

# Das Netz des Roboters

Spinnennetz als Vorbild für seilbasierten Roboter

Positionierung mit zehnfacher Erdbeschleunigung

dSPACE-Prototyping-System liefert leistungsstarke Regelung

Ingenieure und Mathematiker am Lehrstuhl für Mechatronik der Universität Duisburg-Essen arbeiten seit einigen Jahren an einem neuen, innovativen Typ von Roboter. Ausgehend vom natürlichen Vorbild des Spinnennetzes und der enormen Tragkraft moderner High-Tech-Seile, sollen künftig Roboter mit Hilfe von Seilen in vielen Anwendungsbereichen für Bewegung sorgen. Ein dSPACE-System auf Basis eines DS1005 PPC Boards liefert die leistungsfähige, zuverlässige Regelung.

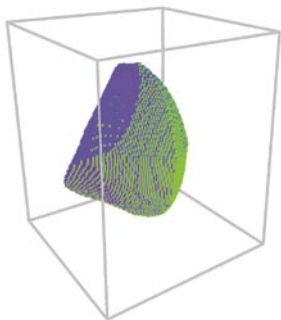
In vielen industriellen Applikationen ist die Nutzlast eines Roboters im Vergleich zu seiner Masse verschwindend gering. Dies hat zur Folge, dass beim Transport der Nutzlast der weitaus größte Teil der Energie für die Beschleunigung des Roboters selbst benötigt wird. Hoher Energieverbrauch und geringes Beschleunigungsvermögen sind die Folge.

## Zehnfache Erdbeschleunigung

Unser Forscher-Team der Universität Duisburg-Essen arbeitet an einem neuartigen Typ Roboter, der diesen Nachteil vermeidet. Die Idee: Die Nutzlast, zum Beispiel eine Plattform mit einem Greifer, wird über Seile bewegt und positioniert. Die Länge der Seile bestimmt dabei die Position der Plattform. Um die Seillänge schnell verändern zu können, werden die Seile über direkt angetriebene Seilwinden aufgewickelt. Da die Seilwinden fest an einem tragenden Rahmen befestigt sind, müssen nur die Trägheit der Plattform mit der Nutzlast und das Trägheitsmoment der Seilwinden überwunden werden. Die Seile selbst haben eine vernachlässigbar kleine Masse und sind als moderne High-Tech-Faser enorm reißfest. Der Prototyp SEGESTA offenbart das Potenzial dieser so genannten seilbasierten parallelen Roboter. Der Prototyp erreicht Beschleunigungen bis zum Zehnfachen der Erdbeschleunigung und Geschwindigkeiten bis 10 m/s. Damit übertrifft das System als Prototyp jetzt schon die meisten seriellen Industrieroboter.



▲ Arbeit am Prototyp: Der mechanische Aufbau ist simpel, das Regelsystem komplex.



▲ Der nutzbare Arbeitsraum von SEGESTA aus der Simulation.

## Motorwinden nehmen Lasten auf

Interessant ist, dass die Plattform mit ihren sechs räumlichen Freiheitsgraden (Translation, Rotation) von mindestens sieben Seilen gehalten werden muss, um räumlich fixiert zu sein. Dies liegt daran, dass Seile nur ziehen, nicht aber drücken können. Aufgrund der parallelen Struktur ergeben sich für die betrachteten seilbasierten Systeme relativ komplexe Arbeitsräume. Wegen der möglichen Verteilung der auftretenden Kräfte auf beliebig viele Motorwinden kann die Maschine sehr schwere Lasten, wie im Falle von Kranen, mit vergleichsweise hohen

Beschleunigungen und Geschwindigkeiten transportieren. Werden höhere Nutzlasten verlangt, so können einfach Winden hinzugefügt werden, um Sicherheit und maximale Traglast zu erhöhen. Die vorstellbaren Größenordnungen können dabei von sehr großen Schwerlastrobotern bis in den Mikrobereich gehen.

## Zuverlässiges Regelsystem mit dSPACE

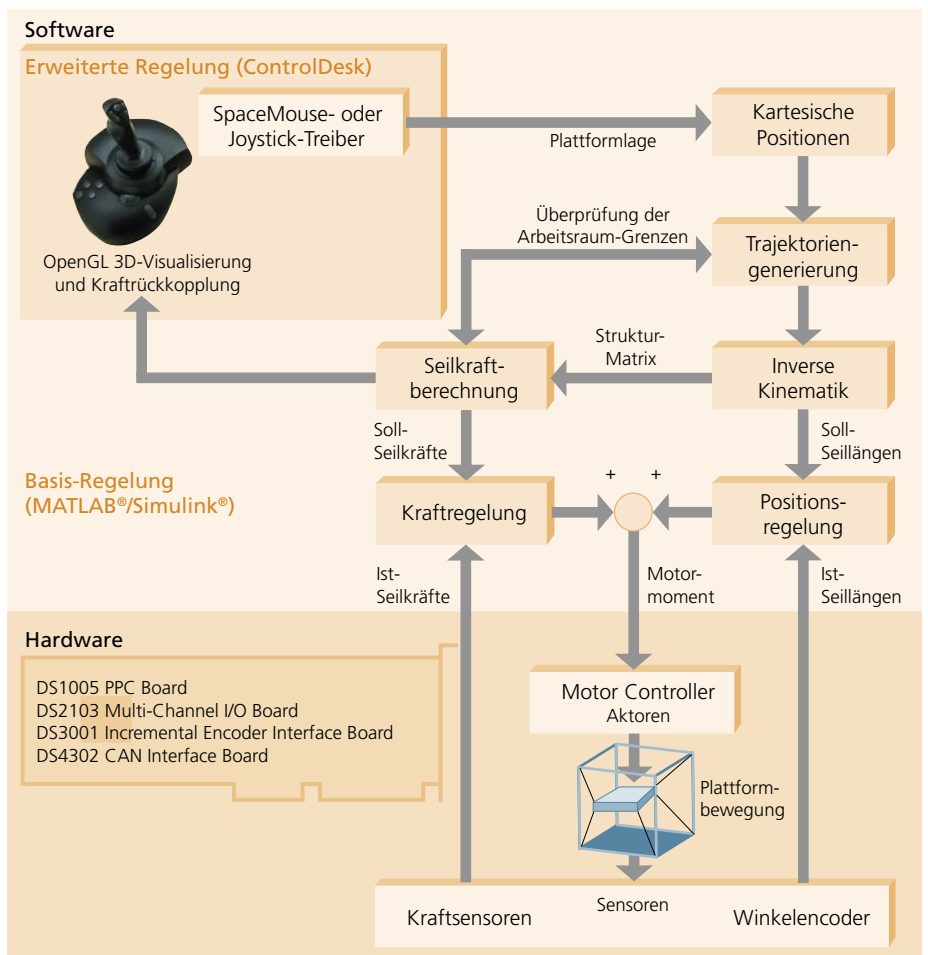
Wir stellen große Ansprüche an das Regelsystem, denn die erreichbaren Geschwindigkeiten verlangen eine hohe Reglerfrequenz von mindestens 1 kHz. Die Berechnungen für Seillängen und Seilkräfte erfordern gleichzeitig einen leistungsstarken Prozessor. Wir suchten für unseren Prüfstand also ein Regelsystem mit industrieller Zuverlässigkeit und dabei fiel die Wahl auf ein dSPACE-System. Auf der Basis eines DS1005 PPC Boards – ergänzt durch vielfältige I/O-Boards (DS2103 Multi-Channel D/A Board, DS3001 Incremental

Encoder Interface Boards, DS4302 CAN Interface Board) – entstand ein leistungsfähiges Regelsystem, welches darüber hinaus über MATLAB®/Simulink® komfortabel programmiert werden kann. Deshalb eignet es sich ebenfalls besonders gut, um den Studenten Einblicke in eine moderne Steuerung zu vermitteln.

Das Regelsystem weist folgende Struktur auf:

- Entlang einer Soll-Bahn interpoliert das System Position und Geschwindigkeit und stellt damit die Soll-Größen zur Verfügung.
- Die inverse Kinematik errechnet passend zur Position und Geschwindigkeit die passenden Seillängen und -geschwindigkeiten.
- Über die I/O des dSPACE-Systems werden die Ist-Längen (und durch numerische Differentiation auch die Ist-Geschwindigkeit) der Seile bestimmt.
- Ein PD-Regler berechnet die Soll-Ströme und schickt sie an die digitalen Motorcontroller des Prototyps.

Im Handsteuerbetrieb profitiert der Prüfstand in hohem Maße von der flexiblen Einbindung von Windows®-Eingabegeräten über die Experimentierumgebung von ControlDesk.



## Der seidene Faden in der Praxis

Mögliche Einsatzgebiete seilbasierter Parallel-Roboter sind breit gestreut. Denkbar sind jegliche Anwendungen, die einen großen Arbeitsbereich erfordern, wie der Transport innerhalb großer Hallen oder Anwendungen, die von großen Geschwindigkeiten profitieren, beispielsweise die industrielle Handhabung und „Pick-and-Place“. Vorstellbar ist jedoch auch der Einsatz im direkten Kontakt mit dem Menschen, zum Beispiel im Entertainment-Bereich als Fahrgeschäft oder als wertvolle Unterstützung im Bereich medizinischer Rehabilitationstechnik. Besonders im Bereich der Medizintechnik hoffen wir darauf, in Zusammenarbeit mit anderen deutschen und europäischen Partnern mit Hilfe des „seidenen Fadens“ ein orthopädisches Hilfsmittel zu entwickeln, das beispielsweise Patienten nach Unfällen oder Operationen dabei hilft, Gehbewegungen zu trainieren. Dabei kann der Patient mit Hilfe einer leichten Korsage über die Seile nur gesichert – leicht angezogene Seile – oder mit seinem ganzen Körpergewicht gehalten werden – voll gespannte Seile. Die Idee profitiert vom unauffälligen Mechanismus, der dem Patienten nicht das Gefühl gibt,

an eine Maschine angeschlossen zu sein. Vielmehr soll die „Seilschaft“ Halt und Unterstützung geben.

*Tobias Bruckmann  
Lehrstuhl für Mechatronik,  
Leitung Prof. Dr.-Ing. Dieter Schramm  
(vorherige Leitung Prof. Dr.-Ing. Manfred Hiller)  
Universität Duisburg-Essen  
Deutschland*

▲ *Das Regelschema für Kraft- und Positionsregelung des SEGESTA-Prüfstandes.*

## Glossar

**Kartesische Positionen** – Positionsbestimmung, ausgedrückt in Höhe, Breite, Tiefe.

**Inverse Kinematik** – Errechnet aus der Position der Plattform die Seillängen.

**Parallele Systeme** – Kennzeichnen eine Gruppe von Robotern.

**Arbeitsraum** – Möglicher Einsatzbereich des Roboters (Verschiebung in alle drei Raumrichtungen, Rotation um alle drei Achsen).