

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode

---

**Benjamin Eilebrecht**

---

**Kapazitive EKG-Messtechnik für Diagnostik  
und für die Überwachung der Arbeitsbelastung**

Ein Beitrag aus dem Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik  
der RWTH Aachen  
(Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt).

---

**RWTHAACHEN**  
**UNIVERSITY**

---

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2014)

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2800-3

ISSN 1866-5349

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Die kapazitive Messtechnik zur kontaktlosen Erfassung elektrischer Biopotentiale, wie etwa des EKGs oder des EEGs, war seit Ihrer ersten wissenschaftlichen Veröffentlichung durch Richardson im Jahre 1967 Gegenstand vieler Untersuchungen. Entgegen konventioneller Messtechnik ist hierbei das Aufbringen von Klebeelektroden auf die Haut des Patienten nicht mehr notwendig und eine Messung durch die Kleidung hindurch möglich. In den letzten Jahren wurde diese Art der Messung zunehmend durch die Entwicklung spezialisierter integrierter Schaltungen erleichtert. Durch diese Kontaktlosigkeit ergibt sich eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder von Monitoring von Neugeborenen über eine Integration in Kleidungsstücke bis hin zur Anwendung in der Unterhaltungselektronikindustrie, welche durch die kapazitive Messtechnik erschlossen werden können.

Eine kommerzielle Anwendung kapazitiver Elektroden zur Biosignalmessung existiert bislang noch nicht. Ursache hierfür ist die durch viele Untersuchungen bestätigte Anfälligkeit für Artefakte, welche auf Relativbewegungen zwischen Elektrode und Körper zurückgeführt werden.

Eine in dieser Arbeit durchgeführte Systemanalyse zeigt, dass geringste elektrostatische Ladungen zwischen Kleidungsschichten für diese Bewegungsartefakte mitverantwortlich sind. Bestätigt werden die Ergebnisse durch eine Studie, welche den Einfluss verschiedener externer Parameter auf die Signalqualität untersucht hat. Hierbei stellte sich heraus, dass sowohl der Kontakt zu den Elektroden als auch die Art der Kleidung des Probanden, insbesondere deren Dicke und Anzahl an Faserstoffen, wesentlich mit der Signalqualität korreliert sind.

Um der Problematik von Bewegungsartefakten zu begegnen und eine valide Herzratenerkennung zu ermöglichen, wurden in dieser Arbeit verschiedene sowohl hard- als auch softwareseitige Lösungsansätze getestet. Insbesondere zeigte hierbei eine aktive Befeuchtung der Kleidung hohes Verbesserungspotential, da diese den Abfluss elektrostatischer Ladungen begünstigt. Doch auch ohne weiteren schaltungstechnischen Aufwand konnte durch die Verwendung eines Template-Matching-Algorithmus die Detektionsgenauigkeit der Herzrate wesentlich erhöht werden.

Im Anwendungskapitel wird in dieser Arbeit eine Bewertung der kapazitiven EKG-Messtechnik für zwei Anwendungsfelder vorgenommen: zum einen für die Überwachung der Arbeitsbeanspruchung von Autofahrern und zum anderen zu diagnostischen Zwecken im Rahmen eines Patientenscreenings. Die Ergebnisse zeigen, dass die Messtechnik in vielen Fällen hinreichend gute Signalqualitäten liefert, welche allerdings durch die Kleidung des Patienten sowie durch Bewegungen von zwei externen Faktoren abhängig ist. So ist im Falle eines Patientenscreenings die Bestimmung der Herzrate oder von Herzrhythmusstörungen meist problemlos möglich, wohingegen die diagnostische Aussagekraft aufgrund von Signaldeformationen weniger aussagekräftig ist. Für eine Überwachung der Arbeitsbeanspruchung von Autofahrern stellt die aus der Herzrate abgeleitete Herzratenvariabilität (HRV) einen guten Indikator dar. Die Ergebnisse einer im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie zeigen, dass insbesondere auf längeren unterbrechungsfreien Streckenabschnitten, wie etwa der Autobahn, eine Messung der HRV und damit der Arbeitsbeanspruchung möglich ist, wohingegen bei Stadtfahrten die HRV stärkeren Abweichungen von der Referenz unterliegt und eine Aussage zur Arbeitsbeanspruchung eingeschränkt ist.

Abschließend wird in dieser Arbeit nach einer kurzen Diskussion der erzielten Ergebnisse ein Ausblick auf mögliche weitere Forschungsrichtungen gegeben.