

**7. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
19. - 21. Oktober 2007 in  
München**



**„Konzeptentwurf für eine Modell-basierte Bestimmung von  
Körperzusammensetzung und Überwässerung bei  
Dialysepatienten mit Amputationen“**

S.Wieskotten, C.Rottmann, R.Isermann  
Institut für Automatisierungstechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland  
E-Mail: [swieskotten@iat.tu-darmstadt.de](mailto:swieskotten@iat.tu-darmstadt.de)

P.Wabel, U.Moissl  
Fresenius Medical Care Deutschland GmbH, Research & Development, Bad Homburg,  
Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH  
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 267 „Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin, 7. Workshop, Tagungsband“  
Editors: Ralf Tita, Robert Riener, Martin Buss, Tim C. Lüth  
ISBN: 978-3-18-326717-0  
Pages: 21-22

## Konzeptentwurf für eine Modell-basierte Bestimmung von Körperzusammensetzung und Überwässerung bei Dialysepatienten mit Amputationen

S.Wieskotten<sup>1</sup>, <sup>1</sup>C.Rottmann, P.Wabel<sup>2</sup>, U.Moissl<sup>2</sup>, R.Isermann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Automatisierungstechnik, TU Darmstadt  
Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt

<sup>2</sup>Fresenius Medical Care Deutschland GmbH, Research & Development  
Daimlerstraße 15, 61352 Bad Homburg

swieskotten@iat.tu-darmstadt.de

### EINLEITUNG

Die Zahl der Diabetespatienten wird sich weltweit von 150 Mio. im Jahr 2000 auf 300 Mio. Patienten im Jahr 2025 verdoppeln. In ihrem Jahresbericht 2007 stellt die Deutsche Diabetes Union fest, dass aktuell in Deutschland 3,3 % aller Diabetespatienten unter Niereninsuffizienz als Folgeerkrankung leiden [DDU2007]. Ursache dafür ist ein zu hoher Blutzuckerspiegel, der ebenfalls den so genannten diabetischen Fuß, verursacht, bei dem bei dem Gewebe an den Extremitäten durch Mangel durchblutung abstirbt. Als Therapie werden Amputationen des betroffenen Körpersegments durchgeführt, die neben den Fuß auch die Finger, Hände, Arme und Beine betreffen können. Aus diesem Grund ist unter der Population der Dialysepatienten eine große Anzahl an Patienten mit Amputationen.

Für eine optimale Therapie der Niereninsuffizienz muss die vom Patienten zwischen den Dialysebehandlungen akkumulierte Menge an Flüssigkeit bekannt sein. Von Chamney et al. (2007) wurde ein Bioimpedanz-basierter Ansatz zu Berechnung dieser Überwässerung vorgestellt, mit dem gleichzeitig die Körperzusammensetzung in Bezug auf Fettgewebemasse und Magergewebemasse möglich ist. Bisher ist dieser Ansatz nur für Dialysepatienten ohne Amputationen geeignet, da für das zugrunde liegende Modell die Bioimpedanz von nur einer Körperseite gemessen wird und die andere Körperseite entsprechend extrapoliert wird.

Diese Arbeit stellt ein Modell zur Berechnung der Magergewebemasse von Körpersegmenten vor. Dafür werden die Messergebnisse einer so genannten 4-Punkt-Bioimpedanz-Messung verwendet. Mit diesen Segment-Daten kann die mittels des Ansatzes von Chamney bestimmte Körperzusammensetzung für Amputationen korrigiert werden. Abb. 1 zeigt dieses Verfahren als Blockschaltbild.

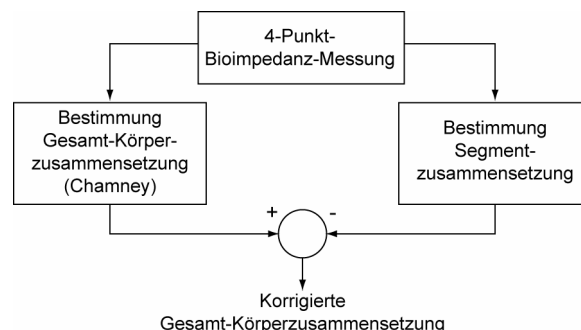


Abb. 1: Verfahren zur Korrektur der Ganz-Körperzusammensetzung um die Amputation von Segmenten.

### MATERIALIEN UND METHODEN

Für die Entwicklung des Modells wurden 148 gesunde Probanden untersucht. Mittels der Dual-X-Ray-Absorptiometry wurde die Zusammensetzung der Körpersegmente (Arme und Beine) in Bezug auf Magermasse ( $M_{LeanDEXA}$ ) und Fettmasse ( $M_{FatDEXA}$ ) bestimmt. Anschließend wurde die Bioimpedanz mittels 4-Punkt-Bioimpedanzspektroskopie bestimmt. Aus diesen Messungen können die Impedanzen der einzelnen Körpersegmente berechnet werden, hierzu wird das 5Z-Ersatzschaltbild des Körpers angewandt:

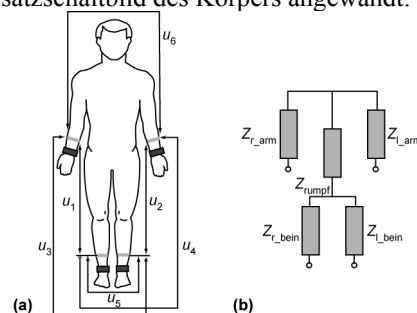


Abb. 2: 4-Punkt-Messung der Bioimpedanz (a) zur Bestimmung der Segmentimpedanzen des 5Z-Ersatzschaltbilds des Körpers (b)

Die Impedanzen der Segmente Arm und Bein setzen sich wiederum aus den Impedanzen der einzelnen Kompartimente Mager- und Fettgewebe zusammen. Die Kompartimente können durch eine Parallelschaltung eines Kondensators und eines ohmschen Widerstands, dessen Resistivität  $\sigma_x$  bzw. Permittivität  $\epsilon_x$  frequenzabhängig und gewebetypisch sind. Abb. 3 zeigt dieses Ersatzschaltbild für ein Körpersegment bestehend aus den zwei Kompartimenten Mager- und Fettgewebe:

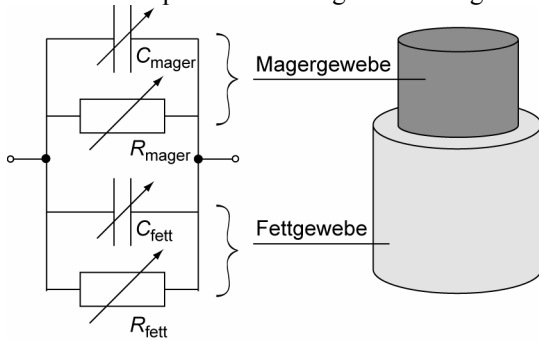


Abb. 3: Modell der Segmentzusammensetzung

Für die Impedanz des Segments gilt:

$$Z = \frac{l^2}{(\sigma_f + j \cdot \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_f) \cdot V_{Fett} + (\sigma_m + j \cdot \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_m) \cdot V_{Mager}}$$

mit  $l$  als Länge des Segments,  $\omega$  als Kreisfrequenz und  $V$  als Volumen der Mager- bzw. Fettgewebsmasse. Die Segmentlänge  $l$  kann aus der Körpergröße  $Hgt$  berechnet werden:  $l_{Arm} = 0,306 \cdot Hgt$ ,  $l_{Bein} = 0,58 \cdot Hgt$ . Die Skalierungsfaktoren wurden mittels anthropometrischer Messungen an 504 Probanden ermittelt (unveröffentlichte Daten). Durch getrennte Betrachtung von Real- und Imaginärteil der Segmentimpedanz können die Volumina und damit die Massen von Mager- bzw. Fettgewebsmasse  $M_{mager}$  und  $M_{fett}$  berechnet werden [Wieskotten2006], um so die Körperzusammensetzung zu korrigieren.

Für die Berechnung der Überwässerung wird angenommen, dass sich die Überwässerung prozentual wie die Magergewebsmasse auf die Körpersegmente verteilt. Es gilt:

$$\frac{M_{mager}(Segment)}{M_{mager}(Ganzkörper)} = \frac{M_{Ex}(Segment)}{M_{Ex}(Ganzkörper)}$$

Somit kann die Überwässerung korrigiert werden.

ERGEBNISSE

Das neu entwickelte Segmentzusammensetzungsmodell erlaubt die Bestimmung der Magergewebsmasse der Körpersegmente Arm und Bein. Eine Bestimmung der Fettgewebsmasse ist nicht möglich, da das Fettgewebe nur wenig Einfluss auf die Bioimpedanz hat. Ebenso ist die Berechnung der Zusammensetzung des Rumpfs nicht möglich, da seine zu Impedanz klein ist.

Abb. 4 zeigt zwei x-y-Plots für den Vergleich zwischen den Magermassen vom rechten Arm und rechten Bein nach DEXA und nach dem neuen Segmentmodell. Die Ergebnisse für den linken Arm und das linke Bein sehen qualitativ ähnlich aus.

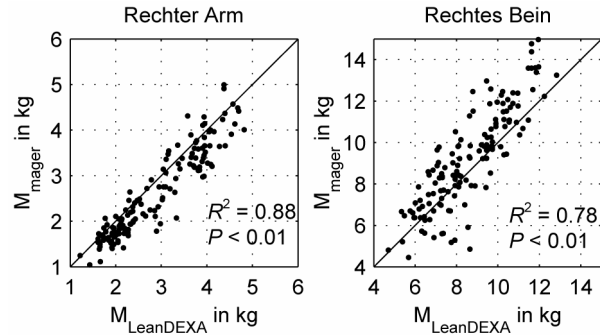


Abb. 4: x-y-Plot für den Vergleich zwischen den Magermassen vom rechten Arm und rechten Bein nach DEXA und nach dem neuen Segmentmodell.

Die Analyse der Differenz zwischen dem Referenzverfahren DEXA und dem neu entwickelten Segmentmodell zeigt Tabelle 1 für die Arme und Beine im Detail.

Tab. 1: Genauigkeit der Berechnung der Magermasse im Vergleich zwischen SCIM und DEXA: Mittelwert +/- 2\* Standardabweichung

Magermasse vom Segment	MW ± 2 SD
rechten Arm	-0,37 kg ± 0,75 kg
linken Arm	-0,12 kg +/- 0,67 kg
rechten Bein	-1,1 kg +/- 2,62 kg
linken Bein	-0,598 kg +/- 2,61 kg

DISKUSSION

Mithilfe des neu entwickelten Modells zur Bestimmung der Zusammensetzung von Körpersegmenten kann nur die Magermasse nicht aber die Fettmasse berechnet werden. Erst bei bekanntem Segmentgewicht könnte die Fettmasse ebenfalls bestimmt werden.

Die Verkopplung zwischen Überwässerung und Magermasse ist nur eine Näherungslösung, da überschüssige Flüssigkeit nicht ausschließlich und nicht gleichverteilt in der Magermasse eingelagert wird.

Für die klinische Anwendung muss das Modell weiter optimiert werden, zusätzlich sollten Daten von überwässerten Dialysepatienten analysiert werden.

LITERATURHINWEISE

[DDU2007]  
 Jahresbericht der Deutschen Diabetes Union 2007  
 [Chamney2007]  
 P. Chamney, P. Wabel, U. Moissl, M.J. Müller, A. Bosy-Westphal, O. Korth, N.J. Fuller, "A whole-body model to distinguish excess fluid from the hydration of major body tissues", *Am J Clin Nutr*, Vol 85, p 80-89, 2007  
 [Wieskotten2006]  
 S. Wieskotten, P. Wabel, U. Moissl, R. Isermann, "Ein neues Modell zur Bioimpedanz-basierten Bestimmung der Körperzusammensetzung" in *Technische Mitteilungen: Impedanzspektroskopie*, ISSN 0040-1439, 2006