

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



**„Regelung der Herz-Lungen-Maschine“**

Martin Hexamer  
Lehrstuhl für Biomedizinische Technik, Ruhr-Universität, Bochum, Deutschland

## Regelung der Herz-Lungen-Maschine

Martin Hexamer

Lehrstuhl für Biomedizinische Technik, Ruhr-Universität, MA 4/59, D-44780 Bochum

Zur Durchführung chirurgischer Eingriffe am Herzen ist meistens dessen Ruhigstellung erforderlich (z.B. Bypassoperation). Für die Dauer des Eingriffes muß daher die Pumpfunktion des Herzens und der Gasaustausch in der Lunge durch eine Herz-Lungen-Maschine (HLM) ersetzt werden. Dazu wird das venöse Blut in der Nähe des rechten Herzens aus dem Körper entnommen und der HLM zugeführt. Erste Station ist ein Reservoir, in dem das Blut zwischengespeichert wird. Daran schließt sich als treibende Kraft (Herzersatz) die arterielle Pumpe an, die das venöse Blut der Oxygenator/Wärmetauschereinheit zuführt. Vermittels des Wärmetauschers kann das Blut, je nach klinischer Erfordernis, abgekühlt oder erwärmt werden. Im Oxygenator findet der Gasaustausch statt, d.h. die Beladung des Blutes mit Sauerstoff und der Entzug von Kohlendioxid durch Diffusion entlang einer großflächigen mikroporösen Membran, die die Blut- und die Gasseite im Oxygenator trennt. Bevor das arterialisierte Blut zurück in den Körper (Aorta) gelangt, wird es von Partikeln gereinigt und entschäumt. An allen wesentlichen Stellen der HLM sind Sensoren zur Messung der Blutgasparameter, des pH, der Temperatur, des Blutdruckes und der Durchströmung installiert. Der Betrieb der HLM obliegt in der Regel besonders geschultem Personal (Kardiotechniker), die die HLM anhand vorgegebener Kriterien direkt steuern und die reguläre Funktion überwachen.

Die wesentlichsten Variablen (Regelgrößen), die es innerhalb fester Toleranzbänder zu halten gilt und die die meisten Interventionen seitens des Operators erfordern, sind die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung, sowie der arterielle Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdruck des Blutes, die durch die Stellgrößen arterielle Pumpleistung und Sauerstoffpartialdruck und Durchströmung auf der Gasseite des Oxygenators verstellt werden können. Das Gesamtsystem ist nichtlinear und totzeitbehaftet, wobei eine wesentliche Nichtlinearität in der Sauerstoff- und Kohlendioxidbindungscharakteristik des Blutes begründet ist.

Es wird ein mehrstufiges Automatisierungskonzept vorgestellt, das sich eng an den natürlichen Zustand hält: Dieses beinhaltet in der ersten Stufe, vergleichbar mit der physiologischen Atmungsregulation, eine Regelung der arteriellen Blutgasparameter auf eng tolerierte Sollwertbereiche. Damit soll sichergestellt werden, daß erstens der Organismus mit konstanten, physiologischen Blutgaskonzentrationen versorgt wird und dies zweitens, wie im intakten Organismus, unabhängig vom Blutfluß erfolgt. Letzteres ist im Kontext mit der zweiten Stufe, dem wichtigsten Regelkreis der HLM zu sehen, der die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung des Blutes regelt und dessen entscheidende Stellgröße der Blutfluß ist. Für die Realisierung des Gesamtkonzeptes sind valide Modelle der Funktionssysteme Blut, Oxygenator und dem sich in einem pathophysiologischen Zustand befindenden Organismus wesentlich. Ein Modell der nichtlinearen Transportprozesse im Oxygenator wird vorgestellt.