

**10. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Simulation der kardiopulmonalen Reanimation:
Modellierung und Identifikation des Herzkreislaufsystems
mit Daten der kardiopulmonalen Reanimation“**

Christian Neuhaus
Institut für Assistenzsysteme und Qualifizierung an der SRH-Hochschule Heidelberg e.V.,
Heidelberg, Deutschland
E-Mail: christian.neuhaus@iaq-hd.de

Johannes Kreuzer
Weinmann Geräte für Medizin GmbH + Co. KG, Hamburg, Deutschland

Oliver Hahn, Clemens Kill, Wolfgang Dersch
Philipps-Universität Marburg, Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Marburg,
Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin“
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-
Hahn, Kirska Dannenberg
ISBN: 978-3-18-328617-1
Pages: 20-21

Simulation der kardiopulmonalen Reanimation: Modellierung und Identifikation des Herzkreislaufsystems mit Daten der kardiopulmonalen Reanimation

Christian Neuhaus¹, Johannes Kreuzer², Oliver Hahn³, Clemens Kill³ und Wolfgang Dersch³

¹Institut für Assistenzsysteme und Qualifizierung an der SRH-Hochschule Heidelberg e.V, Heidelberg, Deutschland

²Weinmann Geräte für Medizin GmbH + Co. KG, Hamburg, Deutschland

³Philipps-Universität Marburg, Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Marburg, Deutschland

Kontakt: christian.neuhaus@iaq-hd.de

Einleitung

Bei plötzlichem Herz- Kreislaufstillstand ist die Kardiopulmonale Reanimation die einzige anerkannte Möglichkeit einen Menschen wiederzubeleben. Die aktuellen Empfehlungen des „European Resuscitation Council“, siehe [1], zur Reanimation basieren auf dem aktuellen Stand der medizinischen Forschung in diesem Gebiet. Die Daten die zur Verfügung stehen sind entweder Beobachtungsstudien, Auswertungen von Registern oder Tierstudien. Studien am Menschen sind nur eingeschränkt und unter Einhaltung strenger Richtlinien möglich. Tierstudien bieten den einzigen Ersatz, sind jedoch auch ethisch und wissenschaftlich teils umstritten. Eine Verbesserung dieser Situation könnten Simulationsmodelle der Reanimation bilden, die die Prozesse der Reanimation abbilden.

Methoden und Materialien

Modellierung

Die Modellierung der Reanimation erfolgt in Matlab-Simulink und SimScape („The MathWorks, Inc.“, USA). Sie erfolgt in den jeweiligen Systemen akausal, die einzelnen Modelle werden in Simulink gekoppelt. Es wird ein konzentriertes Elementemodell mit elektrischen Analogien aufgebaut. Hierdurch werden Einflüsse turbulenter Flüsse und nicht Newtonsches Verhalten vernachlässigt. Das Modell basiert auf einem von Babs et al. [2] vorgestellten Modell. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Noordergraaf et al. [3], dieses Modell berücksichtigt viele weitere Parameter, wie die Trägheit der bewegten Medien. Diese wurde im vorliegenden Modell ebenfalls berücksichtigt.

Das Modell wurde wie in Abb. 1 dargestellt aufgebaut. Es besteht aus vier Submodellen mit verschiedenen Wechselwirkungen: Einem Beatmungsgerät, der Lunge inklusive der Atemwege, dem Herzkreislaufsystem und der Thoraxmechanik. Von außerhalb des Modells wird die Verschiebung des Thorax $x(t)$ simuliert, welche die Thoraxkompression darstellt. Das Beatmungsgerät bringt Drücke und Flüsse in das System ein und kann die Ausatmung beeinflussen. Der Rest des Modells ist passiv, wobei die Modelle wie abgebildet gekoppelt sind. Das Beatmungsgerät stellt in diesem Modell, je nach simulierter Beatmungsform, eine Druck oder Flussquelle

dar und ist bis auf eine endliche Flankensteilheit als ideal angenommen.

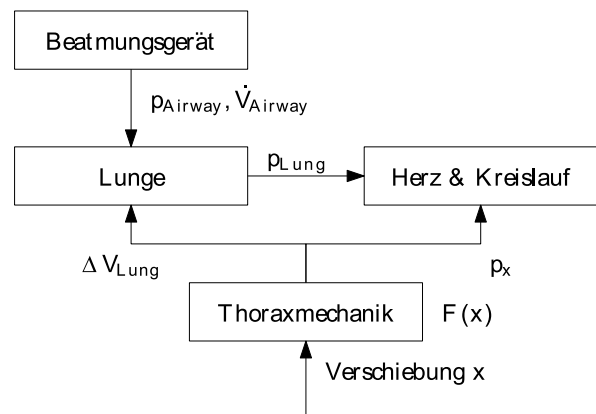


Abb. 1: Gliederung des Modells auf Simulink- Ebene mit Rückwirkungen der Submodelle und Anregung

Als Modell der Lunge ist ein einfaches RC-Modell gewählt worden. Die Thoraxmechanik wirkt auf die Lunge und das Herzkreislaufsystem, von einer Rückwirkung wird nicht ausgegangen. Die Wirkung auf die Lunge wird mittels eines sich zur Kompression äquivalent ändernden Querschnitts der Lunge angenommen, die Wirkung auf den Kreislauf ist als kompressionsbedingte intrathorakale

Druckänderung $\left(p_x = E \cdot \frac{x}{d_0} \right)$ mit einem angenomme-

nen äquivalenten E-Modul E , einem Durchmesser des Thorax d_0 und einer Kompressionstiefe x modelliert. Das zirkulatorische Modell besteht aus dreizehn Kompartimenten. Diese sind in Abb. 3 dargestellt, der zirkulatorische Anteil des Herzens und der Lunge ist nur angedeutet.

Daten der Reanimation und Identifikation

Die Parameter des Modells werden, ausgehend von Standarddaten für einen Menschen, mit Daten aus einem porcinen Tiermodell identifiziert. Der verwendete Datensatz enthält kontinuierliche Aufnahmen des Atemgasflusses, des Atemwegdrucks, sowie den zentralvenösen und zentralarteriellen Blutdrücken. Das verwendete Tiermodell stammt von Kill et. al. [4], die Gesamtdaten sind unveröffentlicht. Zur Identifikation der Parameter wurde der Levenberg Marquadt-Algorithmus verwendet, nachzule-

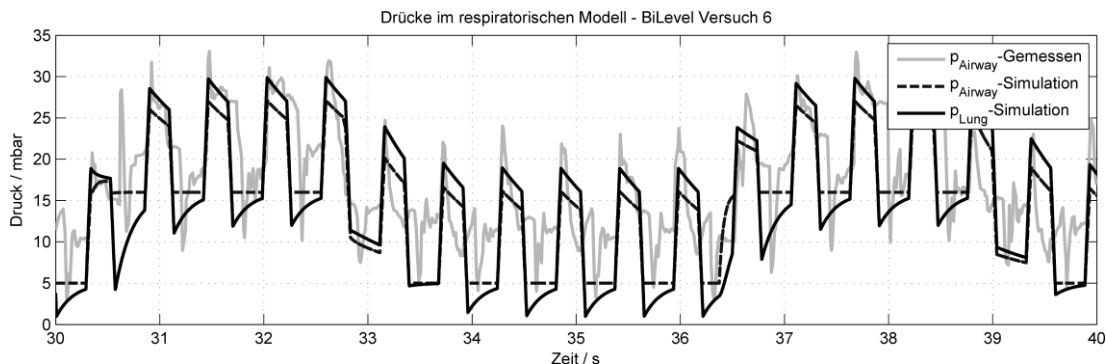


Abb. 2: Originalsignal und Simulierte Drücke eines Reanimationsversuchs mit Druckkontrollierter Beatmung

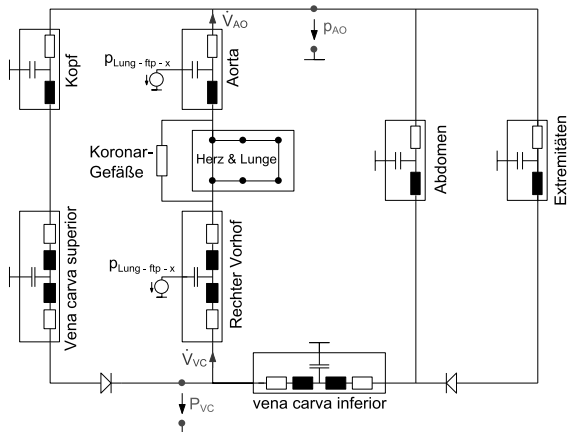


Abb. 3: Modell des Herz-Kreislaufsystems mit Anregungen.

sen in [5]. Es handelt sich hierbei um eine Mischform der Gauß-Newton-Methode und des Gradientenverfahrens.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Modellierung werden anhand des Korrelationsfaktors im Spektralbereich und der mittleren Abweichung im Zeitbereich bewertet. Es wird jeweils die Genauigkeit für die Identifikation, sowie die Verifikation, anhand nicht zur Identifikation verwendeter Daten, bewertet. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 als Mediane mit Perzentilen dargestellt. Eine simulierte Kurve gegenüber einer echten ist beispielhaft in Abb. 2 dargestellt.

Tab.1: Genauigkeit des identifizierten Modells im Spektral und Zeitbereich. Daten als Median(25%-/75%-Perzentil).

		Spektrum/%	Druck/hPa
Pulmonal	Identifikation	93,3(90,7/93,1)	4(1,8/5,2)
	Verifikation	92,1(90,8/93,0)	3,2(2,0/4,8)
Aorta	Identifikation	97,0(96,4/97,3)	7,9(6,0/9,1)
	Verifikation	96,7(95,8/97)	10(8,7/11,1)
Vena Carva	Identifikation	97,4(96,7/97,6)	4,1(3,5/4,9)
	Verifikation	93,0(89,2/97,1)	5,1(4,0/6,1)

Diskussion

Der Aufbau als Whitebox-Modell und die Identifikation der Kompartimente lässt bereits Rückschlüsse auf die

Vorgänge bei einer Reanimation und mögliche Einflussgrößen zu. Besonders die gute Annäherung im Spektralbereich zeigt die grundsätzliche Eignung des Modells. Die teils noch schlechten Ergebnisse im Zeitbereich müssen jedoch noch untersucht werden. Zum einen kann das Modell im Bereich der zur Zeit als ideal angenommenen Klappen noch verbessert werden, um auch retrograde Flüsse zu simulieren, zum anderen ist das Beatmungsgerät zur Zeit noch als beinahe ideal angenommen. Abschließend wäre ein verbesserter Datensatz zur Identifikation hilfreich.

Schlussfolgerungen

Eine Simulation des Herz-Kreislaufsystems und Beschreibung der wesentlichen Effekte und Rückwirkungen der einzelnen Systeme ist bereits möglich.

In Zukunft wird das Modell weiter verfeinert werden um die Realität besser abbilden zu können. Neben dem derzeitigen Einsatz zum Verständnis der Zusammenhänge von Beatmung, Thoraxkompression und Blutfluss/ Blutdruck wird das Modell in Zukunft als „Hardware in the Loop“- Simulator eingesetzt werden. Hierfür kann beispielsweise ein aktiver Lungensimulator als Schnittstelle genutzt werden (z.B. ASL5000, IngMar Medical, Ltd., USA).

Literatur

- [1] Nolan, J. P., Soarb, J., Zidemanc, D. A., Biarentd, D. *et al.*, European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010. *Resuscitation* 2010, 81, 1219–1276.
- [2] Babbs, C. F., CPR techniques that combine chest and abdominal compression and decompression: hemodynamic insights from a spreadsheet model. *Circulation* 1999, 100.
- [3] Noordergraaf, G. J., Dijkema, T. J., Kortsmid, W. J. P. M., Schilders, W. H. A. *et al.*, Modeling in Cardiopulmonary Resuscitation: Pumping the Heart. *Cardiovasc Eng* 2005, 5, 105–118, DOI: 10.1007/s10558-005-7671-3.
- [4] Kill, C., Torossian, A., Basic life support with four different compression/ventilation ratios in a pig model: The need for ventilation. Experimental paper. *Resuscitation* 2009.
- [5] Ljung, L., *System identification: Theory for the user*, 2nd edn., Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2009.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages