

# Eine zweibeinige Laufmaschine

➤ **Universität Linz entwickelt mit dSPACE-Hardware eine zweibeinige Laufmaschine**

➤ **dSPACE DS1005 PPC Board für Steuerung und Regelung**

➤ **Gehgeschwindigkeit von 0,5 km/h**

Seit mehreren Jahren wird an der Universität Linz intensiv auf dem Gebiet des zweibeinigen Laufens geforscht. Dazu gehört die Entwicklung neuer Beinprothesen und revolutionärer Antriebskonzepte sowie einer zweibeinigen Laufmaschine, für die dSPACE-Hardware das Steuern und Regeln übernimmt. Die Gelenke des Zweibeiners werden über Gleichstrommotoren mit Harmonic-Drive-Getrieben bewegt. Ziel des Projektes ist ein vollständig autonomer Roboter.

In den vergangenen Jahren hat die Entwicklung von Laufmaschinen stark zugenommen. Diese Maschinen haben gegenüber radgetriebenen Robotern den großen Vorteil, dass sie sich in unwegsamem oder unzugänglichem Gelände besser fortbewegen können. Gedacht ist dabei der Einsatz in radioaktiv oder chemisch verseuchten Gebieten, die eine extreme Gefahr für Menschen darstellen, oder auch im Gebirge als Lastenträger bei Rettungseinsätzen.

## Aufbau des Zweibeiners

Die Laufmaschine hat eine Größe von 1,80 m und wiegt 40 kg. Sie wird von 14 PowerCubes der Firma amtec robotics GmbH mit Sitz in Berlin angetrieben. Es handelt sich dabei um kompakte Rotationseinheiten, die aus Elektronikmotoren, spielfreien Harmonic-Drive-Getrieben und der gesamten Elektronik (Steuer- und Leistungselektronik) im Modul bestehen. Die Konstruktion wurde so festgelegt, dass der menschliche Gang nachgebildet werden kann. Daher wurden

beim Zweibeiner die gleichen Bewegungsfreiheitsgrade wie bei einem Menschen umgesetzt, das heißt zwei Bewegungsmöglichkeiten im Fußknöchel, eine im Knie und jeweils drei Freiheitsgrade in der Hüfte. In jedem Gelenk befinden sich demnach ein, zwei oder drei PowerCubes in Serie. Die gesamte Steuerung und Regelung übernimmt ein DS1005-System von dSPACE, das über einen CAN-Bus mit einer Rate von 500 kbit/s mit den PowerCubes kommuniziert. Dabei wurden jeweils drei bis vier PowerCubes zu einem Antriebsstrang mit einem

CAN-Controller des DS1005-Systems zusammengefasst. In den Knöcheln des Laufroboters befinden sich speziell entwickelte Kraft-Momenten-Sensoren auf Basis von Dehnungsmessstreifen (DMS), die über einen Mikrocontroller via RS232-Schnittstelle mit dem dSPACE-System kommunizieren. Die Kräfte und Momente werden zur Bestimmung des so genannten Null-Momenten-Punktes (Zero Moment Point, ZMP), eine für die Stabilisierung wichtige Kenngröße, verwendet. Befindet sich dieser in der Projektion der Fußfläche, so ist der Gang stabil.

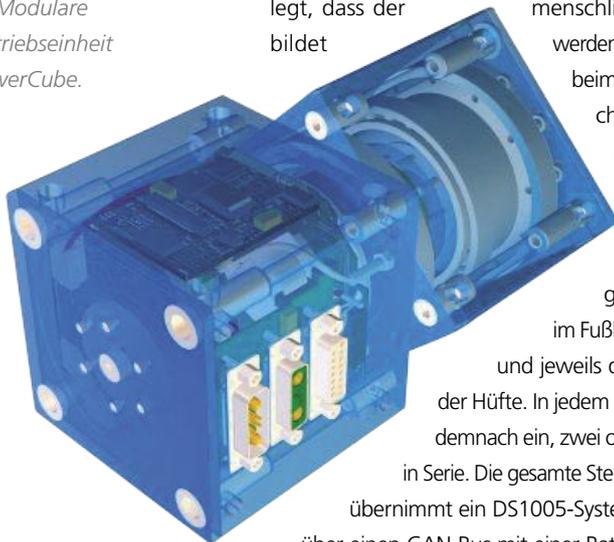
## Steuerungs- und Regelungskonzept

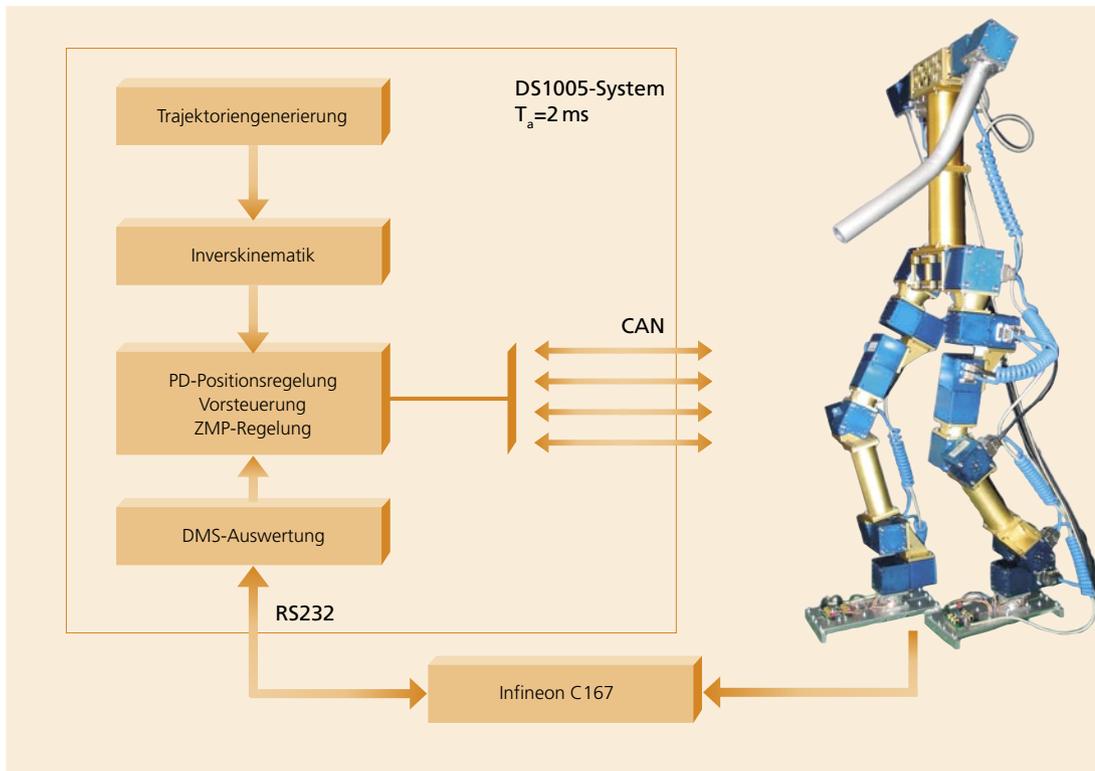
Die Steuerung und Regelung wurde in MATLAB®/Simulink® entworfen und mit dem dSPACE-Echtzeitsystem ausgeführt. Um ein besonders übersichtliches Schema zu erhalten, wurde die Ablaufsteuerung mit Hilfe von Statecharts in MATLAB/Simulink implementiert. Sämtliche Berechnungen müssen in Echtzeit durchgeführt werden.

➤ Für die Steuerung werden dem Roboter Position und Orientierung im 3D-Raum vorgegeben. Die Trajektoriengenerierung erzeugt daraus stetige Bahnen für die Hüfte und die beiden Füße, jeweils als Position im Inertialsystem und als Orientierung in Form von Kardanwinkeln. Dabei wird für die Berechnung der Hüfttrajektorien von einem inversen Pendel ausgegangen und die entsprechende Differentialgleichung für einen stabilen Gang gelöst.

➤ Über die Inverskinematik werden die Bahnen, die in Weltkoordinaten vorliegen, in Gelenkkoordinaten des Zweibeiners umgerechnet. Die Inverskinematik hat wegen des speziellen Aufbaus der Beine keine analytische Lösung und muss daher numerisch über ein Newton-Verfahren gelöst werden.

▼ *Modulare Antriebseinheit PowerCube.*





▲ Übersicht des Steuerungs- und Regelungskonzeptes: Kommunikation zwischen dem dSPACE-System und den Kraft-Momenten-Sensoren in den Knöcheln des Laufroboters über einen Mikrocontroller via RS232-Schnittstelle.

- Die so erhaltenen Winkel sind die Vorgabewerte für die Positionsregelung. Diese besteht im Wesentlichen aus einer Vorsteuerung mit überlagerten PD-Gelenkreglern. Bei der Vorsteuerung wird die gesamte Vorwärtsdynamik des Roboters zur Laufzeit berechnet. Sie dient auch zur Kompensation der Getriebeelastizitäten. Mit der PD-Regelung wird die Stabilität der Gelenke gewährleistet. Außerdem werden unter anderem Parameterungenauigkeiten und Reibungseinflüsse ausgeglichen.
- Dieser PD-Regelung überlagert, sorgt ein ZMP-Regler für die Stabilität des Ganges. Der ZMP ergibt sich aus dem Quotienten der entsprechenden Kräfte und Momente in den Knöcheln. Die Regelung sorgt dafür, dass der ZMP in der konvexen Hülle der Fußflächen bleibt.

### Ausblick

Sämtliche Berechnungen laufen mit einer Abtastzeit von 2 ms ab. Als entscheidender Vorteil stellt sich dabei die schnelle Änderbarkeit der Modelle heraus. In der derzeitigen Implementierung ist eine Gehgeschwindigkeit von 0,5 km/h möglich. Durch Erweiterung des Regelungskonzeptes wird die Geschwindigkeit

in den nächsten Monaten erhöht. Ferner wird zusätzliche Sensorik zum Erkennen der Umgebung in Betrieb genommen.

*Hubert Gattringer  
Institut für Robotik  
Johannes Kepler Universität Linz  
Österreich*

### Glossar

#### Harmonic-Drive-Getriebe –

Kompaktes und leichtes Getriebe, das mit hoher Übersetzung und großer Präzision arbeitet.

#### Kraft-Momentensensor (KMS) –

Sensor, der die wirkenden Kräfte und Momente (zum Beispiel bei Bewegung eines Roboterbeins) in Bezug auf Richtung und Größe auswertet.

#### Null-Momenten-Punkt

**(Zero Moment Point, ZMP)** – Punkt, in dem alle Kräfte und Bewegungsmomente, die auf den Roboter einwirken, Null sind.

**Trajektorie** – Wegstrecke, die auf berechneten Bahnen zurückgelegt wird.