

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 100 (2009)

**Heft:** 12

**Artikel:** Raumfahrtrobotik

**Autor:** Höpflinger, Mark / Krebs, Ambroise / Pradalier, Cédric

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856433>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Raumfahrtrobotik

## Wie der mobile Roboter Crab aus der Interaktion mit dem Untergrund lernt

Autonome und mobile Roboter finden nicht nur Anwendung in der Raumfahrt, sondern werden auch an unwegsamen, gar gefährlichen Orten eingesetzt. Das Ziel der Forscher am Autonomous Systems Lab der ETH Zürich ist, den Grad der Autonomie und der Mobilität der Roboter zu erhöhen. Der Roboter soll in der Lage sein, autonom ein Territorium zu erforschen. Denn eine Fernsteuerung in Echtzeit von der Erde aus ist nicht möglich. Es dauert zum Beispiel 3–15 min, um eine Instruktion an einen Roboter auf dem Mars zu schicken [1].

Das Autonomous Systems Lab (ASL) der ETH Zürich erforscht mechanische Fortbewegungssysteme sowie Algorithmen zur Erhöhung der Autonomie von Robotern. Das ASL wurde 1996 an der ETH Lausanne

*Mark Höpflinger, Ambroise Krebs,  
Cédric Pradalier, Roland Siegwart*

von Prof. Roland Siegwart gegründet und ist seit 2006 Teil des Instituts für Robotik und Intelligente Systeme (IRIS) an der ETH Zürich. Seit der Gründung des Labors wurde eine Vielzahl von autonomen Systemen entwickelt – Roboter verschiedenster

Größen mit unterschiedlichsten Fortbewegungsmechanismen und Einsatzbereichen. Aus dem Labor sind diverse Spin-off-Firmen entstanden, so beispielsweise Bluebotics, Alstom Inspection Robotics oder Skybotix, die neueste Firmengründung im Jahr 2009.

Das Gebiet der mobilen Robotik stösst zunehmend auf öffentliches Interesse, nicht zuletzt dank den erfolgreichen Erkundungsmissionen der NASA mit den Mars Exploration Rovers (MER) oder anderen medienwirksamen Ereignissen wie der Darpa Grand Challenge oder den Demonstrationen der Forschung im Bereich der huma-

noiden Robotik (wie Hondas Asimo). Im Folgenden werden einige der am ASL entwickelten Weltraumroboter (Space Rovers) dargestellt, danach wird der mobile Roboter Crab detaillierter beschrieben sowie sein Einsatz als Forschungsplattform vorgestellt.

### Die Weltraumroboter – Space Rovers

Die Hauptaufgabe von Missionen zu fernen Planeten ist das Sammeln von wissenschaftlichen Daten zur Erweiterung der Kenntnisse. Die Erfüllung dieser Aufgabe bedarf eines enormen Aufwands und ist mit grossen Kosten und Risiken verbunden. Indem anstelle von Menschen mobile Roboter zur Erkundung eingesetzt werden, können die Kosten massiv gesenkt, der Einsatzbereich stark vergrössert und das Risiko für die Menschen auf ein Minimum reduziert werden. Die Roboter sind dabei nur ein Mittel zum Zweck und erfüllen eine Sekundäraufgabe, indem sie beispielsweise einem Forschungslabor zur Mobilität verhelfen. Der Erkenntnisgewinn einer Forschungsmission hängt stark von der Mobilität einer Forschungsausrüstung ab.

Die Geschichte der Raumfahrtsrobotik begann in den frühen 1970er-Jahren zuerst

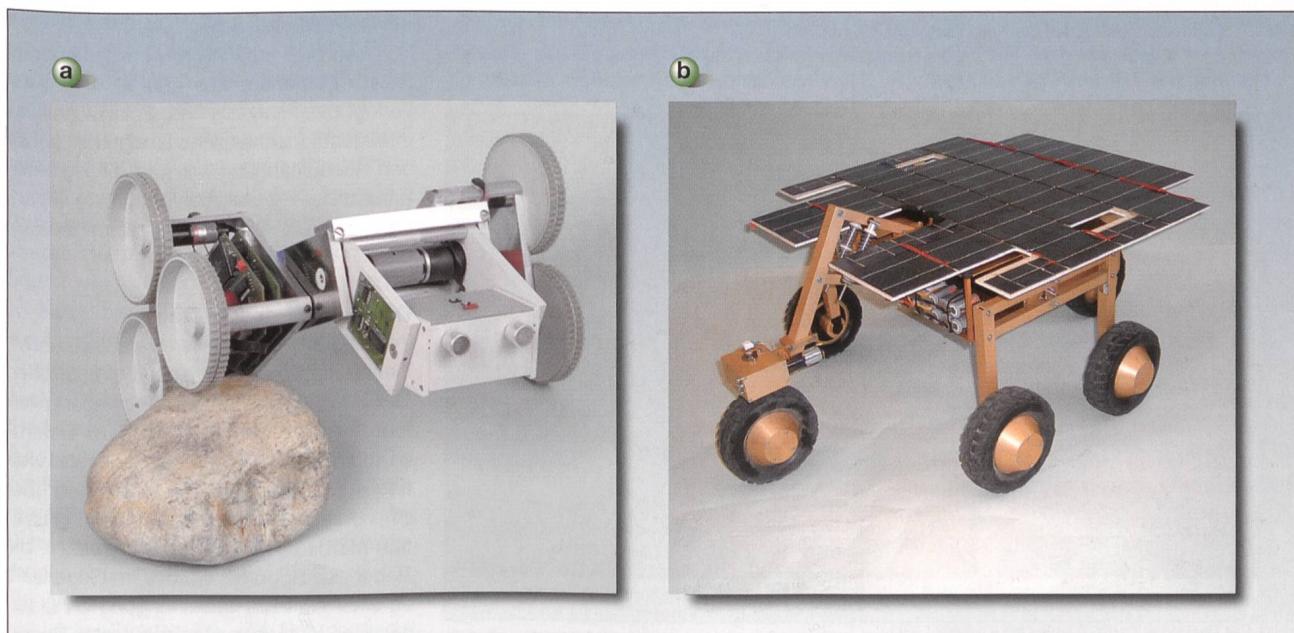


Bild 1 a) Mikrorover Space Cat und b) Solero: Beide Roboter-Prototypen wurden am ASL für die wissenschaftliche Erkundung von Planeten entwickelt.

mit dem Ziel, den Mond zu erkunden. Der erste Space Rover, Lunochod 1, gebaut im Rahmen des sowjetischen Lunochod-Programms, landete im November 1970 auf dem Mond. Seine Ausrüstung beinhaltete unter anderem Kameras, optische Spektrometer, Magnetfeldsensoren sowie Reflektoren. Der Rover wurde von der Erde aus ferngesteuert und legte während seiner Einsatzdauer von 322 Erdtagen etwas mehr als 10 km zurück.

Ab 1971 wurden die ersten unbemannten Fahrzeuge zum Mars gesendet. Die Missionen Mars 2 sowie Mars 3 des sowjetischen Marsprogramms beinhalteten je einen Orbiter sowie ein Landemodul mit einem Fahrzeug, dem Prop-M-Rover. Das Landemodul von Mars 2 zerschellte aufgrund von Problemen beim Landemanöver am 27. November 1971 auf der Mars-

oberfläche. Bei der Mission Mars 3 gelang am 2. Dezember 1971 zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit eine Landung auf dem Mars. Nur wenige Sekunden nach der geglückten Landung brach aber die Kommunikation zwischen der Bodenstation auf der Erde und dem Landemodul ab. Der Prop-M-Rover kam somit nie zum Einsatz.

Etwa ein Vierteljahrhundert später glückte den USA erstmals der Betrieb eines Fahrzeugs auf einem anderen Planeten. Der Rover Sojourner der Mars-Pathfinder-Mission nahm seinen Betrieb am 4. Juli 1997 auf. Die Mission war ein voller Erfolg – Sojourner führte chemische und mechanische Analysen des Untergrunds an 16 verschiedenen Stellen rund um das Landemodul aus und übermittelte während einer Betriebszeit von 83 Marstagen etwa 550

Fotos der Umgebung. Mit den folgenden Mars-Exploration-Rover-Missionen der NASA gelang den USA, an den Erfolg der Pathfinder-Mission anzuknüpfen: Die beiden Rover Spirit und Opportunity wurden für eine Missionsdauer von 90 Tagen ausgelegt. Sie nahmen ihren Betrieb im Januar 2004 auf und senden bis heute Messresultate zur Erde.

Für die nächsten Jahre sind weitere Missionen mit mobiler Forschungsausrüstung zum Mars geplant. Ende 2011 soll das Mars Science Laboratory (MSL) der NASA seinen Flug zum Mars beginnen. Auch die Europäische Weltraumbehörde (ESA) plant eine Marsmission mit Fahrzeug. Im Rahmen des Mars-Erkundungsprogramms Aurora soll in der ExoMars-Mission im Jahre 2018 erstmals ein europäisches Fahrzeug zum Mars transportiert werden. Das Fortbewegungssystem wird in der Schweiz unter der Leitung von Ruag Aerospace entwickelt, hergestellt und getestet. Die ETH Zürich ist durch das ASL im Konsortium zur Entwicklung und Evaluierung des Fortbewegungssystems vertreten.

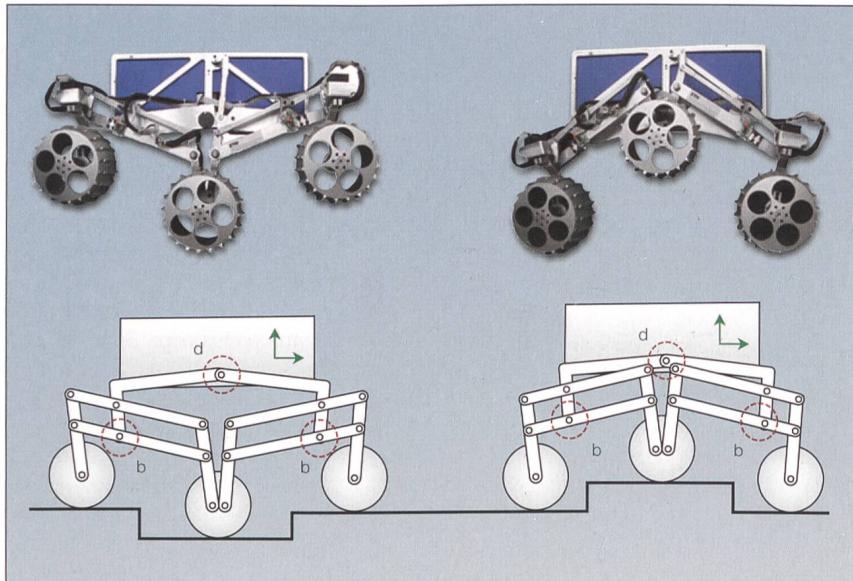
Bild 1 zeigt 2 am ASL entwickelte Konzepte für Raumfahrtsroboter mit unterschiedlicher Komplexität. Der Solero und die Space Cat wurden im Auftrag der ESA zusammen mit externen Industriepartnern als 2 konzeptuelle Prototypen von Raumfahrtsroboter mit einem Gewicht unter 15 kg entworfen.

Der Mikrorover Space Cat besitzt einen komplizierten, innovativen Fortbewegungsmechanismus mit Rädern und total 6 Freiheitsgraden. Im Einsatz bleibt er zur Energieversorgung und zur Datenübermittlung durch ein Kabel mit dem Landemodul verbunden. Dadurch beschränkt sich das Einsatzgebiet auf einen Radius von ca. 20 m um das Landemodul.

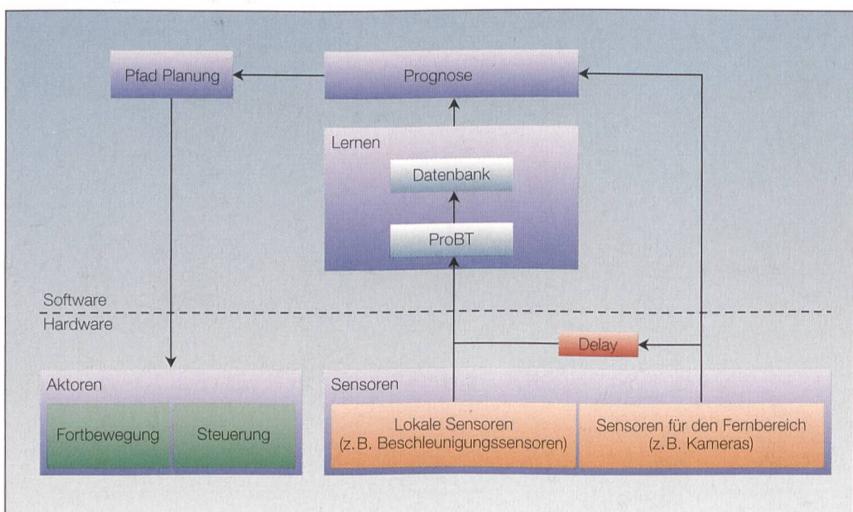
Wesentlich autonomer wird der Roboter Solero betrieben. Zur Energieversorgung verfügt das Fahrzeug über Solarzellen. Das intelligente mechanische Design der passiven Radaufhängung mit total 11 Freiheitsgraden bewirkt eine hervorragende Geländegängigkeit. Sein Einsatzradius beträgt bis zu 10 km.

## Der mobile Roboter Crab

Der Crab ist ein weiteres am ASL entwickeltes Fahrzeug mit einer beträchtlichen Geländegängigkeit. Zur Fortbewegung verfügt der Crab über insgesamt 10 Elektromotoren, 6 zum Antrieb der Räder und weitere 4 zur Steuerung. Die Räder sind über ein neuartiges, passives Aufhängungssystem mit dem Chassis verbunden, d.h., die Räder des Roboters werden im Gegensatz zu einer aktiven Radaufhängung ohne zusätzliche Antriebssysteme auf den Boden gedrückt. Die Radaufhängung setzt sich



**Bild 2** Kinematisches Modell der Forschungsplattform Crab.  
Eingetragen sind die Sensoren zur Messung der Fahrgestellwinkel (b) und der Auslenkung des Differenzials (d).



**Bild 3** Interaktion der Hardware und Software des Crab-Roboters zur Adaption des Verhaltens des Roboters an die Untergrundbeschaffenheit.

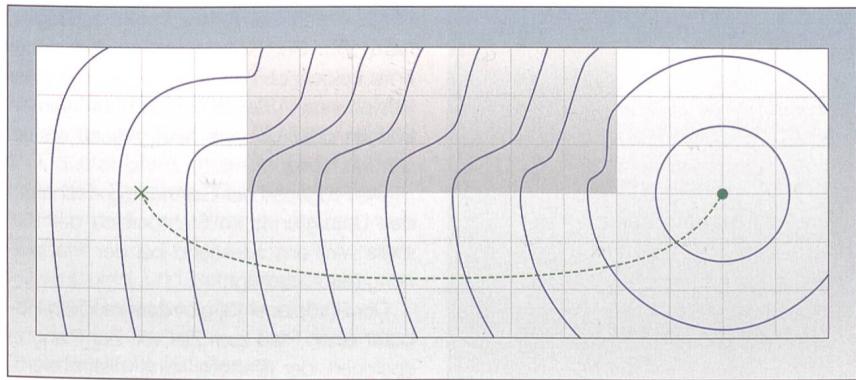


Bild 4 Schematische Darstellung der Umwelt durch den Pfadplaner – inklusive Roboter (Kreuz), geografischem Ziel (Kreis) und berechnetem Pfad zum Ziel.

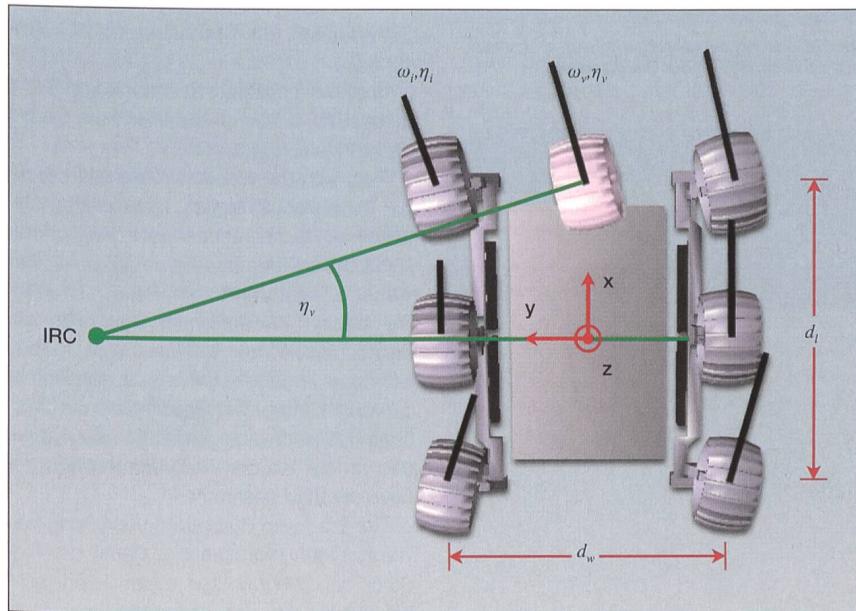


Bild 5 Die schematische Darstellung des Crabs veranschaulicht das Prinzip des virtuellen Rades (rosa) und des momentanen Rotationszentrums der Bewegung des Roboters (IRC).

auf der einen Seite des Roboters zusammen aus einem doppelten parallelen Fahrgestellmechanismus, der über ein Differential mit der anderen Seite verbunden ist. Bild 2 zeigt den Crab sowie schematisch die Kinematik der passiven Radaufhängung. Zu Forschungszwecken kann der Crab mit verschiedenen Sensoren ausgestattet werden, z.B. mit Stereokameras oder Laserscannern zur Distanzmessung zu Hindernissen oder mit taktilem Rädern zur Messung der Rad-Gelände-Interaktion (Tabelle).

Der Crab wird verwendet, um neue Methoden der mobilen Robotik beispielsweise zur Lokalisierung, zur Kartenerstellung oder zur Pfadplanung zu erforschen und experimentell zu verifizieren. Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Entwicklung neuer Methoden entsteht durch die Verwendung des Roboters als geländegängiges Fahrzeug in natürlicher Umgebung. Bei Robotern, die sich in einem künstlichen Umfeld fortbewe-

gen (wie die meisten der aktuell eingesetzten mobilen Roboter), können viele Probleme der mobilen Robotik auf vereinfachte Weise gelöst werden. Zum Beispiel kann die Umwelt angepasst (vgl. Rasenmäher, deren Einsatzbereich durch Induktionsschleifen vorgegeben ist) oder können Annahmen über die Umwelt gemacht werden, die unter anderem die Lokalisierung und die Kartenbildung des Roboters wesentlich vereinfachen.

Parameter	Wert
Breite	0,773 m
Länge	0,648 m
Bodenfreiheit	0,2 m
Raddurchmesser	0,196 m
Radbreite	0,1 m
Gewicht	37,25 kg
Autonome Geschwindigkeit	6 cm/s

Tabelle Die wichtigsten technischen Daten des Crab Rovers.

Roboter, die für unwegsames Gelände ausgelegt werden, müssen sich hingegen oft in unbekanntem oder schlecht charakterisiertem Gelände fortbewegen und möglichst gut auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren können.

### Anpassung des Roboters auf unterschiedliche Gelände

Am 26. April 2005 blieb einer der beiden MERs, Opportunity, beinahe in einer Sanddüne stecken. Wissenschaftler der NASA brauchten etwa 5 Wochen, um Opportunity aus dieser heiklen Lage zu befreien. Obwohl die Bewegung des Roboters sorgfältig geplant wurde, geriet der Roboter in diese unvorhersehbare Lage. Dieses Beispiel zeigt die Notwendigkeit der Kenntnis über den zu befahrenden Untergrund und die Berücksichtigung dieser Kenntnisse bei der Erfüllung einer Aufgabe.

Oft aber ist es nicht möglich, im Vorfeld einer Mission das gesamte Einsatzgebiet des Roboters zu charakterisieren. In einer Forschungsarbeit am ASL [2] entstanden Methoden, um den Untergrund beim Befahren mit einem Fahrzeug automatisch zu charakterisieren und das Wissen zur Pfadplanung zu benutzen. Bild 3 zeigt vereinfacht das Zusammenspiel von Hardware und Software auf dem Crab Rover.

Zur Durchführung der Experimente mit dem Crab wurden folgende Sensoren verwendet:

- Inertial Measurement Unit (IMU – MT9-B von Xsens) inkl. elektronischem Kompass. Platziert auf dem Chassis, liefert die IMU die Orientierung des Roboters.
- 4 Winkelsensor-Module (Eigenbau ASL) zur Messung der Fahrgestellwinkel sowie 2 zur Messung der Auslenkung des Differentials (Bild 2).
- Standard-High-Definition-Webkamera (Logitech Quickcam Pro 9000) zur Aufzeichnung von Bildern vor dem Roboter.

Die Sensoren des Roboters sind grob in lokale Sensoren zur Charakterisierung der Rad-Gelände-Interaktion (beispielsweise durch die Messung von Vibrationen) und Sensoren für den Fernbereich (hier eine Kamera) zur Ermittlung der optischen Gelände-eigenschaften unterteilt. Die Signale der Sensoren werden vom Bordcomputer des Crabs ausgelesen und verarbeitet. Der Bordcomputer ist ein Standard-PC mit Linux-Betriebssystem, und die Sensoren wurden über USB, I<sup>2</sup>C- und CAN-Bus mit dem Computer verbunden.

Die Software wurde schematisch in ein Modul zum Lernen, in eines zur Vorhersage der Gelände-eigenschaften sowie in ein weiteres zur Pfadplanung unterteilt.

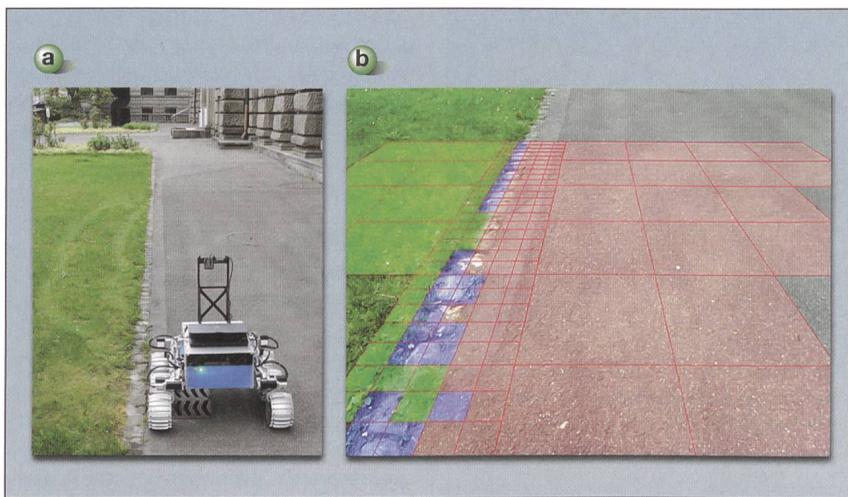


Bild 6 a) Startposition des Roboters zur experimentellen Validierung der Lernalgorithmen. b) Visuelle Wahrnehmung der Umgebung durch den Roboter inklusive Klassifizierung der Geländetypen.

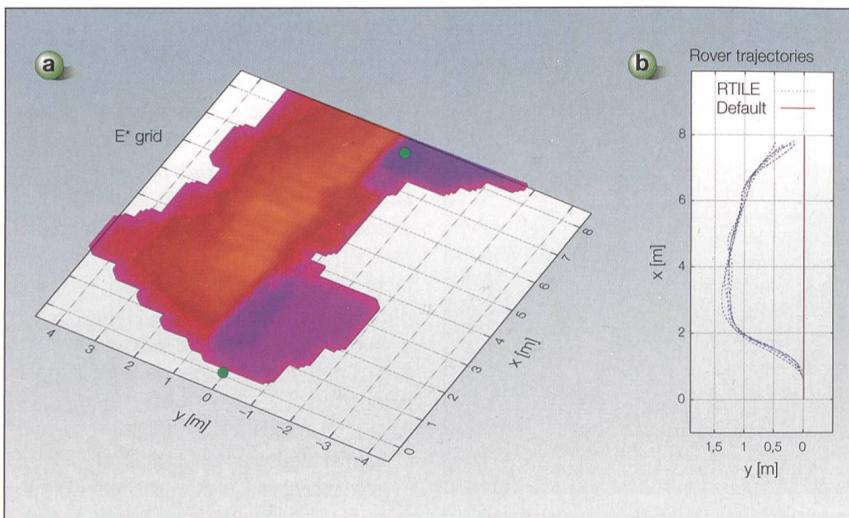


Bild 7 a) Visualisierung der Repräsentation der Umwelt durch den Pfadplaner nach der Abschätzung der Geländeeigenschaften. Bei der Traversierung des Untergrunds werden die rötlichen Bereiche vom Roboter gegenüber den bläulichen bevorzugt. b) Bewegungsablauf des Roboters.

Der Roboter lernt mithilfe eines Algorithmus zur Erzeugung von Wissen sowie einer Datenbank zur Verwaltung des gelernten Wissens. Er lernt aus generierten Samples  $s_i = (F_l, F_r)$ , die die lokal und entfernt gemessenen Geländeeigenschaften ( $F_l, F_r$ ) des unmittelbar befahrenen Untergrunds beinhalten. So lernt der Roboter vereinfacht formuliert zum Beispiel, dass der gerade befahrene grüne Untergrund weich ist ( $F_l = \text{«weich»}, F_r = \text{«grün»}$ ). Die gespeicherten lokalen Merkmale können dabei beliebige Informationen aus der Interaktion des Roboters mit der Umwelt enthalten. Die Wahl dieser Merkmale hängt hauptsächlich von der Hardware auf dem Roboter ab (z.B. von den verfügbaren Sensoren) sowie dem Einsatzzweck der Plattform.

In der hier gezeigten Anwendung werden die Unebenheit und die Nachgiebigkeit des Geländes als lokales Merkmal, das Ausse-

hen des Geländes als entfernt gemessenes Merkmal verwendet. Basierend auf den gesammelten Samples wird ein prediktives Modell gebildet. Das Modell verknüpft die Daten der Kamera mit den Daten aus der Interaktion des Roboters mit dem Gelände und dient im Wesentlichen dazu, die folgende Frage zu beantworten: Wie sieht eine Abschätzung der lokalen Geländeeigenschaften aus für ein beobachtetes, aber noch nicht befahrenes Gelände vor dem Roboter ( $P(F_l | F_r)$ )? Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit einer solchen Prognose sind verschiedene Wahrscheinlichkeitsverteilungen nötig. Diese Verteilungen werden vom Roboter während des Lernens gebildet. Um mit den kontinuierlichen Signalen und deren Wahrscheinlichkeitsverteilung einfacher umgehen zu können, werden Klassen erstellt, die Samples mit ähnlichen Eigenschaften zusammenfassen.

Die Anzahl der Klassen steht zu Beginn nicht fest. Der Roboter muss also selber entscheiden, ob verarbeitete Samples einer bestehenden Klasse zugeordnet werden können oder ob eine neue Klasse erstellt werden muss.

Die Prognose der Geländeeigenschaften des Untergrunds im Sichtbereich der Kamera wird anschliessend bei der Pfadplanung berücksichtigt.

Der Pfadplaner [3] gibt dem mobilen Roboter einen Pfad zum Ziel vor. Zur Planung speichert der Roboter eine diskretisierte Repräsentation der Umgebung in einer Karte. Jede Zelle der Karte wird mit Merkmalen versehen. Im Experiment mit dem Roboter widerspiegeln diese Merkmale die Schwierigkeit zur Durchquerung des Geländes.

In einem möglichen Szenario wie in Bild 4 dargestellt, existieren 2 passierbare Geländetypen (weiss und grau).

Falls sich der weisse Untergrund besser zur Traversierung eignet, wird der Pfadplaner einen Pfad berechnen, der den Roboter (symbolisiert durch ein Kreuz) über den weissen Untergrund zum Ziel (Kreis) führt. Die blauen Wellenfronten illustrieren die Funktionsweise der Software: Vom Ziel aus wird eine virtuelle Kugelwelle ausgesendet. Je nach Untergrund ändert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle. Mittels des Gradienten der Wellenfronten wird der optimale Pfad bestimmt.

Der Pfad wird durch eine Verkettung von Wegpunkten repräsentiert. Damit der Roboter den Wegpunkten folgen kann, wird die Bewegung des gesamten Fahrzeugs durch eine Translationsgeschwindigkeit  $v_{trans}$  sowie eine Rotationsgeschwindigkeit  $v_{rot}$  bezogen auf das geometrische Zentrum des Roboters beschrieben. Zur Regelung der 10 Motoren werden die Geschwindigkeiten  $v_{trans}, v_{rot}$  in einzelne Motoren geschwindigkeiten und Steuerwinkel umgerechnet. Dazu wird zunächst ein virtuelles Rad eingeführt. Das virtuelle Rad befindet sich in der aktuellen Implementierung in der Mitte der vorderen Achse des Roboters (Bild 5). Die Parameter des virtuellen Rades, die Translationsgeschwindigkeit  $\eta_v$  des Radmittelpunkts sowie der Steuerwinkel  $\omega_v$ , werden dann aus der Translations- und Rotationsgeschwindigkeit des Roboterzentrums berechnet. Die Geschwindigkeiten der 6 Räder sowie die Steuerwinkel der 4 steuerbaren Räder werden unter Berücksichtigung der Geometrie des Roboters anhand der Parameter des virtuellen Rades bestimmt. Der Steuerwinkel des virtuellen Rades definiert die Position des momentanen Rotationszentrums (IRC – Instantaneous Rotation Center) im Raum, um welches der Roboter rotiert. Da die mittleren Räder des Crabs nicht gesteuert werden, liegt das

Rotationszentrum stets auf der Linie durch die Achse der mittleren Räder. Fährt das Fahrzeug geradeaus, befindet sich das momentane Rotationszentrum links oder rechts im Unendlichen, bei einer Rotation an Ort und Stelle im geometrischen Zentrum des Roboters. Die Umdrehungs geschwindigkeit der einzelnen Rädern wird aus der vorgegebenen Translations geschwindigkeit und dem Steuerwinkel des virtuellen Rades berechnet.

### Experimentelle Validierung

Zur experimentellen Validierung der entwickelten Methoden wurde der Roboter in verschiedenen Szenarien getestet. Die Ausgangslage des Roboters in einem der Experimente wird in Bild 6a gezeigt. Der Roboter befand sich auf einem asphaltierten Weg mit angrenzendem Rasen. Das Experiment wurde in 2 Phasen unterteilt – die Lern- und die Testphase. In der Lernphase bewegte sich der Roboter ohne Vorwissen zuerst 5 m geradeaus auf Asphalt, dann weitere 5 m auf dem Rasen. Während der Bewegung lernte der Roboter die Geländeigenschaften wie die Nachgiebigkeit, die Unebenheit sowie das Aussehen des Untergrunds kennen. In der Testphase wurde ein Ziel 8 m vor dem Roboter definiert. Bild 6b zeigt das Gelände aus der Sicht des Roboters. Der Untergrund wurde automatisch in 3 ver-

schiedene Geländetypen unterteilt und farblich markiert. Die 3 extrahierten Typen bezeichnen den Rasen (grün markiert), den Asphalt (rot markiert) sowie den Übergang zwischen Rasen und Asphalt (blau markiert). Für jeden Geländetypen erstellte der mobile Roboter eine Prognose der Geländeigenschaften. Der Plot in Bild 7a illustriert die Repräsentation der Umwelt im Pfadplaner unter Berücksichtigung der Prognosen. Im Vorfeld wurde dem Roboter vorgegeben, bei der Befahrung weichen Untergrund gegenüber hartem vorzuziehen. Deshalb führte der berechnete Pfad den Roboter über den Rasen zum Ziel. Dies ist klar ersichtlich im Plot des gemessenen zurückgelegten Pfades des Roboters (Bild 7b).

Das Beispiel zeigt, dass Roboter in der Forschung bereits in der Lage sind, gelernetes Wissen zur Abschätzung der Rad-Gelände-Interaktion einzusetzen und somit aus der Erfahrung zu profitieren. Die Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis sind sehr vielfältig: Bei einer Raumfahrtsmission könnte sich ein mobiler Roboter energieeffizienter und sicherer über den Untergrund bewegen. Im kommerziellen Bereich wäre beispielsweise denkbar, dass ein Serviceroboter zum Staubsaugen von sich aus lernt, während der Nacht die Bereiche der Umgebung zu bearbeiten, deren Reinigung weniger Lärm verursacht.

### Referenzen

- [1] The Interplanetary Internet: [www.spectrum.ieee.org/telecom/internet/the-interplanetary-internet](http://www.spectrum.ieee.org/telecom/internet/the-interplanetary-internet).
- [2] A. Krebs, C. Pradalier, R. Siegwart: Comparison of Boosting Based Terrain Classification Using Proprioceptive and Exteroceptive Data, Springer Tracts on Advanced Robotics, Volume 54, 2009, pp. 93-102.
- [3] R. Philippse: Motion Planning and Obstacle Avoidance for Mobile Robots in Highly Cluttered Dynamic Environments, PhD thesis, EPF Lausanne, 2004.

### Links

[www.bluebotics.com](http://www.bluebotics.com)  
[www.inspection-robotics.com](http://www.inspection-robotics.com)  
[www.skybotix.com](http://www.skybotix.com)

### Angaben zu den Autoren

**Mark Höpflinger** verfügt über einen Masterabschluss in Elektrotechnik und Informationstechnologie der ETH Zürich und arbeitet zurzeit am Labor für Autonome Systeme an seiner Dissertation auf dem Gebiet der Laufrobotik.

*ETH Zürich, Institut für Robotik und Intelligente Systeme, Autonomous Systems Lab, 8092 Zürich, hoepflinger@mavt.ethz.ch*

**Ambroise Krebs** besitzt einen Masterabschluss in Mikrosystemtechnik der ETH Lausanne und beschäftigt sich momentan am Labor für Autonome Systeme mit seiner Dissertation über Explorationsroboter.

*ETH Zürich, Institut für Robotik und Intelligente Systeme, Autonomous Systems Lab, 8092 Zürich, ambroise.krebs@mavt.ethz.ch*

**Cédric Pradalier** verfügt über einen Masterabschluss in Computer Science und angewandter Mathematik und hat 2004 seine Dissertation im Bereich der Navigation von mobilen Robotern abgeschlossen. Seit 2008 arbeitet er als Dozent und Forscher an der ETH Zürich.

*ETH Zürich, Institut für Robotik und Intelligente Systeme, Autonomous Systems Lab, 8092 Zürich, cedric.pradalier@mavt.ethz.ch*

**Prof. Dr. Roland Siegwart** ist seit 2006 ordentlicher Professor für autonome Systeme an der ETH Zürich. Er ist unter anderem Gründungsmitglied des Space Centers der ETH Lausanne, Vorstandsmitglied des European Network of Robotics und «Distinguished Lecturer» der IEEE Robotics and Automation Society.

*ETH Zürich, Institut für Robotik und Intelligente Systeme, Autonomous Systems Lab, 8092 Zürich, rsiegwart@ethz.ch*

Alle 4 Autoren sind im Rahmen der ExoMars-Mission der ESA an der Entwicklung des Marsfahrzeugs beteiligt.

articles spécialisés

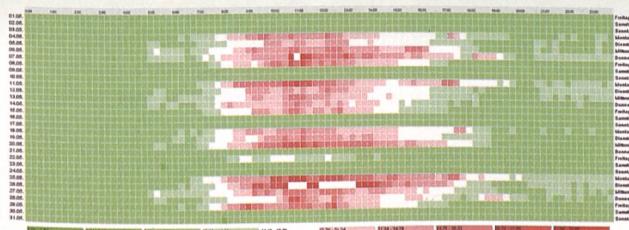
### Résumé

#### Robotique spatiale

Comment le robot mobile Crab apprend par interaction avec le sol. Des robots autonomes et mobiles sont utilisés non seulement en navigation spatiale, mais aussi dans des endroits impraticables ou même dangereux. Les chercheurs de l'Autonomous Systems Lab de l'EPF Zurich cherchent à accroître le taux d'autonomie et de mobilité des robots. Un robot doit être à même d'explorer un territoire de manière autonome. Une télécommande en temps réel depuis la terre n'est en effet pas possible. Il faut par exemple 3 à 15 minutes pour envoyer une instruction à un robot sur Mars.

Anzeige

## Schritt für Schritt zu mehr Energie-Effizienz



### Schritt 1: Ist-Analyse

Analyse des Lastverhaltens:

- Spektralanalyse
- Monats-, Quartals- und Jahresvergleiche
- typische Tagesverbrauchskurven

**ecofriendly<sup>®</sup>**  
energie effizient nutzen

MEMBER

OTTO FISCHER AG  
Elektrogrosshandel  
Postfach 18010 Zürich

Jetzt Member werden auf:  
[www.eco2friendly.ch/member-werden](http://www.eco2friendly.ch/member-werden)

Otto Fischer AG | Elektrogrosshandel  
Aargauerstrasse 2 | Postfach 1 8010 Zürich

www.ottofischer.ch  
Telefon 044 276 76 76 | Fax 044 276 76 86

**GÖRLITZ**  
Schweiz AG

**Wer früher optimiert hat später mehr Zeit!**

Durch den Einsatz intelligenter Technologie und hochperformanter Übertragungswege optimieren immer mehr Schweizer Netzbetreiber ihre Zählerfernauslesung und schaffen somit Freiräume für alle weiterführenden Energiedatenprozesse.

Erste Schweizer Netzbetreiber bestätigen die von GÖRLITZ prognostizierten Auslesezeiten der Industriekunden-Stromzähler. Durch den Einsatz des LCM Verfahrens der GÖRLITZ AG werden die Zähler ca. 50 mal schneller ausgelesen. Somit werden beispielsweise Auslesezeiten von 6½ Stunden auf gerade einmal 8 Minuten reduziert.

Mehr darüber erfahren Sie auf unserer Seite: [www.goerlitz.ch](http://www.goerlitz.ch) unter „News & Aktuelles“.

GÖRLITZ Schweiz Aktiengesellschaft • Tirolerweg 8 • CH-6300 Zug  
Telefon +41 (0) 41 7201250 • Telefax +41 (0) 41 7201251 • E-Mail: [info@goerlitz.ch](mailto:info@goerlitz.ch) • Internet: [www.goerlitz.ch](http://www.goerlitz.ch)