

**1. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
21.-22. November 1997 in  
München**



**„Ein Modell der extrakorporalen Zirkulation“**

Andreas Schwarzhaupt, Uwe Kiencke  
Institut für Industrielle Informationstechnik, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH),  
Deutschland  
E-Mail: [Andreas.Schwarzhaupt@etec.uni-karlsruhe.de](mailto:Andreas.Schwarzhaupt@etec.uni-karlsruhe.de)

## EIN MODELL DER EXTRAKORPORALEN ZIRKULATION

Andreas Schwarzhaupt, Uwe Kiencke

Institut für Industrielle Informationstechnik

Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

Email: Andreas.Schwarzhaupt@etec.uni-karlsruhe.de

### ABSTRACT

Dieser Beitrag beschreibt ein Simulationsmodell des menschlichen Kreislaufes unter extrakorporaler Zirkulation (EKZ). Dieses soll dazu dienen, Regler für die EKZ zu entwerfen und zu testen.

Das Modell enthält die wichtigsten Regelstrukturen zur Aufrechterhaltung der Hämodynamik. Dabei sind die Auswirkungen der extrakorporalen Zirkulation auf den Kreislauf berücksichtigt.

Der Zustand des betrachteten Kreislaufes wird in Form von Hormonverhalten, Bluteigenschaften, Nierendynamik usw. und den im arteriellen System örtlich verteilten Strömungsgrößen Druck und Fluß beschrieben.

### EINFÜHRUNG

In der Herzchirurgie wird ein ruhendes, blutleeres Herz zur Operation benötigt. Da die lebenswichtigen Funktionen des Körpers jedoch auf der Versorgung mit Blut beruhen, muß der Kreislauf auch ohne die Einbindung des Herzens aufrecht erhalten werden. Dies wird durch eine kardiopulmonaler Bypass genannte Technik unter Verwendung einer Herz-Lungen-Maschine realisiert. Diese Maschine übernimmt während der Operation die Funktionen von Herz und Lunge des betroffenen Kreislaufes.

Soll für diese Maschine ein Regler entworfen werden, ist zunächst ein Modell der Regelstrecke – hier der menschliche Kreislauf unter extrakorporaler Zirkulation – vonnöten. Die Grundlagen des hier vorgestellten Modells beruhen auf den Arbeiten von Guyton [2] und Avolio [1].

### MODELLIERTE PHYSIOLOGISCHE STRUKTUREN

In diesem Abschnitt sollen die dem Modell zugrunde liegenden physiologischen Strukturen kurz angeschnitten werden. Der erste Teil des Abschnittes beschreibt dabei die Physiologie, der zweite die Pathophysiologie der extrakorporalen Zirkulation.

#### Physiologie des menschlichen Kreislaufes

Das kardiovaskuläre System kann in zwei Elemente unterteilt werden: den systemischen Kreislauf und den Pulmonalkreislauf. Blut dient im systemischen Kreislauf zur Versorgung des Gewebes mit Sauerstoff und zum Abtransport von Stoffwechselendprodukten wie z.B. Kohlendioxyd. Es wird vom linken Herzen in die Aorta ausgeworfen und dort durch das weit verzweigte arterielle System zu den Endverbrauchern transportiert. Nachdem es das Gewebe passiert hat, wird es durch das venöse System über das rechte Herz zur Lunge und von dort aus zurück zum linken Herzen gepumpt.

Zur Aufrechterhaltung dieser Dynamik unter allen Belastungssituationen des Kreislaufes dienen verschiedene Regelmechanismen. Die drei wichtigsten sind das Renin-Angiotensin-System, das autonome Nervensystem und das System der lokalen arteriellen Autoregulation. Diese drei Mechanismen wurden in unserem Modell neben anderen Kreislaufsystemen implementiert.

Der Arterienbaum wurde als ein örtlich in 128 Segmenten verteiltes System realisiert [3][4].

#### Pathophysiologie der extrakorporalen Zirkulation

Zentrale Komponente der extrakorporalen Zirkulation ist die Herz-Lungen-Maschine, die die Pumpfunktion des Herzens und den Gasaustausch der Lunge übernimmt. Das Herz ist nicht im Blutkreislauf enthalten.

Durch Hämodilution und Hypothermie werden die rheologischen Eigenschaften Dichte und Viskosität des Blutes nachhaltig verändert. Ebenso wird die Lebensdauer der Erythrocyten durch die Herz-Lungen-Maschine um 50% verkürzt.

Der Sauerstoffverbrauch des Körpers ist stark abhängig von Einflüssen der Anästhesie und der Hämodilution. Im Modell wird dies durch einen „basalen Sauerstoffverbrauch“ ausgedrückt, der auf die simulierte Situation angepaßt wird.

#### Das Modell

Bild 1 zeigt die Struktur des auf die oben beschriebene Weise erstellten Modells.

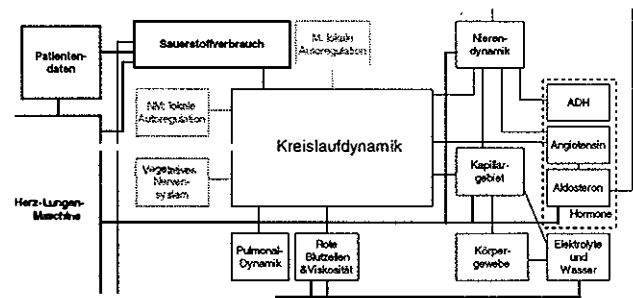


Bild 1

#### LITERATUR

- [1] Avolio, A.P.: „Multi-branched Model of the Human Arterial System“, *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 18, 1980, pp. 709-718
- [2] Guyton, A. C. et al.: „Circulation: Overall Regulation“, *Annual Review of Physiology* 1972
- [3] Schulz, S. et al.: „A Mathematical High Time Resolution Model of the Arterial System under Extracorporeal Circulation“, *ISA 1997, Paper #97-069*
- [4] Schwarzhaupt, A. et al.: „A Simulink Model of the Human Circulatory System“, *matlab conference, 1997*