

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



**„Analyse der Sensomotorik - Untersuchungen der  
Regelung des Skelettmuskeltonus unter open-loop  
Bedingungen“**

P. Havel, A. Struppler  
Forschungsgruppe Sensomotorik, Klinikum rechts der Isar, TU München, München,  
Deutschland

R. Vachnauer, T. Weyh, H.W. Lorenzen  
Lehrstuhl für Elektrische Maschinen und Geräte, TU München, München, Deutschland

## **Analyse der Sensomotorik - Untersuchungen der Regelung des Skelettmuskeltonus unter open-loop Bedingungen**

**P. Havel<sup>1)</sup>, R. Vachenaue<sup>2)</sup>, A. Struppler<sup>1)</sup>, T. Weyh<sup>2)</sup>, H.W. Lorenzen<sup>2)</sup>**

Forschungsgruppe Sensomotorik, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München<sup>1)</sup>  
Lehrstuhl für Elektrische Maschinen und Geräte, Technische Universität München<sup>2)</sup>

In Zusammenarbeit der medizinischen und technischen Arbeitsgruppe wurde ein Verfahren zur Analyse der Regelung der Haltekomponente der Motorik am Menschen entwickelt.

Zur Untersuchung des biologischen Systems wird, wie bei der Analyse eines technischen Systems, ein Eingangssignal zugeführt und das Ausgangssignal, die Reaktion des Systems, erfaßt und analysiert.

Als Testobjekt für die Analyse der Regelung der Halteinnervation haben wir die Regelung für die Stabilisierung des Unterarms gewählt. Hier können die mechanischen Vorgänge besonders gut erfaßt werden, da nur ein Scharniergelenk (Ellenbogen) vorliegt. In dem entwickelten Versuchsaufbau werden Unterarmbewegungen bei fixiertem Oberarm durch spezielle Drehmomentmotoren (siehe unten) durchgeführt. Der Proband bzw. Patient hält seinen Unterarm in einer festen Position gegen ein definiertes Grundmoment und bekommt vom Drehmomentmotor Störmomente als Eingangssignal auf den Unterarm appliziert. Zur Beurteilung der motorischen Leistung werden mechanische Größen (Auslenkung, Beschleunigung und Kraft) und innervatorische Daten (EMG der beteiligten Muskeln) erfaßt. Das Zusammenspiel von muskelmechanischen Grundeigenschaften und innervatorischen Strategien (Halteaktivität und funktionelle Dehnungsreflexe) beeinflussen den Dehnungswiderstand des Muskels (Elastizität, Viskosität). Zur detaillierten Analyse des Dehnungswiderstandes ist ein zeitvariantes System 2. Ordnung zur Modellierung des Ellenbogenkomplexes entwickelt worden. Mit einer iterativen Parameterschätzung werden die mechanischen Größen Massenträgheit, Elastizität und Viskosität identifiziert.

Mit diesem Meßverfahren werden unter standardisierten Bedingungen klinisch latente Defizite in der Regelung der Halteinnervation aufgezeigt und differenziert.

Bei der Untersuchung von „open-loop“-Situationen durch genau lokalisierbare therapeutische Afferenzausschaltungen auf Zwischenhirnebene ist ein Defizit in der adäquaten Kraftregelung für Halten und Bewegen nachgewiesen und quantifiziert worden.

Bei der Durchführung der Versuche kommt den Drehmomentmotoren wegen der hohen Anforderungen bezüglich Momenten- und Winkelgenauigkeit besondere Bedeutung zu.

Zur vertikalen Auslenkung der Arme wurde eine Gleichstrommaschine entworfen, die die besonderen Geschwindigkeitsanforderungen von Stiffness-Untersuchungen erfüllte. Hier war eine Auslenkung im Bereich von 65 Grad ausreichend, so daß bei einer zweipoligen Maschine sogar ohne Regelung ein sehr gleichmäßiges Moment erzeugt werden konnte. Die Anstiegsgeschwindigkeit bis zur Erreichung des maximalen Drehmoments beträgt nur ca. 10 ms.

Weiterreichende Untersuchungen wurden durch die Entwicklung des TM4 ermöglicht, der als zweisträngige, permanenterregte Synchronmaschine ausgeführt wurde. Er kann über einen Winkelbereich von 360 Grad betrieben werden und leistet ein maximales Moment von 20 Nm. Hierzu wird allerdings eine Regelung mit Winkelabtastung benötigt.

Für einige Experimente kann jedoch der TM4 nicht eingesetzt werden, da er trotz aufwendiger Regeleinrichtung zu große Rastmomente aufgrund der Statornutung erzeugt. Deshalb wird nun eine spezielle Drehmomentenquelle nach dem Prinzip der Unipolarmaschine entwickelt. Diese Maschine kann aufgrund ihrer Rotorstruktur, die völlig winkelunabhängig ist, über einen Winkelbereich von 360 Grad ein absolut konstantes Drehmoment liefern. Die hohen erforderlichen Ankerströme im Kiloamperebereich können mit Hilfe moderner Halbleitertechnik erzeugt werden. Spezielle Flüssigmetallkontakte gestatten die Übertragung der hohen Ankerströme auf den Rotor bei gleichzeitig sehr niedriger induzierter Spannung. Außerdem werden Losbrechmomente, wie sie durch konventionelle Bürsten erzeugt werden, vermieden. Die Maschine wurde mit Hilfe einer 2-Dimensionalen numerischen Feldberechnung optimiert und leistet ein stationäres Maximalmoment von 20 Nm bei einem Ankerstrom von 2000A.