

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



**„Steuerung dynamischer Bewegungssysteme mittels  
Künstlicher Neuronaler Netze“**

Klaus D. Maier, Reinhard Blickhan  
Institut für Sportwissenschaft, AG Biomechanik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena,  
Deutschland  
E-Mail: k.maier@ieee.org

Clemens Beckstein  
Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz, Friedrich-Schiller-Universität  
Jena, Jena, Deutschland

## STEUERUNG DYNAMISCHER BEWEGUNGSSYSTEME MITTELS KÜNSTLICHER NEURONALER NETZE

Klaus D. Maier<sup>†‡</sup>, Clemens Beckstein\*, Reinhard Blickhan<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Institut für Sportwissenschaft  
AG Biomechanik  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
D-07740 Jena

\* Institut für Informatik  
Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
D-07740 Jena

<sup>‡‡</sup> Phone: +49-3641-9-45713, Fax: -45702  
Email: k.maier@ieee.org

Die Ausnutzung dynamischer Systemeigenschaften ermöglicht biologischen Bewegungssystemen Bewegung und Fortbewegung mit hohen Geschwindigkeiten zu realisieren. Das Ansteuern von Systemen mit dynamischen Eigenschaften, wie z.B. für ballistische Fortbewegung, muß hohen Anforderungen genügen.

Wir untersuchen wie sich künstliche neuronale Netze (KNN) zur Realisierung der Ansteuerung von dynamischen Bewegungssystemen eignen. Diese bieten sich zur Implementierung an, weil sie einerseits eine Verwandtschaft zu den biologischen Steuerungen aufweisen und andererseits deren Merkmale wie Robustheit, Fehlertoleranz und die Fähigkeit zu generalisieren besitzen. Zudem sind sie für stark nichtlineare Probleme geeignet.

Für die Untersuchung unterschiedlicher Strukturen von neuronalen Reglern (NR) verwenden wir ein einfaches Modell für ein Bewegungssystem, das menschliches und tierisches Hüpfen und Laufen beschreibt (Blickhan, 1989). Das System besteht aus einer massefreien Feder die mit einer Punktmasse verbunden ist und sich in einer Ebene bewegt. Die Feder stellt das Bein und die Masse den Körper des Bewegungssystems dar. Die Bewegung des Systems ist durch wiederholte Übergänge zwischen Flug- und Bodenkontaktphasen charakterisiert. Das System ist passiv, d.h. Masse, Steifigkeit und Länge der nicht komprimierten Feder sind konstant. Regelgröße ist der Landewinkel des Beins. Dieses dynamische System kann nur durch aktive Regelung in Bewegung gehalten, d.h. ein Kontakt der Masse mit dem Boden verhindert werden.

Wir untersuchen KNNs mit unterschiedlichen Lernalgorithmen auf Ihre Eignung als NR am Beispiel des obigen Feder-Masse Systems. Sowohl Verfahren, die auf überwachtem (*supervised*) Lernen als auch solche, die auf bestärkendem (*reinforcement*) Lernen basieren, sind Gegenstand unserer Studie. Mit überwachtem Lernen trainierte NR wurden von uns bereits erfolgreich implementiert und erlauben eine exakte Steuerung des Feder-Masse Systems. Diese Regler basieren auf *Radial-Basis-Function (RBF)* und *Multi-Layer-Perceptron (MLP)* neuronalen Netzwerken. Beide Netzwerkarten wurden mit kleinen Untermengen der Reglerdaten trainiert: Sie generalisieren bestens über den gesamten Bereich der trainierten und untrainierten Daten und erlauben die exakte Ansteuerung des Bewegungssystems. Zudem wurde das System durch Bodenunebenheiten erweitert. Das System wurde nicht explizit für den Umgang mit Bodenunebenheiten trainiert. Trotzdem kommt die neuronale Regelung gut mit ihnen zurecht.

Zur Zeit arbeiten wir an der Implementierung von KNNs mit bestärkenden Lernverfahren (*Self-organising Motoric Maps* und *TD( $\lambda$ )-Learning*) und an der Erweiterung des Feder-Masse-Systems für den dreidimensionalen Raum.

Wir planen geeignete KNN mittels optoelektronischer Bauelemente als Hardware zu konstruieren, die hohe Verarbeitungs geschwindigkeit bei geringem Platzbedarf aufweist. Dies eröffnet neue Möglichkeiten im Bereich der Automatisierungstechnik und würde sich für die Anwendung im Bereich der Prothetik anbieten.