

# **Monitoring von Atmung und Herzaktivität mittels magnetischer Induktionsmessung**

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der  
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des  
akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte  
Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur  
Axel Cordes  
aus Dortmund

Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt  
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dirk Heberling

Datum der mündlichen Prüfung: 17.05.2013



Aachener Beiträge zur Medizintechnik

16

Herausgeber:

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

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

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

**Axel Cordes**

---

## **Monitoring von Atmung und Herzaktivität mittels magnetischer Induktionsmessung**

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

---

**RWTHAACHEN**  
UNIVERSITY

---

Shaker Verlag  
Aachen 2013

**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, 2013)

Copyright Shaker Verlag 2013

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2004-5

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)

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik der RWTH Aachen entstanden.

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die maßgeblich zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zunächst gilt mein besonderer Dank meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. Dr.-Ing. Steffen Leonhardt, für die hervorragende Betreuung. Die Atmosphäre am Lehrstuhl und die mir gewährten Freiheiten bei der Bearbeitung der Forschungsprojekte haben einen großen Teil zu dem erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen. Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Dirk Heberling für die Übernahme des Korreferats.

Nicht zu vergessen sind meine ehemaligen Kollegen, vor allem Oberingenieur Dr.-Ing. Marian Walter, Robert Pikkemaat, Stefanie Heinke, Lisa Röthlingshöfer und Saim Kim, denen ich ebenfalls zu großem Dank verpflichtet bin. Die vielen Anregungen und unsere interessanten Gespräche haben mir geholfen, meine Gedanken in die richtigen Bahnen zu lenken.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Studenten, insbesondere bei Martijn Arts, Jerome Foussier und Daniel Pollig, mit denen ich während meiner Forschungszeit am Lehrstuhl zusammen gearbeitet habe. Durch Ihre Abschluss- und Studienarbeiten haben sie viel dazu beigetragen, meine Dissertation in dieser Form zu ermöglichen.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern und meinem Bruder Ralf für die Unterstützung während meines Studiums und meiner Promotion bedanken. Aber auch meiner Frau Diana gilt mein aufrichtiger Dank, da sie es durch ihre Motivation und ihr Verständnis erst ermöglicht hat, diese Arbeit zu beenden.

Juni, 2013

*Axel Cordes*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>iii</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>Im Rahmen der Dissertationsschrift entstandene Vorveröffentlichungen</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Physiologische Grundlagen . . . . .	5
2.1.1 Thoraxanatomie . . . . .	6
2.1.2 Atmung . . . . .	7
2.1.3 Herzaktivität . . . . .	11
2.1.4 Für diese Arbeit relevante Erkrankungen . . . . .	13
2.2 Impedanzmesstechniken für biologisches Gewebe . . . . .	18
2.2.1 Einführung in die Bioimpedanz . . . . .	18
2.2.2 Konduktive Impedanzmesstechniken . . . . .	20
2.2.3 Kapazitive Impedanzmesstechniken . . . . .	23
2.2.4 Einführung in die Magnet-Induktions-Messtechnik . . . . .	24
2.2.5 Einkanalige Magnet-Induktions-Messtechnik . . . . .	27
2.2.6 Magnet-Impedanz-Tomographie . . . . .	28
2.2.7 Mehrkanalige Magnet-Induktions-Messtechnik zur Vitalpa- parameterdetektion . . . . .	31
2.3 Spulenkonfigurationen . . . . .	34
2.4 Mathematische Grundlagen . . . . .	42
2.5 Risikobewertung magnetischer Wechselfelder . . . . .	47
2.6 Zusammenfassung . . . . .	48
<b>3 Realisierung</b>	<b>49</b>
3.1 Messtechnik . . . . .	49
3.1.1 MUSIMITOS2+ . . . . .	50

3.1.2	MONTOS . . . . .	57
3.2	Spulenkfigurationen . . . . .	69
3.2.1	FEM-Simulationsmodell . . . . .	69
3.2.2	Ermittlung der Anforderungen an ein Spulen-Array . . . . .	71
3.2.3	Mehrkanalige Spulenkfigurationen . . . . .	75
3.3	Signalverarbeitung . . . . .	80
3.4	Zusammenfassung . . . . .	90
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>91</b>
4.1	Messtechnik . . . . .	91
4.1.1	Rauschanalyse . . . . .	92
4.1.2	Reale Messdaten . . . . .	94
4.2	Analyse der funktionalen Bestandteile des entwickelten Detektions- Algorithmus . . . . .	98
4.2.1	Selbstversuche . . . . .	98
4.2.2	Tierversuche . . . . .	106
4.2.3	Versuche mit neonatalem Thorax-Phantom . . . . .	110
4.3	Spulenkfigurationen . . . . .	117
4.3.1	Ortsauflösung mit Testspulen . . . . .	117
4.3.2	Ortsauflösung bei Selbstversuchen . . . . .	122
4.4	Risikoabschätzung der MI-Messung . . . . .	126
4.5	Zusammenfassung . . . . .	130
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>131</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>

# Symbolverzeichnis

## Abkürzungen

ADC	Analog-zu-Digital-Wandler
BIS	Bio-Impedanz-Spektroskopie
BPM	Beats-Per-Minute (Herz) [Schläge pro Minute]
BSS	Blind Source Separation, blinde Quellentrennung
CIC	Cascaded Integrator-Comb (Kaskadierung von Integratoren und Kammfiltern)
CT	Computer-Tomographie
DAC	Digital-zu-Analog-Wandler
DDC	Digital Down-Converter (digitale Abwärtsmischung)
DDS	Direct-Digital-Synthesizer
DSP	Digitaler Signalprozessor
DWT	Diskrete Wavelet-Transformation
EE	Exact Eigendecomposition
EIT	Elektrische Impedanztomographie
ERV	Expiratorisches Reservevolumen
FEM	Finite-Elementemodell
FIR	Finite Impulse Response
FPGA	Field Programmable Gate Array
HF	Hochfrequenz
HF	Herzfrequenz
HR	Heart Rate siehe auch HF
HZV	Herzzeitvolumen
EKG	Elektrokardiogramm
ICA	Independent Components Analysis (Unabhängigkeits-Analyse)
ICG	Impedanz-Kardiographie
IPG	Impedanz-Pneumographie
IRV	Inspiratorisches Reservevolumen
LAN	Local Area Network
NCO	Numerically Controlled Oscillator

LO	Local-Oscillator
LUT	Look-Up-Table
K-EKG	Kapazitives-Elektrokardiogramm
MIM	Magnet-Induktions-Messtechnik
MIT	Magnet-Induktionstomographie
MONTOS	Magnetic Induction Monitoring System (Eigenname)
MUSIMITOS	Multi Channel Simultaneous Magnetic Induction Tomography System (Eigenname)
MUSIMITOS2+	Multi Channel Simultaneous Magnetic Induction Tomography System: Mark 2 (Eigenname)
PCA	Principal Components Analysis (Hauptkomponenten-Analyse)
PPG	Photoplethysmographie
RR	Respiratory Rate
RV	Reservevolumen
RX	Empfänger
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis
SV	Schlagvolumen
TLK	Totale Lungenkapazität
TP	Twisted-Pair (Symmetrische Zweidrahtverkabelung)
TV	Tidalvolumen
TX	Sender
VK	Vitalkapazität
6(6)-Array	Spulenkonfiguration mit 6 Mess- und 6 Erregerspulen
6(1)-Array	Spulenkonfiguration mit 6 Mess- und einer Erregerspule
6(1)G-Array	Spulenkonfiguration mit 6 Mess- und einer großen Erregerspule

## Physikalische Größen

Bei der Erläuterung von physikalischen Phänomenen werden vektorielle Größen mit einem Pfeil gekennzeichnet ( $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$ ). Die skalaren Werte werden, im Gegensatz dazu, normal gesetzt ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ).

$A$	geometrische Fläche	$\text{m}^2$
$B$	magnetische Flussdichte	T
$C$	Kapazität	F
$D$	elektrische Flussdichte	$\text{A s m}^{-2}$
$d$	Abstand	
$E$	elektrische Feldstärke	$\text{V m}^{-1}$
$\epsilon$	Permittivität (dielektrische Leitfähigkeit)	$\text{F m}^{-1} =$ $\text{A s V}^{-1} \text{m}^{-1}$
$f$	Frequenz	Hz
$H$	magnetische Feldstärke	$\text{A m}^{-1}$
$I$	elektrischer Strom	A
$J$	elektrische Stromdichte	$\text{A m}^{-2}$
$l$	Länge	m
$n$	Windungszahl	1
$R$	elektrischer Widerstand	
$r$	Radius	
$\sigma$	elektrische Leitfähigkeit	$\text{S m}^{-1}$
$U$	elektrische Spannung	
$\omega$	Kreisfrequenz	
$\mu$	Permeabilität	$\text{N A}^{-2}$
$Z$	komplexe, elektrische Impedanz	

## Mathematische Größen

In mathematisch geprägten Teilen gilt die Konvention, dass Vektoren mit fettgedruckten Kleinbuchstaben ( $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$ ) und Matrizen mit fettgedruckten Großbuchstaben ( $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$ ) gekennzeichnet werden. Skalare werden normal gesetzt ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ).

PCA( $\mathbf{X}; i$ )	PCA der Matrix $\mathbf{X}$ , Ausgabe ist die $i$ -te Hauptkomponente
DWT( $\mathbf{x}; \Phi; i$ ) = $dwt$	Wavelet-Zerlegung bis zur Stufe $i$ mit Mutterwavelet $\Phi$ des Signals $\mathbf{x}$
DWT-SIGNAL( $dwt; i$ )	Signal der Stufe $i$ einer Wavelet-Zerlegung $dwt$
DWT-DENOISING( $\mathbf{x}; i$ )	Wavelet-Entrauschung eines Signals $\mathbf{x}$ bis zur Tiefe $i$
CORR-COEF( $\mathbf{x}; \mathbf{y}$ )	Korrelations-Koeffizient der Vektoren $\mathbf{x}$ und $\mathbf{y}$

## Indizes

<i>err</i>	Größen im Zusammenhang mit der Erregerspule
<i>gew</i>	Physikalische Größen im Gewebe
<i>ind</i>	induzierte Größen
<i>mess</i>	gemessene Größen

## Konstanten

$\epsilon_0$	$8,854\,183 \cdot 10^{-12} \text{ A s V}^{-1} \text{ m}^{-1}$
$\mu_0$	$4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$

## **Medizinische Fachbegriffe**

Bradykardie	Niedrige Herzfrequenz
Bradypnoe	Verlangsamte Atemfrequenz
Expiration	Ausatmung
Inspiration	Einatmung
Tachypnoe	Erhöhte Atemfrequenz
Tachykardie	Erhöhte Herzfrequenz



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Bild eines Frühgeborenen im Inkubator . . . . .	1
2.1	Anordnung von Herz und Lunge im Thorax . . . . .	6
2.2	Schematische Darstellung der Lungenflügel mit der Luftröhre . . . . .	7
2.3	Übersicht über die verschiedenen Lungenvolumina . . . . .	9
2.4	Schematische Darstellung des Herzens . . . . .	12
2.5	Beispiel einer Apnoephase während der Atmung . . . . .	15
2.6	Darstellung der periodischen Atmung . . . . .	16
2.7	Beispiel unrythmischer Atmung . . . . .	17
2.8	Debye-Modell und Stromwege im Gewebe . . . . .	19
2.9	Verlauf von elektrischer Leitfähigkeit und Permittivität über die Frequenz . . . . .	20
2.10	BIS-Messung am Thorax . . . . .	21
2.11	EIT-Beispielbild der Lunge . . . . .	22
2.12	Darstellung einer kapazitiven Messelektrode . . . . .	23
2.13	Funktionsweise der magnetischen Induktionsmessung . . . . .	24
2.14	MIM mit Colpitts-Oszillator . . . . .	28
2.15	Funktionsweise der mehrkanaligen Magnet-Induktionsmessung . . . . .	29
2.16	Beispielanordnung eines MIT-Kopf-Arrays . . . . .	31
2.17	Messspulen unterhalb eines Patienten . . . . .	32
2.18	Kompensationsmechanismen in MI-Spulenarrays . . . . .	35
2.19	Magnetische Feldlinien um eine Erregerspule . . . . .	36
2.20	Funktionsweise eines Spulen-Gradiometers . . . . .	37
2.21	Elektrisches Ersatzschaltbild eines Spulen-Gradiometers . . . . .	37
2.22	Funktionsweise eines Einspulen-Gradiometers . . . . .	39
2.23	Dreistufige diskrete Wavelet-Transformation (DWT) . . . . .	45
3.1	Foto des „Multi Channel Simultaneous Magnetic Induction Tomography Systems“ . . . . .	50
3.2	MUSIMITOS Erregerfrequenz-Schema . . . . .	51
3.3	MUSIMITOS2+ Blockschaltbild . . . . .	52
3.4	Verstärkerschaltung der Messspulen . . . . .	53
3.5	Foto von MUSIMITOS2+ . . . . .	56
3.6	MONTOS Erregerfrequenzschema . . . . .	58

3.7	MONTOS Modulkonzept . . . . .	60
3.8	MONTOS Blockdiagramm . . . . .	61
3.9	MONTOS DAC-Modul . . . . .	62
3.10	MONTOS ADC-Modul . . . . .	63
3.11	Blockschaltbild eines DDC . . . . .	64
3.12	MONTOS Demodulation . . . . .	64
3.13	Filterstruktur eines CIC-Filters . . . . .	65
3.14	Foto des MONTOS-Prototypen . . . . .	66
3.15	Arbeitsablauf der FE-Modell-Generierung . . . . .	70
3.16	FE-Modell mit 6-Kanal-Array für Simulationen . . . . .	72
3.17	Orientierung der Wirbelstromdichte im Thorax . . . . .	72
3.18	Orientierung der Wirbelstromdichte im Thorax bei zwei Erregerspulen . . . . .	73
3.19	Änderung der Wirbelstromdichteverteilung durch Atmung . . . . .	74
3.20	Bild eines 6-Kanal-Arrays . . . . .	76
3.21	Bild eines 6(1)-Kanal-Arrays . . . . .	77
3.22	Bild eines 6(1)-Kanal-Arrays mit zentrierter Erregerspule . . . . .	77
3.23	Bild eines Einspulen-Gradiometer-Arrays . . . . .	78
3.24	Datenbeispiel einer MI-Messung . . . . .	80
3.25	Übersicht des Algorithmus zur Quellentrennung . . . . .	82
3.26	Daten nach Wavelet-Entrauschung . . . . .	84
3.27	Funktionsweise des Apnoe-Detektors . . . . .	87
3.28	Beispiel einer Wavelet-Zerlegung . . . . .	88
4.1	Rauschdaten MUSIMITOS2+ . . . . .	92
4.2	Rauschdaten MONTOS . . . . .	93
4.3	Datensatz, aufgenommen mit MONTOS . . . . .	95
4.4	Atmung, aufgenommen mit MUSIMITOS2+ . . . . .	96
4.5	Herzaktivität, aufgenommen mit MUSIMITOS2+ . . . . .	96
4.6	Detektierte Vitalparameter (Lunge: FFT/Herz: FFT) . . . . .	99
4.7	Mittels Algorithmus rekonstruierte Signalverläufe . . . . .	100
4.8	Detektierte Vitalparameter (Lunge: Beat-to-Beat/Herz: FFT) . . . . .	101
4.9	Rekonstruierte variierende Atemfrequenz . . . . .	102
4.10	Vergleich von FFT- und Beat-to-Beat-Detektor . . . . .	103
4.11	Algorithmenanalyse an 10 Versuchen (Lunge) . . . . .	104
4.12	Algorithmenanalyse an 10 Versuchen (Herz) . . . . .	105
4.13	Beispiel eines Apnoe-Versuchs . . . . .	106
4.14	Beispiel eines Apnoe-Detektor-Fehlers durch Störungen im MI-Signal . . . . .	107
4.15	Spulenkonfiguration in einem Experimentalinkubator . . . . .	108
4.16	Rohdaten (Atmung) eines Tierversuchs . . . . .	108

---

4.17	Detektierte Atemrate eines Tierversuchs . . . . .	109
4.18	Rekonstruiertes Atemsignal eines Tierversuchs . . . . .	110
4.19	Thorax-Dummy eines Neugeborenen . . . . .	111
4.20	Beispiel detektierter Frequenzen beim Thorax-Phantom . . . . .	112
4.21	Beispiel rekonstruierter Zeitsignale beim Thorax-Phantom . . . . .	113
4.22	Atemfrequenzen als Beispiel periodischer Atmung . . . . .	114
4.23	Rekonstruiertes Atemsignal als Beispiel periodischer Atmung . . . . .	114
4.24	Atemfrequenzen als Beispiel unrythmischer Atmung . . . . .	115
4.25	Rekonstruiertes Atemsignal als Beispiel unrythmischer Atmung . . . . .	116
4.26	Testgerät zur Messung der Ortsauflösung . . . . .	118
4.27	Rekonstruiertes Signal des Testgerätes . . . . .	118
4.28	Numerische Zuordnung der Spulenversuche mittels Testgerät . . . . .	119
4.29	Regionale Auflösung des 6(6)-Arrays . . . . .	120
4.30	Regionale Auflösung des Einspulen-Gradiometers . . . . .	121
4.31	Regionale Auflösung der 6(1)G-Spulenkonfiguration . . . . .	122
4.32	Zwei Messkanäle für den Selbstversuch der Ortsauflösung . . . . .	123
4.33	Berechnete regionale Auflösung eines Selbstversuchs . . . . .	125
4.34	Temperatur im Körper . . . . .	128
4.35	Vergleich BioHeat und NoBioHeat . . . . .	128
4.36	Feldstärke in Abhängigkeit des Erregerstroms . . . . .	129



# Im Rahmen der Dissertationsschrift entstandene Vorveröffentlichungen

## Erfindungen

- „Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung des Harnblasenfüllstands eines Patienten“, von der RWTH in Anspruch genommen und angemeldet

## Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

- A. Cordes, J. Foussier, D. Pollig and S. Leonhardt: „A portable magnetic induction measurement system (PIMS)“. Biomed Tech 57 (2012), no. 2, pp. 131-138.
- S. Leonhardt, A. Cordes, H. Plewa, R. Pikkemaat, I. Soljanik, K. Moering, H. Gerner, R. Rupp: „Electric impedance tomography for monitoring volume and size of the urinary bladder“. Biomed Tech 56 (2011), pp. 301-307.
- A. Cordes, M. Steffen und S. Leonhardt: „Bestimmung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit biologischen Gewebes mittels kontaktloser Magnetimpedanzmessung“. Biomed Tech 55 (2010), pp. 89-99.
- K. Heimann, M. Steffen, N. Bernstein, N. Heerich, A. Cordes, S. Leonhardt, T. Orlikowski: „Kontaktlose Überwachung von Atemtätigkeit und Herzaktion mittels magnetischer Bioimpedanzmessung in einem Tiermodell“. Biomed Tech 54 (2009), pp. 337-345.

## **Konferenzbeiträge**

- A. Cordes, K. Heimann and S. Leonhardt: „Magnetic Induction Measurements with a Six Channel Coil Array for Vital Parameter Monitoring“. 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2012), Aug. 28th - Sep. 1th, San Diego, USA
- A. Cordes, M. Arts and S. Leonhardt: „A Full Digital Magnetic Induction Measurement Device for Non-Contact Vital Parameter Monitoring (MON-TOS)“. 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2012), Aug. 28th - Sep. 1th, San Diego, USA
- A. Cordes, N. Conzelmann and S. Leonhardt: „A Neonatal Thorax Phantom for Contact-less Magnetic Induction Vitalparameter Monitoring“. 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2012), Aug. 28th - Sep. 1th, San Diego, USA
- A. Cordes, S.A. Santos and S. Leonhardt: „Development of a Device for Measuring the Sensitivity Area of coil arrays for Magnetic Induction Measurements“. 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2011), Aug. 30th - Sep. 3rd, Boston, USA.
- A. Cordes and S. Leonhardt: „Development of the new Multichannel Simultaneous Magnetic Induction Measurement System (MUSIMITOS 2+)“. 12th International Conference in Electrical Impedance Tomography (EIT 2011), University of Bath, England, 4-6 May.
- M. Ulbrich, L. Röthlingshöfer, A. Cordes, S. Leonhardt: „Simulation of Electromagnetic Fields for Impedance Measurements in Medical Engineering“. 44. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (BMT2010), Rostock, Deutschland, 6. - 8. Okt.
- A. Cordes, A. Bago, S. Leonhardt: „Erstellung eines FEM Modells eines Neonaten für Magnet-Impedanz-Messungen: Erste Ergebnisse“. 44. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (BMT2010), Rostock, Deutschland, 6. - 8. Okt.

- 
- G. Medrano, F. Eitner, A. H. Ismail, R. Pikkemaat, A. Cordes, J. Floege, S. Leonhardt: „Influence of body position, food and beverage consumption on BIS measurements“. J. Phys.: Conf. Ser. 224 (2010) 012106; XIVth International Conference on Electrical Bioimpedance and the 11th Conference on Biomedical Applications of EIT (ICEBI 2010), University of Florida, Gainesville, FL, USA, April 4th - 8th.
  - G. Medrano, R. Bausch, A. H. Ismail, A. Cordes, R. Pikkemaat, S. Leonhardt: „Influence of ambient temperature on whole body and segmental bioimpedance spectroscopy measurements“. J. Phys.: Conf. Ser. 224 (2010) 012128; XIVth International Conference on Electrical Bioimpedance and the 11th Conference on Biomedical Applications of EIT (ICEBI 2010), University of Florida, Gainesville, FL, USA, April 4th - 8th.
  - A. Cordes, D. Pollig, S. Leonhardt: „Comparison of different coil positions for ventilation monitoring with contact-less magnetic impedance measurements“. J. Phys.: Conf. Ser. 224 (2010) 012144; XIVth International Conference on Electrical Bioimpedance and the 11th Conference on Biomedical Applications of EIT (ICEBI 2010), University of Florida, Gainesville, FL, USA, April 4th - 8th.
  - L. Beckmann, M. Jacob, C. Hoog Antink, A. Cordes, R. Pikkemaat, N. Jungbecker, T. Gries, S. Leonhardt: „Portable Bioimpedance Spectroscopy device and textile electrodes for mobile monitoring applications“. J. Phys.: Conf. Ser. 224 012005; XIVth International Conference on Electrical Bioimpedance and the 11th Conference on Biomedical Applications of EIT (ICEBI 2010), University of Florida, Gainesville, FL, USA, April 4th - 8th.
  - K. Heimann, M. Steffen, N. Bernstein, N. Heerich, S. Stanzel, A. Cordes, S. Leonhardt, T. Wenzl, T. Orlikowsky: „Non-contact monitoring of heart- and lung activity using magnetic induction in a neonatal animal model“. Acta Paediatrica 2009; 98: 153 (Abstract); 2009.
  - J. Foussier, A. Cordes, S. Leonhardt: „Development of a Portable Impedance Tomography System (PITS)“. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (WC 2009), München; Deutschland, September 7-12.

- L. Beckmann, A. Cordes, E.Saygili, A. Schmeink, P. Schauerte, M. Walter, S. Leonhardt: „Monitoring of body fluid in patients with chronic heart failure using Bioimpedance-Spectroscopy“. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (WC 2009), München, Deutschland, September 7-12.
- A. Cordes, J. Foussier, S. Leonhardt: „Breathing Detection with a Portable Impedance Measurement System: First Measurements“. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2009, Minneapolis, USA, pp. 2767-70.
- A. Cordes, M. Steffen und S. Leonhardt: „HF-induktive Impedanzmessung zur Gewebecharakterisierung“. 41. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE - BMT 2007, Aachen, Deutschland; 26-29 September.
- A. Cordes: „Inductive HF-Impedance-Meter for biological tissue characterisation“. 11th International Student Conference on Electrical Engineering, Poster 2007, Prag, Tschechische Republik, Mai.