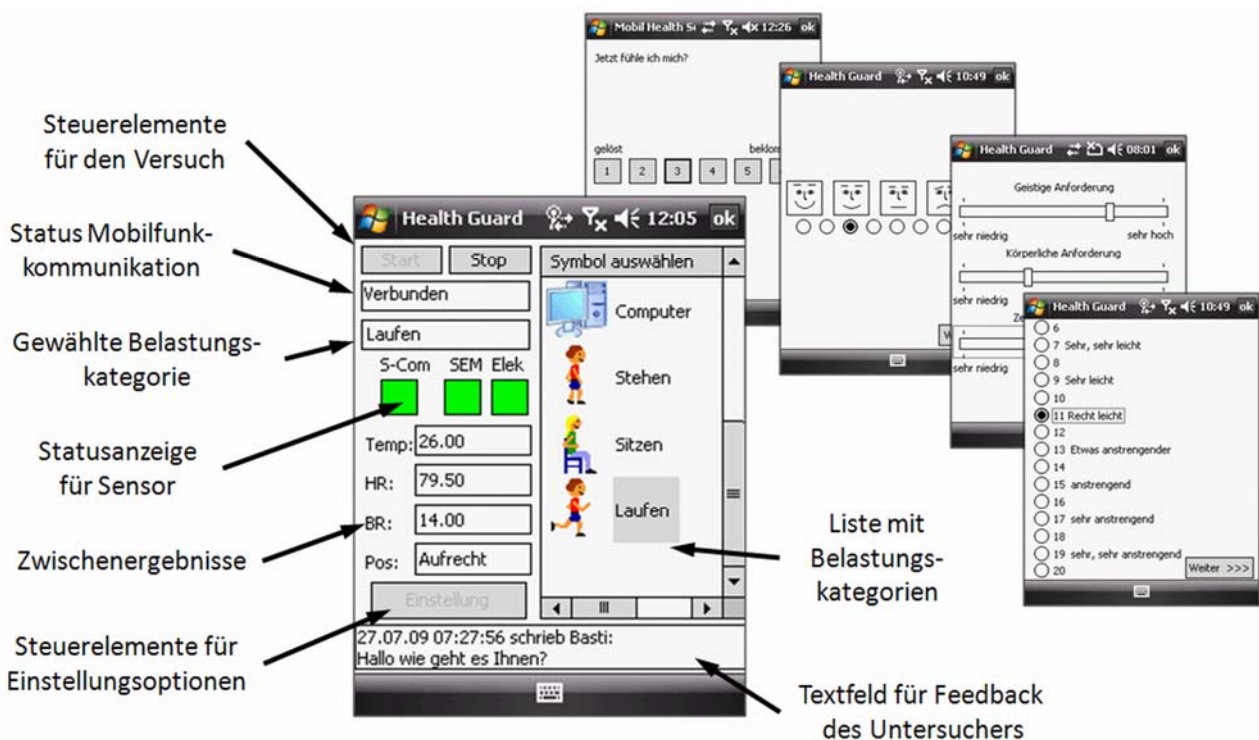


Abbildung 1: Eingabeoberflächen des mobilen Handhelds; Steueroberfläche mit Auswahl der Belastungskategorien und Ausgabe von Durchschnittswerten (links unten); Ausschnitte möglicher Beispielfragebogen (oben rechts).

Parallel zu diesen Eingaben werden über eine in das mobile Gerät integrierte Bluetooth-Schnittstelle die vom Sensormodul gesendeten Messdaten empfangen. Das mobile Gerät und das Sensormodul bilden damit ein wireless Personal Area Network (wPAN).

Die Sensormessdaten bekommen wie die Dialogdaten sofort nach ihrem Eingang einen aktuellen Zeitstempel und können so miteinander synchronisiert werden. Die Messdaten werden dabei vom mobilen Gerät soweit aufbereitet, dass sie später direkt und ohne weitere Umstände in eine Datenbank übernommen werden können.

Um die Informationen für den Untersucher zugänglich zu machen, werden sie über ein TCP-Socket kontinuierlich an einen Kommunikationsserver transferiert. Dafür kommt ein speziell dafür entwickeltes Übertragungsprotokoll zum Einsatz, das nach dem Prinzip des Sliding Window Protokolls arbeitet [13]. Der mobile Handheld erwartet für jeden versendeten Datensatz eine Bestätigung vom Kommunikationsserver, über die fehlerfreie Datenübertragung (mittels eines Hash-Wertes) und die korrekte Datenspeicherung in einer Datenbank. Werden hingegen Fehlermeldungen zurückgesendet oder löst eine fehlende Bestätigung in einem Timeout aus, werden Prozeduren gestartet, die den wiederholten Versand zum Kommunikationsserver organisieren und damit Datenverluste durch Übertragungsfehler vermeiden.

Zur Übertragung werden sowohl Mobilfunkstandards als auch WLAN eingesetzt, da so die Kommunikation im freien Feld (Land, Stadt) sowie in Gebäuden (e. g. Krankenhaus, öffentliche Gebäude) ermöglicht wird. Damit können die Daten des Probanden aus nahezu jeder Umgebung zu einer zentralen Speicherplattform transferiert werden.

Treten trotz der eingesetzten Standards Unterbrechungen bei der Kommunikation zum Server auf, werden die Informationen in einem FIFO-Speicher (first in first out-Speicher) abgelegt. Die Steuersoftware des mobilen Handhelds versucht dann in periodischen Abständen wieder eine Verbindung zum Server aufzubauen, um die in der Zwischenzeit aufgelaufenen Daten übertragen zu können.

2.3. Server System

Der Kommunikationsserver ist die zentrale Empfangseinheit des Systems und verwaltet die Datenflüsse, die von den angemeldeten mobilen Handhelds übertragen werden. Die einlaufenden Daten sind bereits dezentral verarbeitet worden, so dass eine direkte Übernahme in eine Datenbank erfolgen kann. Zuvor wird jedoch die Korrektheit der Daten mittels eines Hash-Wertes überprüft. Stimmt der Hash-Wert und konnten die Daten fehlerfrei in die Datenbank übertragen werden, gibt der Kommunikationsserver eine entsprechende Antwort an den mobilen Handheld zurück.

In der Datenbank werden die einzelnen Informationen jeweils mit Zeitstempel und einem eindeutigen Probandencode gespeichert, wodurch sich die Daten später wieder in den richtigen Kontext bringen lassen.

Ein webbasiertes medizinisches Informationsmanagementsystem (mIMS) verwaltet die Daten hierarchisch unter anderem nach Projekten, Studien und Versuchen in Probandenakten. Der Untersucher kann von jedem PC mit Webzugang auf dieses System zugreifen und die Daten weiter verarbeiten. Dazu bietet das System das Sammeln diverser Informationen in einer Probandenakte, das Behandeln mit Fehlerkorrektur- und Interpretationsmodulen (pre-processing) [14] sowie den Export in Microsoft Excel oder SPSS [10].

Über das Informationsmanagementsystem ist auch eine Online-Visualisierung der einlaufenden Daten möglich, wobei der Untersucher einen direkten Einblick in die physiologischen Parameter und die vom Proband eingegebenen Belastungskategorien erhält (siehe *Abbildung 2*). Darüber hinaus hat der Untersucher über dieser Visualisierungsanwendung auch die Möglichkeit Textnachrichten an den Probanden zu übermitteln, die dieser dann auf dem Basisdialog des mobilen Gerätes empfängt.

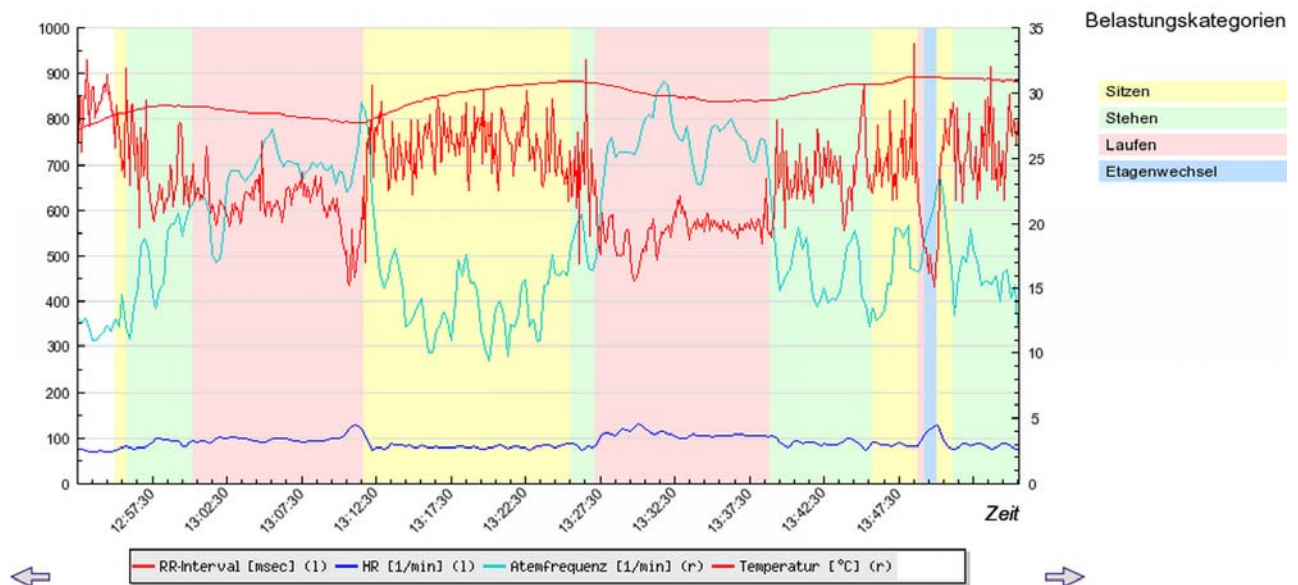


Abbildung 2: Online-Visualisierung der eingehenden Rohdaten und der Belastungskategorien

3. Ergebnisse und Diskussion

Der flexible Einsatz von Mobilfunkstandards und WLAN gewähren dem Probanden bei entsprechender Verfügbarkeit trotz kontinuierlicher Datenübertragung einen nahezu uneingeschränkten Bewegungsfreiraum. Durch die Verwendung eines webbasierten Informationsmanagementsystems ist es auch dem Untersucher möglich von einem beliebigen Standort aus seine Kontrollfunktion wahrzunehmen. Die parallele Abarbeitung mehrerer wPANs auf einen Server ermöglicht in Abhängigkeit vom übertragenen Datenvolumen auch das zeitgleiche Monitoring mehrerer Clients. In *Abbildung 3* ist dazu die Architektur des gesamten Erfassungssystems noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Die miteinander synchronisierten Daten in der Datenbank (physiologische Daten und Dialogdaten) können schnell in einen Kontext gebracht und dargestellt werden. Die Verzugszeit, die sich von der Datenaufnahme bis zur Online-Visualisierung ergibt, beträgt unter der Voraussetzung einer stabilen Netzverfügbarkeit für Mobilfunk oder WLAN ca. 3-4 Sekunden. Die Laufzeit des Systems ist, bei mobiler Anwendung, an die maximale Gesprächsdauer des mobilen Gerätes/Handhelds gebunden, wobei leistungsfähige 3000mAh-Akkus bis zu 8 Stunden Aufzeichnung ermöglichen. Damit wird dem Untersucher ein rechtzeitiges Eingreifen in den Untersuchungsprozess ermöglicht.

Das Ergebnis der Entwicklungsarbeit ist ein erschwingliches Erfassungssystem, das die beschriebenen Bedingungen erfüllt und sich aktuell im Einsatz des Institutes für Präventivmedizin der Universität Rostock (Deutschland) befindet. Bislang wurden insgesamt 73 Probanden mit dem Erfas-

sungssystem untersucht [1], wobei beispielsweise eine Studie die Untersuchung von Chemielaboranden bei der Arbeit in verschiedenen Automatisierungsgraden betraf. Die Probanden arbeiteten dabei nicht nur an einem festen Standort sondern waren zum Teil auch gebäudeübergreifend tätig. Die Probanden konnten das System gut im Alltag / Arbeitsalltag integrieren und empfanden das System in durchgeführten Umfragen als kaum störend.

Zukünftig sind bereits Projekte angestrebt, die dieses Erfassungssystem nicht nur in der Forschung sondern auch bei präventivmedizinische Anwendungen mit bestimmten Patientengruppen einzusetzen. Die Vorteile, die das System aus dem Bereich der Forschung mitbringt, bieten auch hier neue Möglichkeiten.

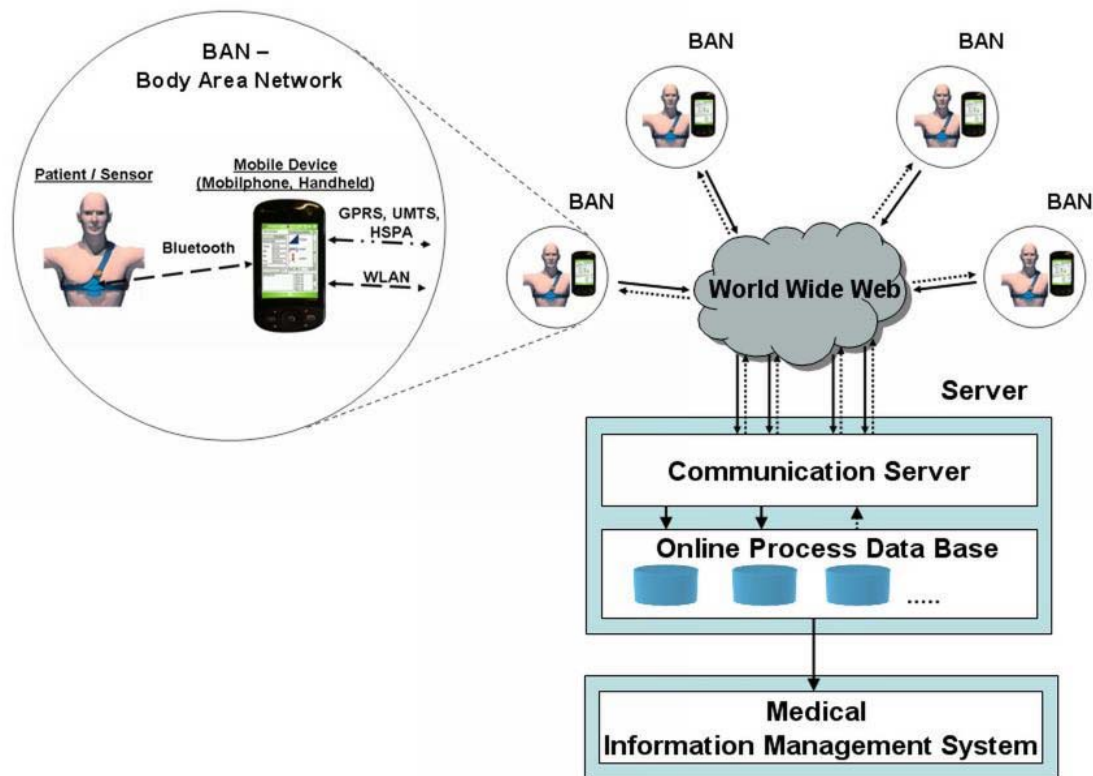


Abbildung 3: Architektur des Gesamtsystems

4. Literatur

[1] ARNDT, D., KUMAR, M., PREUSS, M., KREUZFELD, S., NEUBERT, S., KABER, D.B., STOLL, R., The Effects of Graphic User Interface on Mental Strain of Operators in the Life Sciences, in: Proceeding of the 7th International Forum Life Science Automation 2009, pp. 26, 2009.

[2] BAKER, J.P., BONES, P.J., Wireless Health Monitor, in: Proceedings of the Electronics New Zealand Conference 2006, pp. 7-12, 2006.

[3] BRADLEY, M.M., LANG, P.J., Measuring Emotion: The self-assessment Manikin and the Semantic Differential, in: J.Behav.Ther.& Exp.Psychiat. 25(1), pp. 49-59, 1994.

[4] BRAECKLEIN, M., TCHOUDOVSKI, I., MOOR, C., WERTHMANN, M., CARLSON S., BOLZ, A., Drahtlose kardiologische Überwachung von Risikopatienten in häuslicher Umgebung, in: Health Academy 01/2004, pp. 188-195 2004.

- [5] CHIEN, J.R.C., TAI, C.C., A new wireless-type physiological signal measuring system using a PDA and the Bluetooth technology, in: Biomedical Engineering - Applications, Basis & Communications, 17(5), pp. 229-235, 2005.
- [6] EQUIVITALTM, Technical, <http://www.equivital.co.uk/technical.html>, 09.12.2008.
- [7] FAHRENBERG, J., MYRTEK, M., Progress in Ambulatory Assessment: Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies, in: J. Fahrenberg, M. Myrtek, eds. MONITOR: acquisition of psychological data by a hand-held PC. Hogrefe & Huber, pp. 93-112, Bern 2001.
- [8] FENSLI, R., GUNNARSON, E., HEJLESEN, O., A Wireless Cardiac Alarm System for Continuous Event Recording, in: Proceedings - 11th World Congress on Medical Informatics (MEDINFO 2004), 1589, 2004.
- [9] HART, S.G., STAVELAND, L.E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, in: P.A. Hancock, N. Meshkati, eds. Human Mental Workload. pp. 139-183, Amsterdam 1988.
- [10] HOLZMÜLLER-LAUE, S., RIMANE, K., NEUBERT, S., KREUZFELD, S., ARNDT, D., GÖDE, B., THUROW, K., STOLL, R., Flexible R&D integration platform of process informatics for automated medical applications and mobile data acquisition, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Automation Science and Engineering CASE 2008, pp. 621-626, 2008.
- [11] HOWARD, P., WPSM-IC ATO Phase 2 VSIDS SEM Disclosure Interface Specification, in: Product Specification Hidalgo Ltd., Cambridge 2007.
- [12] KLEMETTINEN, M., MobiLife Overview, in: WWI Symposium at IST 2006, Helsinki 2006.
- [13] KÖNIG, H., Protocol Engineering: Prinzip, Beschreibung und Entwicklung von Kommunikationsprotokollen, in: H. König, eds. Protokollfunktionen. B. G. Teubner, pp. 71-94, 2003.
- [14] KUMAR, M., WEIPPERT, M., VILBRANDT, R., KREUZFELD, S., STOLL, R., Fuzzy Evaluation of Heart Rate Signals for Mental Stress Assessment, in: IEEE transactions on fuzzy systems, 15(5) 791-808, 2007.
- [15] LEIJDEKKERS, P., GAY, V., Personal Heart Monitoring and Rehabilitation System using Smart Phones, in: Proceedings of the IEEE International conference on mobile business, 2006, pp. 29, 2006.
- [16] LEIJDEKKERS, P., GAY, V., Personal Heart Monitoring System Using Smart Phones To Detect Life Threatening Arrhythmias, in: Proceedings of the 19th IEEE/ACM International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2006), 2006.
- [17] LÖLLGEN, H., Borg-Skala Standards der Sportmedizin - Das Anstrengungsempfinden, in: Dtsch Z für Sportmed 55(11), pp. 299-300, 2004.
- [18] MÜLLER, B., Erfassung der aktuellen Beanspruchung durch einen Kurzfragebogen unter Berücksichtigung des sprachlichen Ausdrucksverhaltens, Dissertation, Universität Marburg, Marburg, 1993.
- [19] OLIVER, N., FLORES-MANGAS, F., HealthGear: A real-time wearable system for monitoring and analyzing physiological signals, in: Proceedings BSN 2006: International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks vol. 2006, pp.61-64, 2006.
- [20] OTTO, C., MILENKOVIC, A., SANDERS, C., JOVANOVIĆ, E., System Architecture of a Wireless Body Area Sensor Network for Ubiquitous Health Monitoring, in: Journal of Mobile Multimedia, 1(4), pp. 307-326, 2006.

Corresponding Author

Sebastian Neubert

Institute for Preventive Medicine, University of Rostock, Germany

St.-Georg-Str. 108, D-18055 Rostock

Email: Sebastian.neubert@uni-rostock.de