

# Implementierung und Evaluierung konkurrierender Reglerstrukturen für eine automatisierte extrakorporale Zirkulation



Technische Universität München



Deutsches Herzzentrum  
München

Lehrstuhl für Echtzeitsysteme  
und Robotik

## Hintergrund

In Deutschland sterben jährlich ca. 300.000 Menschen an den Folgen einer koronaren Herzerkrankung. 10% dieser Todesfälle resultieren aus einem kardiogenen Schock. Als Folge des kardialen Pumpversagens kommt es zu Minderperfusion der übrigen Organe mit einer Mortalität von 50 bis 90%. Die betroffenen Patienten könnten durch einen frühzeitigen Einsatz der extrakorporalen Zirkulation (EKZ), d.h. durch Anschluss einer Herz-Lungenmaschine (HLM) und damit durch die Sicherstellung der Organperfusion vor einem Multiorganversagen bewahrt werden. Mit einer mobilen HLM könnten diese Patienten frühzeitig vor Ort stabilisiert und während des Transports zur definitiven Versorgung in ein Herzzentrum am Leben erhalten werden.

Die wesentliche Voraussetzung für ein reibungsloses und sicheres Funktionieren einer transportablen HLM außerhalb eines herzchirurgischen Zentrums ist ein intelligentes, robustes Steuerungssystem, das auch ohne Anwesenheit ausgebildeten Personals zu einer flexiblen Adaptation der Perfusion an die jeweiligen Erfordernisse in der Lage ist, mögliche Störungen frühzeitig detektiert und im Sinne einer maximalen Patientensicherheit eliminiert. Zur Anpassung der Betriebsparameter der HLM an den individuellen Patienten müssen dessen Eingangsvoraussetzungen und die Art der Erkrankung des Herzens berücksichtigt werden. Während des Einsatzes soll durch Automatisierung des bisher vom Kardiotechniker geschlossenen Regelkreises zwischen der Erfassung von Patientendaten (z.B. der aktuelle Blutdruck) und der Regelung des Perfusionsprofils der EKZ (z.B. Änderung des Blutflusses) eine schnellere und genauere Anpassung der EKZ an den Kreislauf des Patienten erfolgen. Um dieses Ziel erreichen zu können, müssen die ausschlaggebenden physiologischen Daten, insbesondere die Konzentrationen der arteriellen und venösen Blutgase sowie Druck- und Flusswerte online erfasst werden. Es müssen Regler entworfen werden, die auf Basis dieser online erfassten Patientendaten die Perfusion laufend an die individuellen Bedürfnisse anpassen und optimieren. Die wesentlichen Parameter, die automatisiert gesteuert werden, sind der Blutfluß, die Sauerstoffeinspeisung und der Ausgleich von Elektrolytverschiebungen.

## Vorarbeiten

Das vorliegende Studentenprojekt ist Bestandteil eines interdisziplinären Forschungsprojekts mit den Projektpartnern Deutsches Herzzentrum München, Lehrstuhl für Echtzeitsysteme und Robotik (Prof. Knoll, TUM) und Lifebridge Medizintechnik AG. Unterstützt wird das Projekt von der Bayerischen Forschungstiftung. Die Lifebridge ist eine portable HLM und wird bereits im klinischen Alltag eingesetzt [1]. Zahlreiche Meilensteine des Projektes wurden bereits erreicht, so dass der Student auf entsprechende Expertise zurückgreifen kann:

1. **Tierexperimente:** Am Deutschen Herzzentrum wurden mehrere Großtierversuche (Schweine) durchgeführt und reale Daten des Patienten und der HLM aufgezeichnet. U.a. wurden Daten für Blutdruck, Blutfluss, Temperatur, Sauerstoffsättigung, EKG, diverse Blutgase sowie verschiedenste Maschinenparameter erhoben. Diese Daten stellen die Ausgangsbasis für nachfolgende Untersuchungen dar. Darüberhinaus wurde bereits ein einfacher Fuzzy-Controller zur automatischen Regelung des Pumpenflusses getestet [2].
2. **Hydraulisches Modell:** Ein hydraulisches Modell des kardiovaskulären Systems wurde entwickelt und steht für Systemtests zur Verfügung [3]. Dieses ist insbesondere für Hard- und Softwaretests die Tierversuchen vorausgehen, nützlich.
3. **Virtuelles Modell:** Eine Simulationsumgebung wurde aufgebaut, die es erlaubt entscheidende physiologische Parameter unter EKZ für verschiedene Systemzustände darzustellen. Grundlage für die Modellierung ist ein mathematisches Modell der menschlichen Physiologie und Hämodynamik [4], welches mit einem Modell der HLM gekoppelt wurde [5].

### Betreuer:

Dipl.-Ing. B. Baumgartner  
Prof. Dr. A. Knoll

### Forschungsprojekt:

Lifebridge

### Typ:

DA,MT

### Forschungsbereich:

Regelungstechnik,  
Medizintechnik

### Programmiersprache:

Java, C++, Matlab

### Voraussetzungen:

Motivation, Kenntnisse in C++,  
Java und Matlab

### Sprache:

Deutsch, Englisch

### Datum:

13. April 2010

### Kontaktieren Sie uns für nähere Informationen:

Telefon: +49.89.1218.3710

E-Mail: [baumgarb@in.tum.de](mailto:baumgarb@in.tum.de)

Internet: [www6.in.tum.de](http://www6.in.tum.de)

## Ziele und Methoden

Für die Regelung der im vorliegenden Zusammenhang auftretenden kontinuierlichen Prozesse (nichtlinear, zeitvariant, ohne genaues Streckenmodell, hohe Rauscheinflüsse, nur ungenau zu spezifizierendes Zielverhalten des Kreises) bieten sich Regler auf der Basis unscharfer Mengen (Fuzzy-Control) an. Die Verwendung von Fuzzy-Control ist zwar aus vielerlei Gründen attraktiv, aber nicht der einzig mögliche Ansatz zur Lösung des hier vorliegenden Problems; weitere Kandidaten sind die aus der klassischen Regelungstechnik entstandenen Architekturen für robuste Regelung, insbesondere die Sliding Mode Controllers als Spezialfall der Variable Structure Control Systems und die Methoden der  $H_\infty$ -Regelung, sowie Model Predictive Controller. Verschiedene Klassen von robusten Reglerstrukturen (Fuzzy, Sliding-Mode, etc.) die sich für die hier vorliegende nichtlineare Aufgabe einsetzen lassen sollen zunächst konkurrierend implementiert und getestet werden. Dabei kann das Ergebnis durchaus sein, dass für verschiedene System- bzw. Patientenzustände strukturell unterschiedliche Reglerstrukturen vorteilhaft einzusetzen sind. Optimierungskriterien (Zielfunktionen) sind geeignet zu wählen. Kriterien sind beispielsweise Glattheit der Regelung auch bei Zustands-/Modusübergängen, Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Regelverhaltens für einen Arzt, sowie Eingriffs- und Korrekturmöglichkeiten. Um den Arbeitsumfang zu begrenzen, liegt der Fokus dieses Projekts auf der Regelung hämodynamischer Größen (Blutdruck, Blutfluss) durch Anpassung der Pumpgeschwindigkeit der HLM. Folgende Arbeitspakete (in chronologischer Reihenfolge) sollen in diesem Projekt bearbeitet werden:

1. **Literaturrecherche/Einlesen:** Zunächst liest sich der Student in die Thematik ein. Entsprechende Literatur wird vom Betreuer zur Verfügung gestellt.
2. **Einarbeitung Simulationsumgebung:** Der Kandidat lernt die bestehende Simulationsumgebung kennen, insbesondere die zugrundeliegenden Code Design Patterns und Methoden, um eine Simulation an spezifische Bedürfnisse anzupassen. Zudem wird er mit den nötigen medizinischen Grundlagen und physiologischen Wechselwirkungen vertraut.
3. **Auswahl Reglerstrukturen:** Anhand der gesammelten Erfahrungswerte werden verschiedene Reglerstrukturen (3-4) ausgewählt. Mögliche Kandidaten sind PID-Regler, Fuzzy-Controller, Sliding-Mode-Controller, Model-Predictive-Controller oder  $H_\infty$ -Controller.
4. **Implementierung der Regler:** Die konkurrierenden Ansätze werden in Matlab implementiert. Entsprechende Toolboxen werden eingesetzt. Ein Prototyp-Fuzzy-Controller für den entsprechenden Regelkreis existiert bereits.
5. **Simulation und Evaluierung:** Über Simulink kann eine Anbindung zur verwendeten Simulationssoftware hergestellt werden. Denkbar ist die Implementierung einer Benutzeroberfläche zur Auswahl verschiedener Regler sowie verschiedener Testsituationen. Das Regelverhalten wird mit Hilfe realer Daten für verschiedene Situation simuliert. Eine entsprechende Visualisierung erlaubt auch Ärzten, die Regelergebnisse zu evaluieren bzw. zu bewerten. Darüber hinaus wird noch auf objektive Größen zur Messung der Regelgüte zurückgegriffen.
6. **Zusammenfassung und Präsentation:** Die Arbeit wird in schriftlicher Form dokumentiert gemäß den formalen Fakultätsrichtlinien bzw. der Richtlinien des betreuenden Lehrstuhls. Zudem präsentiert der Student die Arbeit in der Arbeitsgruppe.

## Referenzen

- [1] M. Krane, D. Mazzitelli, U. Schreiber, A. Mendoza Garzia, B. Voss, C. Badiu, R. Lange, and R. Bauernschmitt, "First experience with a new portable cardiopulmonary bypass system - lifebridge b2t with percutaneous femoral cannulation," in *Computers in Cardiology*, 2008, pp. 269–272.
- [2] B. Baumgartner, A. Mendoza, U. Schreiber, S. Eichhorn, M. Krane, R. Bauernschmitt, and A. Knoll, "A simple fuzzy controller for an extra-corporeal circulation system - limitations and potentials," in *5th Russian-Bavarian Conference on Bio-Medical Engineering*, 2009.
- [3] U. Schreiber, S. Eichhorn, A. Mendoza, B. Baumgartner, R. Bauernschmitt, R. Lange, A. Knoll, and M. Krane, "A new fuzzy controlled extracorporeal circulation system. first results of an in-vitro investigation," in *Computers in Cardiology*, vol. 36, 2009.



Technische Universität München



Deutsches Herzzentrum  
München

Lehrstuhl für Echtzeitsysteme  
und Robotik

- [4] J. B. Bassingthwaighte, "Strategies for the physiome project," *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 28, no. 8, pp. 1043–1058, 08 2000.
- [5] A. Mendoza Garcia, B. Baumgartner, U. Schreiber, M. Krane, A. Knoll, and R. Bauernschmitt, "Simulation of extracorporeal circulation for the design of a fuzzy controlled perfusion," *Seventh IASTED conference Biomedical Engineering*, 2010.



Technische Universität München



Deutsches Herzzentrum  
München

Lehrstuhl für Echtzeitsysteme  
und Robotik