

Dienstangebots. In einer ersten Ausbaustufe sollen MACS MyEntertainment mit dem Download von Musik- und Audiodateien, später auch MACS MyOffice-Dienste integriert werden.

[www.projekt-macs.de](http://www.projekt-macs.de)

*Daniel Rackensperger*

**Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Rackensperger**  
**Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre - Information, Organisation und Management**  
 Tel.: 089/289-24827  
[rackensperger@wi.tum.de](mailto:rackensperger@wi.tum.de)

Entschärfung von Minen

## Feines Gespür in heikler Mission

**Alexander Kron kann die scharfe Landmine in seiner Hand spüren, obwohl er sie nicht selbst berührt. Sie steht im angrenzenden Gebäude, etwa 50 Meter Luftlinie von ihm entfernt. Das Gefühl, die Mine in seinen Händen zu halten, wird Kron durch Datenhandschuhe und kraftrückmeldende Displays an einzelnen Fingern und an der Hand suggeriert. Vor seinen Augen trägt er zudem eine 3D-Brille, die ihm die räumliche Wahrnehmung der Situation erlaubt. Steuergerät und Roboter sind über ein lokales Netzwerk miteinander verkoppelt. Langsam bewegt Kron seine Hände durch die Luft. Auf den Bildschirmen vor ihm können seine Kollegen mitverfolgen, wie der Diplom-Ingenieur mit Hilfe des Roboters im Nachbargebäude notwendige Entschärfungshandgriffe an der Mine vornimmt.**

Das Ingenieurteam vom Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik der TUM in Garching (Prof. Marin Buss), dem Kron angehört, tüftelt derzeit daran, wie sich eine Mine über ein Steuergerät und einen zugehörigen Roboter aus sicherer Entfernung gefahrlos und zugleich möglichst intuitiv entschärfen lässt. »Bei einer konventionellen Räumung von Minen kommt es bei etwa jedem 5000sten Einsatz zu einem Unfall mit schweren Verletzungen oder Todesfolge«, erklärt Kron. »Diese Tatsache hat uns motiviert, eine Technologie zu entwickeln, die solche Vorkommnisse in Zukunft vermeiden kann«. Bis jetzt müssen Sprengstoffexperten fast immer mit schwerer Schutzkleidung direkt an der Mine arbeiten, denn sie benötigen für ihre Entschärfungstätigkeiten neben der Sichtinformation weitere Sinnesinformationen, insbesondere die Wahrnehmung von Berührungen (haptische Rückmeldung). Diese Informationen wollen die TUM-Ingenieure durch zweiarmige und mehrfingrige Roboter, ausgestattet mit zahlreichen Sensoren und einem Paar Stereokameras, an den Kampfmittelexperten weiterleiten. Das Projekt »Beidhändige und mehrfingrige haptische Informationsvermittlung in Telepräsenzsystemen zur Unterstützung von Entschärfungstätigkeiten« ist eingebunden in den Sonderforschungsbereich (SFB) 453 »Wirklichkeitsnahe Telepräsenz und Teleaktion«, der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell gefördert wird.

»Die größte Sicherheit können Sprengstoffexperten, die Minen entschärfen müssen, dadurch erlangen, dass sie eine Technologie zur Hand haben, mit der sie ein Gespür für den Gegenstand entwickeln, den sie aus größerer Distanz gefahrlos handhaben können«, erläutert Kron. Diese Sicherheit wollen die TUM-Ingenieure mit ihrem beidhändigen und mehrfingrigen Telepräsenzsystem gewähren, das dem Kampfmittelexperten bei der Entschärfung ermöglicht, einzelne Finger- und Handbewegungen auf die Greifarme eines zweiarmigen Roboters zu übertragen, der mit Parallelgreifern als Werkzeug zur Handhabung der Mine ausgestattet ist. Dazu ist der Minenexperte mit einem speziell entwickelten Steuergerät am Handgelenk und an einzelnen



Der mit zwei Greifarmen ausgestattete Steuerungsapparat erlaubt ein Hantieren aus sicherer Entfernung.

*Foto: Thorsten Naeser*

Fingern verbunden. Sogar Temperatur und Oberflächenbeschaffenheit von Gegenständen lassen sich an den Fingern wahrnehmen.

Das Gesamtsystem setzt sich gegenüber bestehenden Robotertechnologien für

Entschärfungstätigkeiten ab. »Bis jetzt ist es dem Bundesgrenzschutz oder der Bundeswehr nur möglich, mit kleinen mobilen Robotern, die lediglich über einen einzigen Greifarm und einzelne Kameras zur Vermittlung von Monosichten verfügen, gefährliche Hinterlassenschaften zu bergen«, erläutert der Ingenieur. »Aber eine sichere Entschärfung ist mit dieser Technologie bis heute nicht möglich. Schon allein bedingt durch die Einschränkung auf einarmiges Handeln, können bislang nur erste unterstützende Maßnahmen aus sicherer Entfernung durchgeführt werden. Der Experte muss in nahezu allen Fällen nach wie vor direkt am gefährlichen Objekt weitere erforderliche Handgriffe ausführen.«

Die TUM-Ingenieure erproben das neue Telepräsenzsystem bereits in der Praxis, in Zusammenarbeit mit Bundeswehr und Bundesgrenzschutz. Die Geräte stehen fertig aufgebaut in den Räumen des Lehrstuhls. In den Tests wird eine Übungsmine des Typs PROM-1 entschärft. »Die PROM-1 ist eine Splittermine, wie sie noch zu tausenden im ehemaligen Jugoslawien im Boden vergraben sind«, erklärt Kron. Die bisherigen Tests verliefen sehr erfolgreich. Noch sind die auf den Roboter übertragenen Handbewegungen etwas eingeschränkt und menschliche Hände dem System gegenüber flexibler. »Trotzdem sind wir zuversichtlich, dass wir mit der Weiterentwicklung unseres Systems eine wesentliche Steigerung des Umfangs und der Effizienz bei künftigen Entschärfungstätigkeiten gegenüber den herkömmlichen Technologien erwarten dür-

fen«, meint Kron. In den nächsten drei Jahren wollen die Ingenieure das Telepräsenzsystem soweit verfeinern, dass sie Handbewegungen in allen Freiheitsgraden ohne Einschränkungen auf Robotergreifarme mit mehrfingerigen Händen übertragen können.

*Thorsten Naeser*

**Dipl.-Ing. Alexander Kron**  
**Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik**  
**Tel.: 089/289-23415**  
**[alexander.kron@ei.tum.de](mailto:alexander.kron@ei.tum.de)**

Super-Treibhausgas in der Atmosphäre

## Aufklärung im Fall $\text{SF}_5\text{CF}_3$

**Der Treibhauseffekt ist in aller Munde, und jeder Schüler lernt heute, dass Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) auf diesem Weg zur Erwärmung der Erdatmosphäre beiträgt. Weniger bekannt sind die vielen anderen Spurengase, die der Atmosphäre ebenfalls einheizen. Das Gas mit der stärksten bisher bekannten Treibhauswirkung hat die Zusammensetzung  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  und ist schätzungsweise 19 000 mal so wirksam wie  $\text{CO}_2$ . Ein wichtiger Punkt hinsichtlich der Schädlichkeit von  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  ist dessen Lebensdauer und Schicksal unter atmosphärischen Bedingungen, also die Frage, ob sich dieses Spurengas über die Zeit anreichern kann bzw. wie und wie schnell es abgebaut wird. Diesen Aspekten widmet sich - mit finanzieller Hilfe des Bundes der Freunde der TU München - Dr. Mohamed Turki am Lehrstuhl für Theoretische Chemie in Garching (Prof. Wolfgang Domcke).**

Die Entdeckung des ungiftigen, chemisch völlig unreaktiven und extrem stabilen Gases  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  in der Atmosphäre sorgte im Jahr 2000 für viel Wirbel und stieß zahlreiche Forschungsprojekte an. Denn  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  absorbiert extrem viel der von der Erdoberfläche zurückgestrahlten Wärme, trägt also zur Treibhauswirkung bei; zudem vermutet man, dass es eine ausgesprochen lange Lebensdauer von über 1 000 Jahren hat. Die Lebensdauer, eine ungemein wichtige Größe für die potentielle Schädlichkeit als Treibhausgas, lässt sich bei solch stabilen Molekülen leider nicht direkt messen, so dass man auf Schätzungen und theoretische Modelle angewiesen ist. Genau hier setzt die Arbeit der TUM-Wissenschaftler an, die sich mit den möglichen Zerfallsprozessen von  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  befasst.

Die »chemischen Räumkommandos« der Atmosphäre, die äußerst reaktiven Radikale und freien Atome wie das Hydroxylradikal (OH), atomarer Sauerstoff (O) und Ozon ( $\text{O}_3$ ), können  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  nicht angreifen, da dieses durch die Fluoratome (F) wie durch einen Panzer geschützt ist. Die einzige bisher bekannte relevante Reaktion ist das Einfangen freier Elektronen, das zum spontanen Zerfall in ein  $\text{SF}_5$ -Ion und ein  $\text{CF}_3$ -Radikal führt. Freie Elektronen kommen in der Atmosphäre aber erst in über 50 Kilometer Höhe in ausreichender Konzentration vor, wo sie durch die extrem energiereiche, kurzwellige Strahlung entstehen, die bestimmte Spurengase photoionisiert.

Die ausgesprochen kurzwellige Strahlung kann aber auch mit  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  wechselwirken und sehr viel Energie in dieses Molekül »pumpen«. Das führt unter Umständen zum Bruch von Bindungen, zur »Photodissoziation«. Derartige Prozesse untersuchen die TUM-Chemiker mittels quantenchemischer Rechnungen, die gezeigt haben, dass  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  Strahlung mit Wellenlängen ( $\lambda$ ) von rund 133 Nanometer (nm) absorbieren kann und dadurch in einen angeregten Zu-