

Evaluierung von Methoden zur Prozeßparameteroptimierung bei Hämodialyse

M. Leš^{1,2}, H. Scharfetter¹, H. Hutten¹

¹Institut für Elektro- und Biomedizinische Technik, Technische Universität
Graz, Inffeldgasse 18, A-8010 Graz

²Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta Maribor, Smetanova 17,
62000 Maribor, Slovenija

ZUSAMMENFASSUNG

Drei verschiedene Optimierungsstrategien für die Prozeßparameteroptimierung bei der Profildialyse wurden untersucht: Evolutionsstrategie, Simulated Annealing und die Levenberg - Marquardt Methode. Bewertungskriterien für die Zweckmäßigkeit der Verfahren waren die Anzahl der Modellaufufe bei vorgegebener zulässiger Abweichung von der Referenzkurve und der erreichbare minimale Fehler.

Dabei zeigte sich, daß die beiden stochastischen Verfahren Evolutionsstrategie und Simulated Annealing unproblematischer in der Anwendung sind, als der Levenberg-Marquardt-Algorithmus. Simulated Annealing erreicht für die untersuchte Problemstellung die kleinsten Fehler und weist auch die besten Konvergenzeigenschaften.

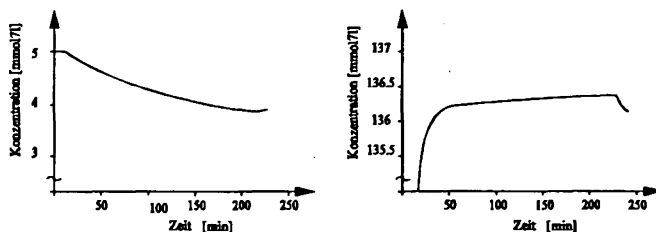
EINLEITUNG

Die Prozeßparameteroptimierung bei der Profildialyse stellt ein nicht unerhebliches mathematisches Problem im Sinne der Funktionaloptimierung dar. Regelungstechnisch gesehen soll eine optimale Steuerung der für die Dialyse relevanten Patientenzustandsgrößen während der Therapie realisiert werden. Abgesehen von der Definition des Optimalitätskriteriums ist die Bereitstellung eines geeigneten Optimierungsalgorithmus ein wesentlicher Bestandteil der Forschungsbestrebungen. Drei verschiedene Verfahren, nämlich Simulated Annealing, Evolutionsstrategie und der Levenberg-Marquardt Algorithmus wurden in Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit und Tauglichkeit hinsichtlich obiger Aufgabe untersucht.

METHODE

Wesentliche Faktoren des Optimierungskriteriums bei der Dialyse sind meßbare und nichtmeßbare Patientenzustandsgrößen, etwa Elektrolytkonzentrationen und der Säure-Basen-Status. Um diese Daten bereitzustellen, wurde ein Multikompartimentmodell verwendet, das die Vorhersage des Patientenstatus bei Hämodialyse gestattet. Die Steuerfunktionen (z.B. zeitliche Verläufe von Dialysat-Natrium, Ultrafiltrationsrate etc.) können dabei in Form sogenannter Profile vorgegeben

werden. Die Optimierung dieser Steuerfunktionen bezüglich eines gewünschten Patientenstatus führt auf die Theorie der Funktionaloptimierung, die sehr komplex und mathematisch aufwendig ist. Um den methodischen Aufwand zu vereinfachen wurden die Steuerfunktionen diskretisiert und durch einfache Treppenfunktion mit zeitäquidistanten Sprungstellen angenähert. Die Steuerparameter sind dann die einzelnen Sprunghöhen. Als Optimalitätskriterium wurde die maximale Annäherung gewisser Zustandsfunktionen (etwa der Zeitserien der Elektrolytkonzentrationen) an Referenzkurven im Sinne der Least-squares-Approximation gewählt. Die Referenzkurven wurden mithilfe des Simulationsmodells mit einem definierten Profil erzeugt. *Abbildung 1* zeigt zwei typische Referenzkurven.



a) Plasma-Kalium

b) Plasma-Natrium

Abbildung 1: Referenzkurven für die Prozeßparameteroptimierung. Dargestellt sind die sich aus dem Referenzprofil ergebenden Zeitverläufe für K^+ und Na^+ im Blutplasma.

Drei Optimierungsverfahren wurden für die Parameteroptimierung verwendet: Verschiedene Ausführungen der Evolutionsstrategie nach Rechenberg, Simulated Annealing (beide zählen zu den stochastischen Suchverfahren), und das deterministische Verfahren von Levenberg-Marquardt. Die Algorithmen wurden in MATLAB implementiert und laufen auf einer DEC-Station 5000/240. Untersucht wurde die Zahl der Funktionsaufrufe, die Stabilität und die Zielgenauigkeit der drei Strategien.

ERGEBNISSE

Alle Optimierungsverfahren wurden mit bis zu 10 Steuerparametern durchgeführt. Bewertungskriterien für