





Studenten und Forscher des Fachbereichs Maschinenbau an der australischen Universität Adelaide haben ein neuartiges Gefährt entwickelt. Dabei handelt es sich um eine Weiterentwicklung des sogenannten Diwheels, mit dem das Fahren in herkömmlicher aufrechter Position genauso möglich ist wie für die Abenteuerlustigen auch kopfüber. Als Entwicklungs- und Steuerungsplattform kam eine MicroAutoBox von dSPACE zum Einsatz.

Down Under:  
Schwer-  
kraft  
war gestern

Australische Studenten konstruieren  
ein Kopfüber-Gefährt



Abbildung 1: Das Gefährt namens EDWARD (Electric Diwheel With Active Rotation Damping), entwickelt an der Universität Adelaide.

### Drehen ohne Stopp

Im März 2009 starteten die angehenden Maschinenbauingenieure der Universität Adelaide den Bau eines elektrischen Diwheels, das den Namen EDWARD (Electric Diwheel With Active Rotation Damping) erhielt. Die ersten Diwheels haben wie ihre Einrad-Verwandten eine lange Tradition und wurden, damals mit Pedalantrieb, bereits vor 150 Jahren konstruiert. Ein Diwheel

besteht aus zwei großen koaxialen Rädern, die einen inneren, frei drehbaren Rahmen, in dem der Fahrer sitzt, vollständig umschließen (Abbildung 1).

Physikalisch gesehen hat ein Diwheel viel mit dem Personenroller „Segway“ gemeinsam, denn dynamisch werden beide als inverses Pendel betrachtet. Beim Diwheel ist lediglich der Pendelarm (der innere Rahmen mit dem Fahrersitz) so kurz, dass er sich

ohne Bodenberührung frei drehen kann.

### Überkopffahrt

Der Antrieb für die Räder befindet sich im Rahmen. Eine Vorwärtsbewegung des Diwheels geschieht einfach durch die Verschiebung des Schwerpunktes, die das Gefährt dann automatisch durch Rollen auszugleichen versucht. Dadurch ergeben sich im Falle eines offenen

„EDWARD macht nicht nur Spaß, sondern schont auch noch die Umwelt. Der Antrieb ist rein elektrisch und die Bremsen sind regenerativ, so dass die Bremsenergie rückgewonnen wird. Die MicroAutoBox hat uns im Vergleich zur Programmierung eines eingebetteten Mikrocontrollers viel Zeit gespart. Der Anschluss der I/O war sehr einfach und wir konnten Änderungen an den Regelstrategien unmittelbar testen. Und mit ControlDesk war die Entwicklung der HMI ein Kinderspiel.“

Jack Parsons, Student an der Universität Adelaide

Regelkreises nicht nur schwappende Bewegungen des inneren Rahmens („Slosh“), sondern auch taumelnde („Gerbeling“), bei denen der innere Rahmen eine ganze Drehung vollzieht (Abbildung 2).

Diese Bewegungen erschweren das Fahren ungemein und gehören zu den Gründen, warum Diwheels bisher kommerziell keinen Erfolg hatten.

#### Der Rahmen und die rotierenden Räder

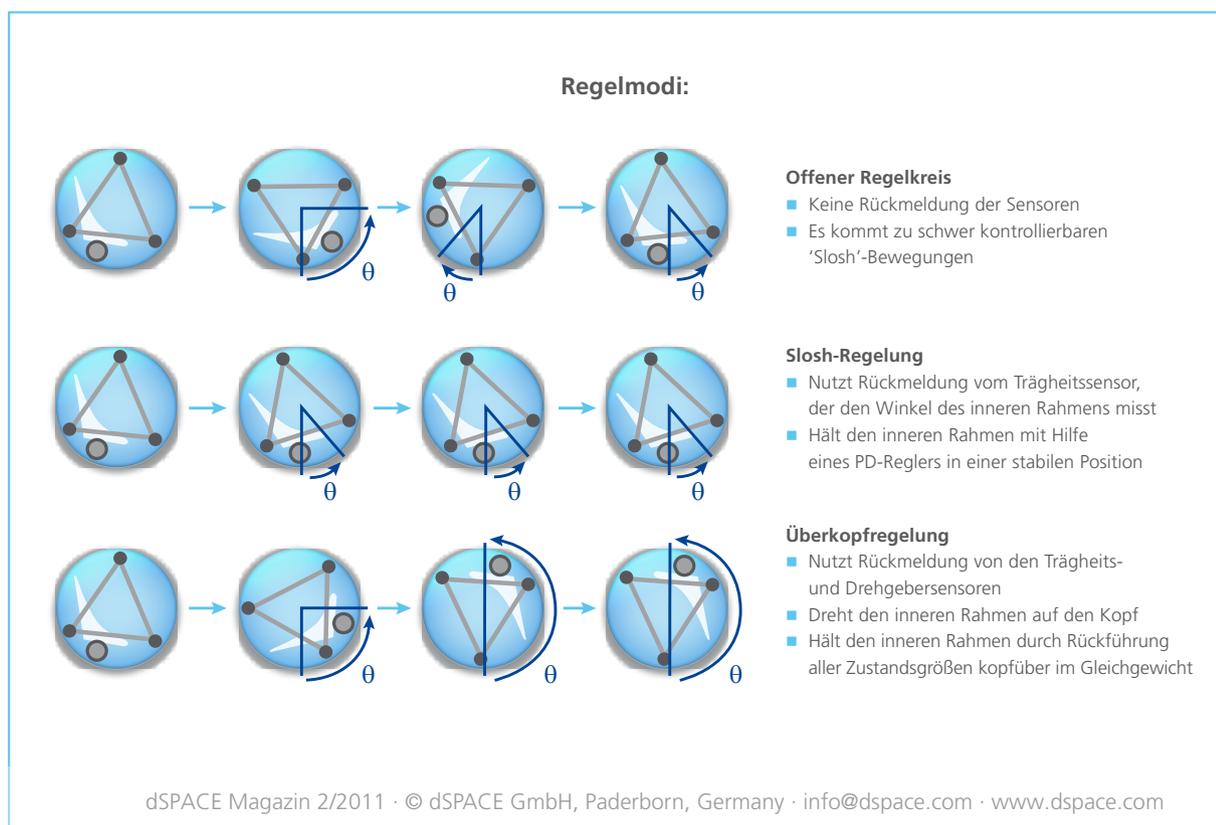
Die äußeren Räder bestehen aus gewalzten, geschweißten Edelstahlrohren mit einer Gummilippe auf der äußeren Lauffläche. Der innere Rahmen hält den Fahrer mit einem 5-Punkt-Rennsattel in Position. Der innere Rahmen läuft mit drei Nylon-Zwischenrädern pro äußeres Rad auf den äußeren Rädern. Seine Aufhängung sorgt mit Hilfe von Quer-

lenkern nicht nur für eine Federung, sondern auch für eine konstante Anpresskraft zwischen den Zwischenrädern und dem äußeren Rad.

#### Steuerungsplattform, entwickelt mit der MicroAutoBox

Über eine Kette treiben zwei bürstenlose 4-kW-Gleichstrommotoren jeweils ein kleines

Abbildung 2: Schematischer Aufbau unterschiedlicher Regelmodi: Offener Regelkreis, Slosh-Regelung und Überkopfregelung.



„Wir werden oft gefragt, warum wir so etwas gebaut haben. Warum baut man eine Achterbahn? Weil es Spaß macht! Abgesehen vom Rausch des Fahrens, den EDWARD garantiert, gibt es auch pädagogische Gründe. Ingenieurstudenten lernen viel über moderne Systementwürfe und Regelungstechniken – also genau das Rüstzeug für ihr späteres Berufsleben.“

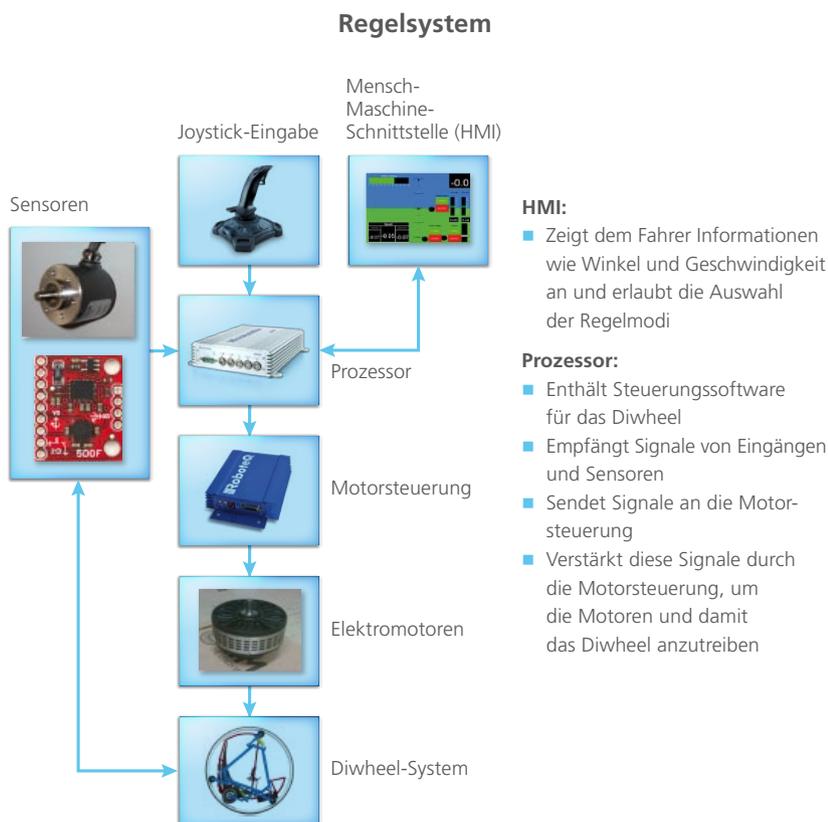
*Dr. Ben Cazzolato, Associate Professor an der Universität Adelaide*

Motorradantriebsrad an, das innen am äußeren Rad anliegt. Daher bewegt sich das Gefährt geradeaus vor und zurück, wenn an beiden Motoren die gleiche Spannung anliegt, andernfalls ergibt sich eine Kurvenfahrt (Gierbewegung). Der Fahrer steuert das Drive-by-Wire-Gefährt per Joystick. Aus Sicherheitsgründen existiert eine mechanische Handbremse, mit der sich

bei einem eventuellen Ausfall der Elektrik die Antriebsräder bremsen lassen. Zu den drei Messsystemen gehören zum einen ein Trägheitssensor (Inertial Measurement Unit, IMU), bestehend aus einem Festkörper-Gyroskop für die Messung der Nickgeschwindigkeit und einem Festkörper-DC-Beschleunigungsmesser für die Abschätzung des Neigungswinkels, und zum ande-

ren zwei Drehgeber auf den beiden Antriebsrädern, die die Differenz der Winkelgeschwindigkeiten zwischen dem inneren Rahmen und den Rädern messen. Eine dSPACE MicroAutoBox dient als Entwicklungs- und Steuerungsplattform.

Auf einem Touchscreen-Monitor findet der Fahrer Parameter wie Neigungswinkel, Geschwindigkeit und Batterieladestatus, zudem kann er darüber die Regelmodi ändern.



### Von der Simulation zum Echtzeitregelsystem

Um die Dynamiken der Strecke und des Regelsystems in Simulink® von MathWorks simulieren zu können, mussten die vollständig gekoppelten Differentialgleichungen eines generischen Diwheels abgeleitet werden. Nachdem die Regelstrategien einmal entwickelt waren und erfolgreich verschiedene Simulationen durchlaufen hatten, wurde der Regler mit Hilfe von MathWorks Real Time Workshop® auf eine dSPACE MicroAutoBox ausgelagert, um die Echtzeitregelung des physikalischen Systems zu realisieren. Abbildung 3 zeigt den Signalfluss für den operativen Betrieb der

*Abbildung 3: Elektronisches Regelsystem und HMI.*

EDWARD-Plattform, inklusive Drive-by-Wire-Technologie und Regelstrategien, die den Fahrer bei der Steuerung des Gefährts unterstützen. Diese Technologien verhindern, dass sich der innere Rahmen während der Fahrt mitdreht („Sloshing“, Abbildung 2), ein Verhalten, das die Fahrbarkeit bisheriger Diwheels deutlich erschwert. Für mehr Nervenkitzel lässt sich die einzigartige Dynamik des Gefährts aber auch gezielt nutzen, indem man den inneren Rahmen umkehrt. Auf diese Weise sind Kopfüber-Fahrten möglich (Abbildung 4).

#### Wie sieht die Zukunft aus?

Dem Fahrer soll in jeder beliebigen Position, durch Rennsitz und

Geschirr gehalten, eine höhere Beschleunigung von mehreren  $g$  möglich sein. Zum ersten Mal wurde ein komplettes mathematisches Modell eines Diwheels abgeleitet, das extreme Fahrmanöver und Kunststücke auf Knopfdruck möglich macht. Der Software-Code dafür wird von den nächsten Ingenieurstudenten 2011 geschrieben. ■

*Dr. Ben Cazzolato*  
Universität Adelaide



Scannen, um das  
Diwheel in Aktion  
zu sehen.

#### *Dr. Ben Cazzolato*

*Ben Cazzolato ist Associate Professor an der Universität Adelaide. Er hat einen Lehr- und Forschungsauftrag im Bereich Dynamik und Controlling.*



Abbildung 4: Durch den Regelmodus 'Überkopregelung' kann der Student Jack Parsons kopfüber fahren.

