

**8. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
20.-21. März 2009 in Berlin**



**„Ein Gangsimulator zur realitätsnahen Funktions- und  
Dauerfestigkeitsprüfung exoprothetischer Komponenten“**

Wulf Wulff, Marc Kraft  
Fachgebiet Medizintechnik, TU Berlin, Berlin, Deutschland  
E-Mail: [wulf.wulff@tu-berlin.de](mailto:wulf.wulff@tu-berlin.de)

Copyright: VDI Verlag GmbH  
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 274 „Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin, 8. Workshop, Tagungsband“  
Editors: Thomas Schauer, Henning Schmidt, Marc Kraft  
ISBN: 978-3-18-327417-8  
Pages: 51-52

# Ein Gangsimulator zur realitätsnahen Funktions- und Dauerfestigkeitsprüfung exoprothetischer Komponenten

Wulf Wulff<sup>1</sup> und Marc Kraft<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Medizintechnik, Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Kontakt: [wulf.wulff@tu-berlin.de](mailto:wulf.wulff@tu-berlin.de)

## Einleitung

Die kontinuierliche Entwicklung exoprothetischer Systeme erlaubt den Nutzern eine zunehmende Freiheit im täglichen Leben. Im gleichen Maße wie die Mobilität der Patienten auf Basis dieser modernen Systeme zunimmt, steigt aber auch die Belastung der Komponenten selbst. Um die beanspruchungsgerechte Entwicklung dieser Hilfsmittel zu unterstützen, wird am Fachgebiet Medizintechnik der TU Berlin ein Gangsimulator entwickelt. Dieser soll eine realitätsnahe, patientenspezifische und reproduzierbare Belastungsprüfung an kompletten Beinprothesen ohne Schaft über den gesamten Gangzyklus hinweg ermöglichen.

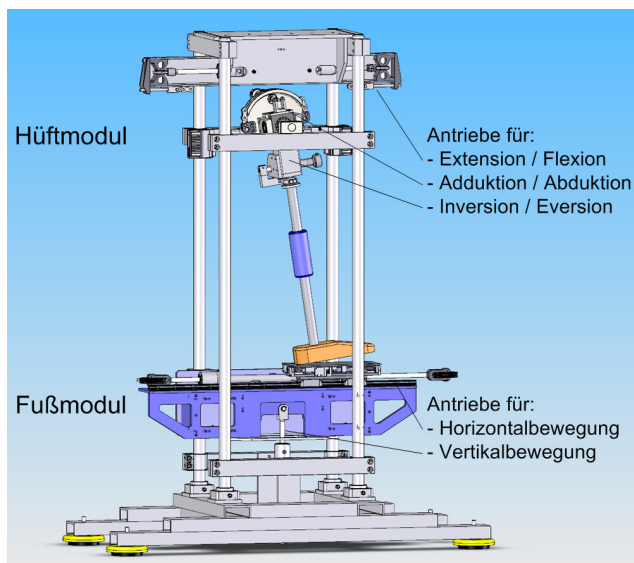


Abb 1: Gangsimulator mit Prothese

Als Datenbasis dienen die aus Untersuchungen zur Patientenmobilität [1] stammenden Gangdaten, die mit einem speziell entwickelten 6-Komponenten-Aufnehmer zwischen Knie und Hüfte erfasst werden. Die für die Prüfstandssteuerung aufbereiteten Daten sollen frei planbare Prüfstandsversuche ermöglichen.

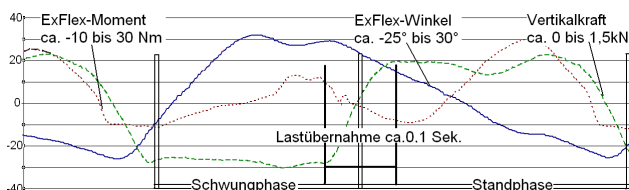


Abb 2: Datenbasis Winkel, Kräfte und Momente

Ziel ist es, über die Normprüfung nach ISO 10328 [2] hinaus, die Wirkungen von Überlastereignissen, besonderen Ereignisreihenfolgen, Belastungsüberlagerungen und der Schwankung der Durchschnittsbelastung kennen zu lernen. Durch entwicklungsbegleitende Untersuchungen ließen sich frühzeitig Erkenntnisse über Funktion und Betriebsfestigkeit gewinnen.

## Methoden und Materialien

### Prüfstandswirkungsweise

Die zuvor im Feld erfassten Belastungszeitfunktionen werden in einer Planungsumgebung aufbereitet und anschließend der echtzeitfähigen Prüfstandsregelung zugeführt. Die Lasteinleitung in das zu untersuchende Exoprothesensystem erfolgt im Gangsimulator über das servohydraulisch angetriebene Hüft- und Fußmodul. Das Hüftmodul vereint die Antriebe der Extensions- und Flexionsbewegung, der Adduktions- und Abduktionsbewegung und der tordierenden Inversions- und Eversionsbewegung.

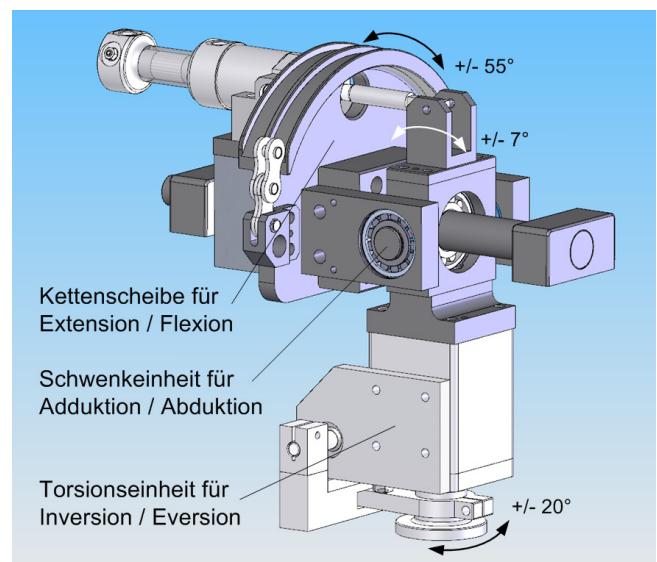


Abb 3: Hüftmodul

Das Fußmodul leitet von unten die vertikalen und horizontalen Kräfte ein.

Die kooperierenden Akteure sind das Extensions-/ Flexionsmodul und das Fußmodul. Die Extensions-/ Flexionsbewegung wird dabei vorgegeben (Abb. 2: ExFlex-Winkel). Das Fußmodul wird in der Zeit der Standphase kraftgeregelt vertikal und horizontal an die Prothese ange-

legt (Abb. 2: Vertikalkraft und ExFlex-Moment). Zeitgleich werden in der Standphase auch die Momente für Adduktion/Abduktion und Inversion/ Eversion eingeleitet (keine Abb.). In der Schwungphase werden alle Antriebe lagegeregelt zur Startposition, dem Fersenauftritt, zurückgeführt. Der Übergang zwischen Weg- und Kraftregelung erfolgt durch die kraftkontrollierte Lageregelung.

### Besondere Prüfstandsanforderungen / Auslegung

Als gegensätzliche Anforderungen stehen sich die Dauerfestigkeit des Prüfstands und die sichere Regelbarkeit auf Grund der unterschiedlichen Auslegungsideale gegenüber. Millionen von Lastzyklen erfordern eine dauerfeste Auslegung, das realitätsnahe Nachbilden der Gangkurven erfordert eine schnelle Regelung. Es wurden genau auf die Anforderungen abgestimmte servohydraulische Antriebe gewählt, die sowohl dauerbelastbar sind als auch schnell große Kräfte erzeugen können. Für die Ansteuerung werden Servoventile der Fa. Moog benutzt. Ein großer Speicher soll außerdem den pulsartigen Volumenstrom glätten und die gegenseitige hydraulische Beeinflussung der Antriebe durch die direkt am Speicher gelegene Verteilung minimieren.

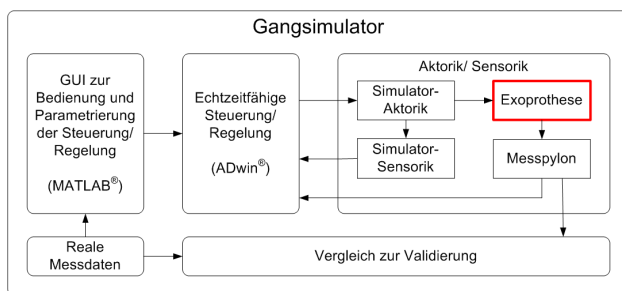


Abb 4: Funktionsplan

### Regelungstechnisches Konzept

Für die realitätsnahe Einleitung der aufbereiteten Belastungszeitfunktion in das zu untersuchende Prothesensystem ist es notwendig, innerhalb von Millisekunden Lage und Kraft der Antriebe zu kontrollieren. Jeder Antrieb ist deshalb mit einem Kraft- und Wegmesssystem ausgestattet. Ebenso wird die Prothese mit einem Kniewinkelsensor versehen.

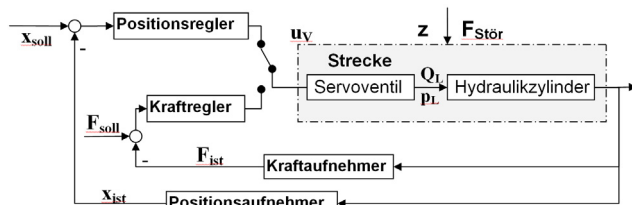


Abb 5: Schema der hybriden Regelung

Mit dem echtzeitfähigen Regelungssystem ADwin werden ständig Positionen, Kräfte und Momente aller Antriebe erfasst und je nach Gangphase entsprechend priorisiert geregelt. Die Grundlage für die Kontrolle der kooperierenden Antriebe ist die hybride Regelung - besonders bei der Koordinierung der Übergangphasen 'Fuß aufsetzen' und 'Fuß abheben'. Beim Aufsetzen des Fußes wird bei-

spielsweise die Positionsregelung kraftkontrolliert durch die Kraftregelung abgelöst indem der angestrebte Kraftverlauf, ausgehend vom momentan herrschenden Kraftwerten, eingeschliffen wird.

## Ergebnisse

Aktueller Stand der Entwicklung ist die technische Realisierung der Konstruktion insbesondere unter dem Gesichtspunkt der dauerfesten Auslegung. Hierbei wurde eine vertikal wirkende Kraft von 2500N zugrunde gelegt, welche oberhalb des Lastlevels P5 (DIN EN ISO 10328) [2] liegt. Parallel dazu befindet sich das Steuerungs- und Regelungssystem in der Entwicklung. Der Schwerpunkt ist hierbei die Regelung der kooperierenden Antriebskomponenten.

## Diskussion

Als Einsatzgebiete können Funktionstests und Abstimmungen komplett aufgebauter exoprothetischer Systeme der unteren Extremitäten bis hin zu Dauerfestigkeitsuntersuchungen einzelner Komponenten und Wechselwirkungsuntersuchungen an komplexen Baugruppen genannt werden. Eine besondere Bedeutung erlangt, unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit, das realitätsnahe Testen von Komponenten in der Entwicklungsphase mit dem Ziel, die Entwicklungszeiten und Kosten zu senken.

## Schlussfolgerungen

Die technische Realisierung zeigt, dass eine Vielzahl einzelner Fragestellungen zusätzlich beantwortet werden müssen. So konnte gleichzeitig ein Sicherheitskonzept erarbeitet werden, welches in verschiedenen Gefahrensituationen den Prüfstand abschaltet, um Mensch und Maschine zu schützen. Weiterhin konnte auch die Energieeffizienz, die bei servohydraulischen Dauerprüfständen von besonderer Bedeutung ist, durch Einsatz eines sich dem Volumenstrom anpassenden Hydraulikaggregats Beachtung finden.

## Literatur

- [1] S. Oehler et al.: *Mobile Measuring System for the Mobility of Above-knee Amputees*. mstnews – international magazine on smart systems technologies, Reliability of Smart Systems, August 2008
- [2] ISO/DIS 10328/ 2003, *Prothetik – Prüfung der Struktur externer Prothesen für die unteren Gliedmaßen – Anforderungen und Prüfungen*

## Danksagung

Wir danken den Spezialisten der Firmen Hänchen, Moog, Jäger-Messtechnik, ME-Messsysteme und Otto Bock für den fundierten Gedankenaustausch und die wertvollen Hinweise und ganz besonders Herrn B. Paul für die engagierte Fertigung der Baugruppen.