

# FEM Simulation der transthorakalen elektrischen Impedanz bei der Entstehung von Lungeödemen

Lisa Beckmann<sup>1</sup>, Dirk van Riesen<sup>2</sup>, Ralf Schmidt<sup>3</sup>, Steffen Leonhardt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik, RWTH Aachen, Deutschland

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Elektrische Maschinen, RWTH Aachen, Deutschland

<sup>3</sup>Philips Forschungslaboratorien, Aachen, Deutschland

## Kurzfassung

Die Bioimpedanz-Spektroskopie (BIS) ist eine nicht-invasive Messtechnik, mit der die Zusammensetzung des Körpers, wie z.B. der Wasser und Fettgehalt, gemessen werden kann. Regelmäßige BIS Messungen am Thorax ermöglichen es außerdem, Änderungen des Wassergehalts, wie z.B. bei der Entstehung von Lungenödemen, frühzeitig festzustellen und somit besser behandelbar zu machen. Allerdings werden BIS Messungen sehr leicht durch äußere Faktoren beeinflusst, so dass für korrekte, reproduzierbare Messungen die Messregion und die Messabläufe genau bekannt sein sollten. Um dies zu ermöglichen, wurde ein Finite Element Model (FEM) Model des Thorax entwickelt, mit dem transthorakale Impedanzmessungen für verschiedene Lungenödemstadien simuliert und untersucht werden können.

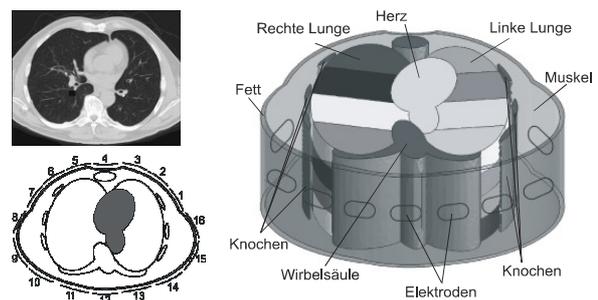
## 1 Einleitung

Lungenödeme treten als Folge verschiedener organischer Erkrankungen auf und entstehen durch den vermehrten Flüssigkeitsaustritt aus den Lungenkapillaren, in das Lungengewebe. Klinische Symptome eines Lungenödems, wie z.B. Atemnot oder Herzrasen, treten erst dann auf, wenn sich das interstitielle Flüssigkeitsvolumen versechsfacht hat [1]. In den meisten Fällen bleibt es unentdeckt und die Behandlung verzögert sich. Die Bioimpedanz-Spektroskopie (BIS) könnte dieses Problem lösen. Die BIS basiert auf der Tatsache, dass sich die elektrischen Eigenschaften von menschlichem Gewebe je nach Gewebeart und Messfrequenz unterscheiden. Blut und Muskeln haben eine sehr gute, Knochen und Fett eher eine schlechte Leitfähigkeit [2]. Entsprechend dazu hat eine mit Luft gefüllte Lunge eine niedrigere Leitfähigkeit als eine mit wassergefüllte Lunge. Bei einer BIS-Messung wird ein kleiner Messstrom (bei verschiedenen Frequenzen) in den Körper eingespeist, die resultierende Spannung gemessen und daraus die Körperimpedanz bzw. die Körperzusammensetzung berechnet. Die Impedanz des Thorax liegt bei ca. 20-50  $\Omega$  und wird bei einem gesunden Menschen zu 15 – 20% von der Lunge beeinflusst [3]. Es ist bekannt, dass Änderungen der Thoraximpedanz mit den Änderungen der klinischen Symptome eines Lungeödems korrelieren [4]. Des Weiteren verringert sich die Thoraximpedanz deutlich vor den ersten klinischen Symptomen, so dass dies frühzeitig mit Hilfe der BIS erkannt werden kann [4]. Um transthorakale BIS Messungen bezüglich ihrer Sensitivität und Stromdichteverteilungen in den ver-

schiedenen Geweben zu untersuchen, haben wir ein Finite Element Model des Thorax entwickelt. Die Lungenflügel des Modells wurden in jeweils 4 x 4 Stücke unterteilt, so dass sie einzeln mit Körperwasser gefüllt werden können und dadurch unterschiedliche Lungenödemstadien simulieren.

## 2 Methode

Die geometrischen Dimensionen des Thoraxmodells basieren in dieser Untersuchung auf CT Bildern eines jungen Mannes, siehe Bild 1. Im Ganzen wurden sechs verschiedene Gewebearten simuliert: Muskel, Herz, Knochen, Fett, Lunge und Körperflüssigkeit,



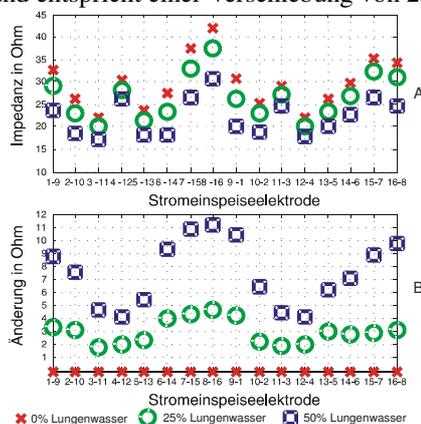
**Bild 1** CT Bild des menschlichen Thorax (links oben) und des 2D+1 Modells (rechts). Die gewählten Elektrodenpositionen sind links unten zu sehen

deren Gewebeparameter aus den Arbeiten von Gabriel [2] übernommen wurden. Die 2D+1 Volumen Geometrie wurde mit dem Programm ANSYS<sup>®</sup> erstellt und besteht aus 165 000 Tetraedern und 31 000 Knoten. Die Simulation, das heißt die Berechnung der Strom-

dichte und Potentialverteilung im Model wurde mit der Open-Source Software iMOOSE durchgeführt. Für die Simulation der verschiedenen Lungenödemstadien wurde zunächst eine gesunde Lunge simuliert, anschließend wurden die jeweils 4 untersten Lungenbereiche mit Körperwasser gefüllt, was 25% entspricht, und zuletzt die 8 untersten Bereiche (50%). Für die Simulation wurden 16 Elektroden um das Model herum positioniert (Bild 1) und nacheinander verschiedene Simulationsschritte durchgeführt. Zunächst wurde der Strom durch das gegenüberliegende Elektrodenpaar 1-9 induziert und die prozentuale Stromdichteverteilung im Thorax sowie die Impedanz zwischen den Elektroden 2 und 8 berechnet. Danach wurde die Stromeinspeisung weiter nach links verschoben, d.h. der Strom durch das Elektrodenpaar 2-10 induziert und die Impedanz zwischen den Elektroden 3 und 9 berechnet. Dieser Vorgang wurde anschließend solange wiederholt, bis alle 16 Elektrodenpaare einmal zur Stromeinspeisung genutzt wurden.

### 3 Ergebnisse

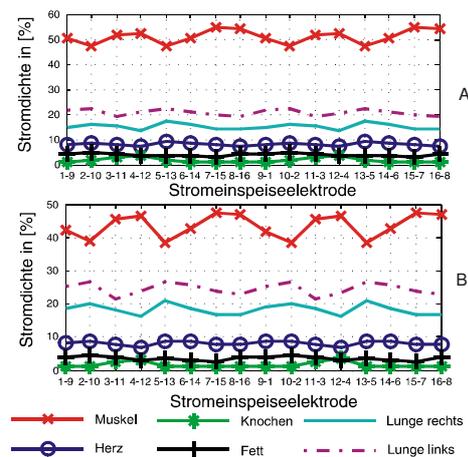
Bild 2A und 2B zeigt die berechneten Impedanzen bzw. Impedanzverschiebungen für die jeweiligen Einspeiseelektroden. Bei allen Elektrodenpositionen verringern sich die Impedanzwerte mit zunehmendem Lungenödem, allerdings weisen die Elektrodenpositionen mit Impedanzänderungen zwischen 4Ω und 12Ω unterschiedliche Sensitivitäten auf. Die größte Veränderung (12Ω) ist für das Elektrodenpaar 8 und 16 zu sehen und entspricht einer Verschiebung von 25%.



**Bild 2** Thoraximpedanz (A) und Thoraximpedanzänderung (B) für verschiedene Elektrodenpositionen

Die Bilder 3A und 3B zeigen die prozentuale Stromdichteverteilung im gesunden Thorax sowie in einem Thorax mit schwerem Lungenödem (50% Wasser). Die Ergebnisse in Bild 2A zeigen sehr deutlich, dass im gesunden Fall der meiste Strom über 50% durch den Muskel im Thorax fließt. Bei einem simulierten Lungenödem, Bild 2B, fließt deutlich mehr Strom durch die Lungenflügel (20-25%), wobei der Anteil durch das Muskelgewebe abnimmt. Der relative Anteil

von Herz, Knochen und Fett ändert sich im Vergleich A zu B kaum.



**Bild 2** Stromdichteverteilung im Thorax bei gesunder Lunge(A) und bei starkem Lungenödem (50%)(B)

### 4 Diskussion

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass sich bei der Messung der transthorakalen Impedanz während der Entstehung eines Lungenödems der Stromdichteannteil hauptsächlich von Muskelmasse zu Lunge verschiebt. Die restlichen Gewebe haben nur einen sehr geringen Einfluss. Die gemessenen Impedanzwerte verringern sich mit zunehmendem Lungenödem, allerdings je nach Elektrodenposition unterschiedlich stark. Die höchste Sensitivität erreicht man bei einer Stromeinspeisung am Elektrodenpaar 8-16. Für die genaue Validierung der simulierten Ergebnisse müssen demnächst Vergleichsmessungen an Patienten durchgeführt werden.

### 5 Literatur

- [1] M. Shochat, G. Charach, S. Meyler, et al., "Internal thoracic impedance monitoring: a novel method for the preclinical detection of acute heart failure" in Cardiovascular Revascularization Medicine, 7, pp. 41-45, 2006
- [2] C. Gabriel, S. Gabriel, R.W. Lau "The dielectric properties of biological tissues:II Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz" in Physics in Medicine and Biology, 41, 1996
- [3] R. Patterson, F. Yang, "Lung impedance contributions to the total impedance based on a FDM model and lead field theory" in Proceeding of the 2005 IEEE, Engineering in Medicine and Biology 27th annual conference Shanghai, China, September 1-4, 2005
- [4] A. Fein, R.F. Grossman, J. Gareth, et al., "Evaluation of transthoracic electrical impedance in the diagnosis of pulmonary edema" in Circulation, 60, No.5, 1979