

**3. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
17.-18. September 2001 in  
Bochum**



**„Multimodaler Trainingssimulator für die Orthopädie:  
Projektvorstellung und erste Ergebnisse“**

R. Riener, G. Schmidt  
Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München, München, Deutschland  
E-Mail: Robert.Riener@ei.tum.de

R. Burgkart  
Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, TU München, München,  
Deutschland

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und  
Verfahren für die Medizin  
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer  
ISBN: 3-00-008240-9  
Pages: 28-29

## Multimodaler Trainingsimulator für die Orthopädie: Projektvorstellung und erste Ergebnisse

R. Riener<sup>1</sup>, R. Burgkart<sup>2</sup>, G. Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München

<sup>2</sup>Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, TU München

Robert.Riener@ei.tum.de

### EINLEITUNG

Einer der häufigsten Gründe für Arbeitsunfähigkeit sind Erkrankungen des Skelett- und Gelenksystems [1]. Die hohe Inzidenz von Gelenkläsionen wird durch die große Zahl von Operationen belegt: 1994 wurden in Deutschland rund 700.000 Knie- und Hüftgelenke operiert. Gelenkläsionen, wie Arthrosen oder Meniskus-schäden, nehmen sogar deutlich zu [2].

Bedingt durch die Vielzahl möglicher Gelenkläsionen existiert eine Fülle klinischer Gelenkuntersuchungstests. Problematisch beim Erlernen dieser Funktionstests ist einerseits, dass sehr viel Erfahrung notwendig ist, um die große Anzahl verschiedener Tests sicher zu beherrschen. Andererseits ist das Lernen oder Trainieren am Patienten nur beschränkt möglich, da nicht beliebig viele Patienten mit den gewünschten Pathologien zur gewünschten Zeit verfügbar sind. Das Sammeln praktischer Erfahrung ist daher aufwendig und muss durch erfahrenes Fachpersonal begleitet werden. Es bedarf folglich einige Jahre Übung, bis der angehende Orthopäde die wesentlichen klinischen Tests beherrscht und selbstständig einsetzen kann.

Eine von Riener und Burgkart [3] durchgeführte Umfrage unter niedergelassenen Orthopäden hat die Wichtigkeit der klinischen Tests unterstrichen und gezeigt, dass die Notwendigkeit besteht das Training in der orthopädischen Diagnostik und Therapie zu verbessern. In dem BMBF Verbundprojekt „VOR“ (Konsortialleitung R. Riener) entwickelt daher der Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik der TU München gemeinsam mit der Klinik für Orthopädie des Klinikums Rechts der Isar und der Firma S. Merzendorfer Orthopädietechnik eine Simulationsumgebung, die das Erlernen der klinischen Funktionsprüfung am Beispiel der Kniegelenkdiagnose unterstützt. Ziel ist ein Trainingswerkzeug mit flexiblem, zeit- und fallunabhängigem Wissensspeicher, der beliebig erweiterbar ist und vielseitig eingesetzt werden kann.

### METHODEN

Die Grundidee besteht darin, klinische Funktionstests zur Diagnose von Gelenkverletzungen oder -erkrankungen statt am Patienten, an einem Phantomknie mit haptischem, graphischem und akustischen Display durchzuführen (Abb. 1).

*Haptisches Display:* Der künstliche Unterschenkel mit anatomiegerechten Geometrie- und Härteeigenschaf-

ten ist an einem Roboterarm fixiert. Der Oberschenkel ist während des Betriebs raumfest an einem Rahmen montiert und dient zur Orientierung und Abstützung. Ober- und Unterschenkel sind im Bereich des Kniegelenks berührungsfrei. Die Bewegung des Unterschenkels erfolgt durch den Roboter und kann je nach Betriebsmodus vom Bediener beeinflusst werden.

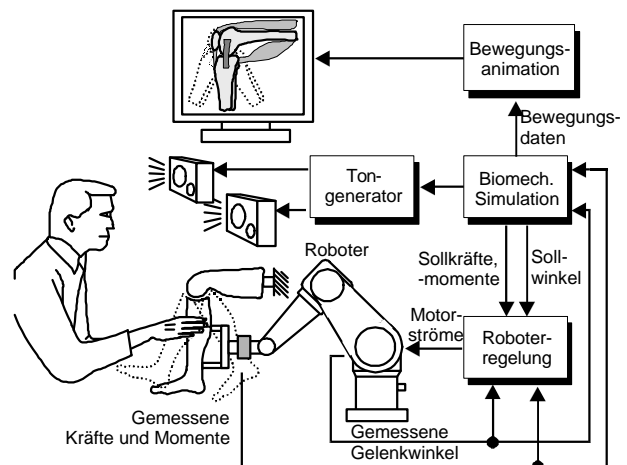


Abbildung 1: Gesamtszenario des Kniegelenksimulators

Im ersten, sog. *interaktiven Betriebsmodus* bewegt der Bediener (Master) den Unterschenkel und führt damit den Roboter (Slave), der mit dem Bediener in Interaktion steht: Der Bediener berührt den Unterschenkel und versucht diesen in eine gewünschte Richtung zu bewegen. Die dabei entstehenden Kräfte und Bewegungen werden gemessen, in ein dynamisches, biomechanisches Gelenkmodell übertragen und in der Roboterregelung (z. B. Admittanz- oder Impedanzregelung) so weiterverarbeitet, dass sich der Unterschenkel in die gewünschte Richtung bewegt. Der Bediener hat dann den Eindruck, er habe die Bewegung verursacht. Der Unterschenkel fühlt sich dabei an, als ob er durch die gelenkumspannenden anatomischen Strukturen (Bänder, Sehnen, usw.) an den Oberschenkel gekoppelt ist. In diesem Betriebsmodus kann der Bediener unterschiedliche klinische Gelenktests durchführen. Eine Fülle verschiedener Verletzungen und Erkrankungen lässt sich jederzeit, praktisch per Knopfdruck, simulieren, ohne auf Patienten mit den entsprechenden Verletzungen angewiesen zu sein.

In einem zweiten, sogenannten *aktiven Betriebsmodus* kann umgekehrt der Roboter (Master) als „Lehrer“ fungieren und den Bediener (Slave) führen. Diese Betriebsart ermöglicht es, dem Bediener den optimalen Bewegungsablauf bestimmter Gelenktests zu vermitteln und sogar die dabei auftretenden Effekte, wie z. B. ein Schnappen oder Reibgeräusche, zu erzeugen. Gleichzeitig können die vom Bediener aufgebrachtene Kräfte gemessen, angezeigt und bewertet werden. Zu einem späteren Zeitpunkt kann in den interaktiven Modus geschaltet und überprüft werden, wie gut der Bediener den Bewegungsablauf erlernt hat.

*Akustisches Display:* Bei der Diagnose von Gelenkverletzungen und -erkrankungen spielt auch die akustische Modalität eine wichtige Rolle. Bei speziellen Arthropathien treten akustisch wahrnehmbare Reib- und Schnappeffekte auf. Auch die Beobachtung, wann der Patient beim Test Schmerz empfindet, ist für die Diagnose sehr wichtig. Der auftretende Schmerz soll dabei z. B. als leichtes Stöhnen bis hin zu heftigen „Au“ Schreien, repräsentiert werden. Die akustischen Signale können vorab aufgenommen und als „Sound Samples“ gespeichert werden.

*Graphisches Display:* Die Verwendung eines graphischen Displays unterstützt das haptische Display, indem es die Visualisierung interner anatomischer Komponenten, wie Knochen, Sehnen, Bänder, Meniskus, ermöglicht. Die Bilddaten können aus CT- und MRT-Aufnahmen rekonstruiert werden. Neuartig ist hierbei vor allem die Veranschaulichung von Bewegungsvorgängen und den damit verbundenen Positionsänderungen und Verformungen. Der Bediener hat dadurch die Möglichkeit in den Körper hinein zu schauen und die anatomischen und funktionellen Zusammenhänge besser zu verstehen. Die Visualisierung erfolgt zunächst auf einem Monitor, später mittels Stereodatenhelm.

## ERSTE ERGEBNISSE

Eine Testversion des Phantomkniees, bestehend aus künstlichem, anatomiegerechtem Unter- und Oberschenkel, Kraft-Momenten-Sensor und Roboter, wurde bereits verwirklicht (Abb. 2). Erste Ergebnisse liegen zum Betrieb in beiden Betriebsmodi vor. Zum Einsatz des Simulators als „Lehrer“ (aktiver Modus) wurden zunächst Bewegungstrajektorien verschiedener Kniefunktionstests (McMurray, Pivot-Shift) mit einem magnetischen Bewegungsmesssystem aufgezeichnet und auf das Phantomknie übertragen. Die aufgezeichneten Bewegungen können dann vom Phantomknie vorgeführt werden.

Zur Demonstration des interaktiven Betriebsmodus wurde eine Admittanzregelung implementiert, die es ermöglicht, die elastischen Eigenschaften des Kniegelenks in anterior/posterior Richtung darzustellen. Der Bediener kann somit einen sog. „Vorderen Schubladentest“ durchführen und die Unterschiede eines Kniegelenks mit und ohne Kreuzbandriss spüren.

Eindrucksvoll demonstrieren läßt sich die Aktivierung des Kniesehnenreflexes, der eine Kombination beider Betriebsmodi darstellt. Sobald der Bediener mit einem Reflexhammer die richtige Stelle unterhalb des Knies mit dem richtigen Schwung (Kraft und Kraftgra-

diert) trifft, führt der Unterschenkel eine gedämpfte Schwingung aus.

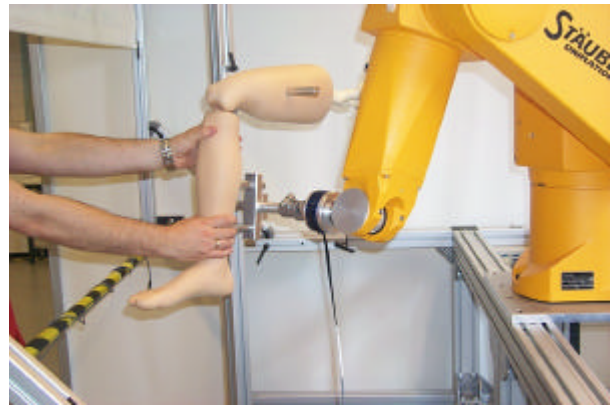


Abbildung 2: Haptisches Display des Phantomkniees

## DISKUSSION

In vergleichbaren Ansätzen wurden bisher Kontaktkräfte über technisch sehr aufwendige, beschränkt funktionsfähige haptische Displays erzeugt [4]. Neu an dem hier vorgestellten Verfahren ist, dass erstmals eine realitätsnahe Simulation von Berührungseindrücken ermöglicht wird, wie sie bei der unmittelbaren Abtastung und Bewegung von Körperteilen mit den Händen und Fingern entstehen. Das Prinzip dieser Idee kann auf andere medizinische Anwendungen übertragen werden (z. B. Geburtensimulator, Reanimationstrainer).

VR Trainingssimulatoren können künftig dazu beitragen die medizinische Ausbildung anschaulicher zu gestalten, die Einarbeitungszeit herabzusetzen, betreutes Fachpersonal einzusparen, die Diagnosesicherheit zu erhöhen und folglich den Einsatz teurerer und z. T. gesundheitsbedenklicher Verfahren (CT, MRT, diagnostische Arthroscopien) zu verringern.

Wegen des übersichtlichen Aufbaus und der einfachen Bedienbarkeit des Trainingssimulators werden gute Umsetzungschancen, eine große Akzeptanz und ein breiter Einsatz in Kliniken (z. B. Facharztprüfung) und Universitäten (z. B. Aus- und Fortbildung von Studenten, AiPs, Assistenzärzten, Physiotherapeuten) erwartet.

## DANKSAGUNG

Diese Arbeit wird im Rahmen des Verbundprojekts VOR (Kennzeichen: 01IR A15A) vom BMBF unterstützt und basiert auf Ergebnisse aus dem SFB 453 "Wirklichkeitsnahe Telepräsenz und Teleaktion".

## LITERATUR

- [1] AOK Krankenstatistik
- [2] Statistisches Bundesamt Wiesbaden. Auswertung der Gesundheitsdaten VIII A, Krankenhausdiagnosestatistik für den Zeitraum von 1994 – 1998.
- [3] R. Riener, R. Burgkart, "A survey for the development of VR technologies in orthopedics" in *Proc. 9th MMVR Conf.*, Newport Beach, p. 407-409, 2001.
- [4] R. Riener, J. Hoogen, G. Schmidt, M. Buss, R. Burgkart "Knee Joint Simulator Based on Haptic, Visual, and Acoustic Feedback". *Proc. 1st IFAC Conf. on Mechatronics Systems*, Darmstadt, p. 579-583, 2000.