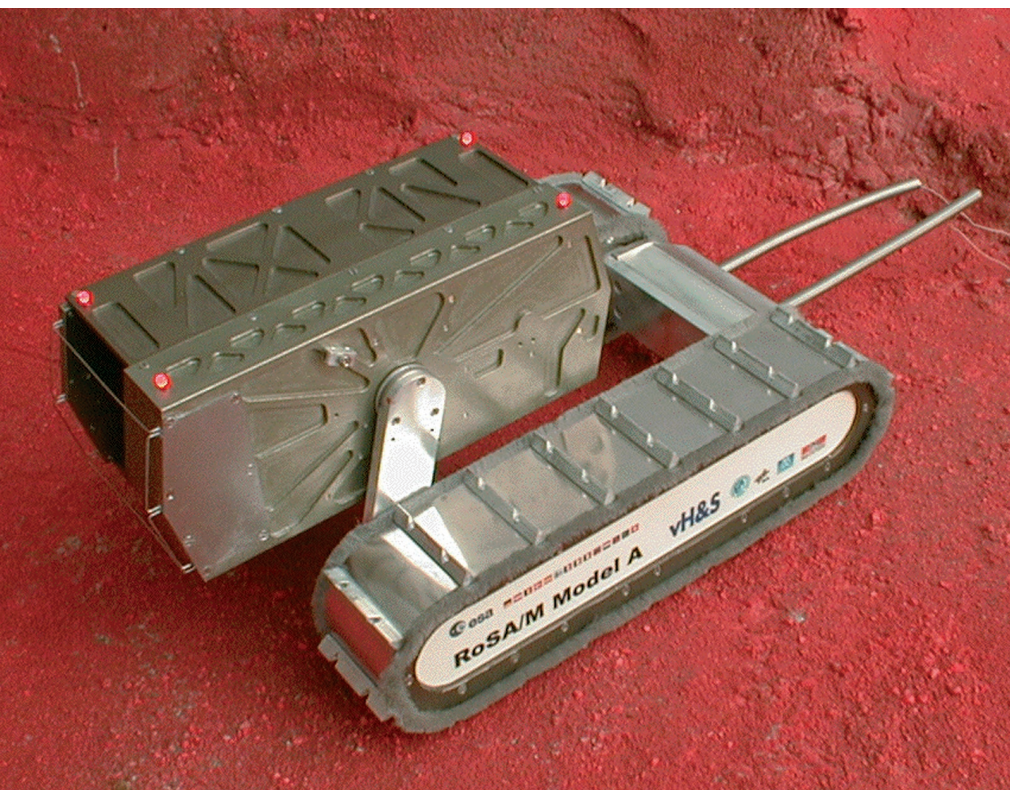


Präzisionsgetriebe für die Raumfahrt

Planetare Erkundung des Merkur mit einem Kleinfahrzeug



Ingolf Schäfer, Sabine Klinkner

Auch wenn das Harmonic-Drive-Getriebe seit mehr als drei Jahrzehnten fester Bestandteil hochpräziser Anwendungen im Maschinenbau und der Robotertechnik ist, so hat es doch seine Wurzeln in der Raumfahrt, für das es Ende der fünfziger Jahre entwickelt wurde. Dass es in diesem Bereich ebenfalls neuartige Anwendungen und Herausforderungen zu lösen gilt, zeigt ein neuer Einsatz des Getriebes für das Merkur-Projekt.



Autor: Dr. Ingolf Schäfer ist Branchenmanager Luft- und Raumfahrt bei der Harmonic Drive AG



Autorin: Sabine Klinkner ist Entwicklungsingenieurin Robotiksysteme bei der Hoerner & Sulger GmbH

Die Erkundung unseres Sonnensystems geschieht mehr und mehr mit autonom arbeitenden Sonden und Robotern, die direkt auf die Planeten gebracht werden oder sich in einer Umlaufbahn dazu befinden. Typische Beispiele aus der jüngeren Vergangenheit sind dabei die europäische Mars Express Mission, die Mars Exploration Rover der USA oder das Gemeinschaftsprojekt Cassini-Huygens zur Erkundung des Saturn. Wie in anderen Bereichen auch sucht die europäische Raumfahrtbehörde esa nach Möglichkeiten, für die Raumfahrt kleine und kompakte Systeme entwickeln zu lassen, um hierdurch mehr Funktionen in einer Mission zu vereinen. Selbstverständlich werden dadurch die Anforderungen an die verwendeten Mechanismen immer höher.

Das Merkur-Rover-Projekt

Im Rahmen einer Studie zu speziellen Kleinfahrzeugen für die planetare Erkundung – so genannten Microrovern – hat die Hoerner & Sulger GmbH den Auftrag zur Entwicklung und zum Bau eines entsprechenden mechanischen Ingenieurmodells erhalten. Dabei handelt es sich um einen Rover (**Bild 1**) mit den Außenabmessungen von $250 \times 160 \times 65 \text{ mm}^3$ und einer Gesamt-

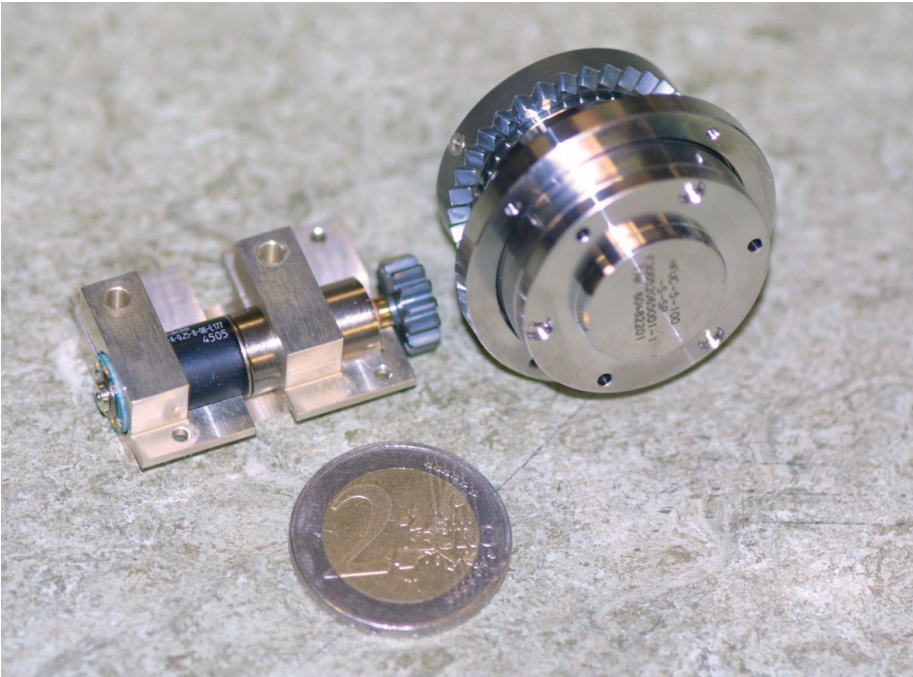
masse von 3,2 kg inklusive einer Nutzlastmasse von zirka 1 kg sowie den Versorgungsgeräten auf der Landeseite von zirka 500 g.

Dieser Rover hat insgesamt vier Rotationsachsen, zwei für den Raupenantrieb und zwei zum Schwenken der Nutzlast. Die Achsen unterscheiden sich in ihrer Funktion und Aufgabenstellung ein wenig, trotzdem sollte zum Zwecke der Aufwandsminimierung und Optimierung des Entwurfs eine möglichst große Ähnlichkeit erreicht werden. Weiterhin musste aus Platzgründen der Motor mit Planetenstufe um 90° versetzt zur Abtriebsachse angebracht werden, wobei die Baulänge der Abtriebsachse für den Nutzlastschwenkarm und die Raupenantriebe sehr stark eingeschränkt war.

Darüber hinaus sind auch die Anforderungen aus den Umgebungsbedingungen und der Verwendung sehr anspruchsvoll: nach einer mehrjährigen Reisephase zum Planeten unter Temperaturwechseln von -150 bis $+150^\circ\text{C}$ muss der Rover anschließend bei -180°C operieren. Dass beim Start der Mission extreme Vibrations- und Schockbelastungen ertragen werden müssen, gehört ebenfalls zu den konstruktiven Herausforderungen.

Abtrieb über Flexspline oder Circular Spline

Die zum Teil recht widersprüchlichen Anforderungen mussten in ein Konzept integriert werden, das möglichst viele Gleichteile bietet und damit den Konstruktionsaufwand verringert. Das Grundkonzept für die einzelnen Antriebe war relativ schnell fest gelegt: Bei den beiden Raupenantrieben bot sich ein Abtrieb über den Circular Spline des Harmonic-Drive-Getriebes an, wobei der Flexspline am Chassis fixiert wird. Damit konnte der Antrieb direkt in ein Rad des Raupenantriebs integriert werden. Für den Nutzlastarm war es dagegen sinnvoller, über den Flexspline abzutreiben. Die Wahl fiel dabei auf das Harmonic-Drive-Getriebe, da es zum einen die erforderliche Präzision für das Schwenken des Nutzlastarms mitbringt, zum anderen aber auch besonders hohe Drehmomentdichten liefert. Darüber hinaus war die Erfahrung mit Raumfahrtprojekten bei der Umsetzung hilfreich. Die geforderten Spitzenabtriebsmomente von 1800 Nmm konnten dabei nach eingehender Analyse des Lastprofils und der geforderten Lebensdauer mit einem HFUC-05-Einbausatz (**Bild 2**) reali-



2: Das Getriebe HFUC-05 ist zurzeit das kleinste Harmonic-Drive-Getriebe konventioneller Bauart

siert werden, dem kleinsten derzeit verfügbaren Harmonic-Drive-Getriebe konventioneller Bauart.

Um den Motorantrieb unter dem geforderten 90°-Winkel zu realisieren, wurde auf das Cylkrorad der ASS AG (Distributor der Harmonic Drive AG in der Schweiz) zurückgegriffen, da hier eine größere axiale Toleranz der Motorlage und eine kürzere Baulänge erreicht werden konnte. Das relativ junge Prinzip des Cylkrorades ist eine Ableitung aus den klassischen Kronenrädern, wobei durch computergestützte Verfahren der Zahneingriff und das Tragbild entscheidend verbessert werden konnte. Dadurch lassen sich deutlich höhere Drehmomente übertragen als dies mit klassischen Kronenrädern möglich ist.

Die Abtriebsachse ist mit einem speziell gefertigten Vierpunktlager gelagert, mit dem die abtriebsseitigen Kippmomente abgeleitet werden können. Um durch die hohen Vibrationslasten beim Start keine Vorschädigungen an den Bauteilen zu bekommen, sind dabei enge Toleranzen oder geringe Vorspannungen unumgänglich.

Schmierungskonzept

Für die Schmierung konnte auf die in der Raumfahrt verwendeten Schmierstoffe mit entsprechend niedrigen Ausgasungsraten und hohen Resistenzen gegen aggressive Strahlung nicht zurückgegriffen werden, da die Betriebstemperaturen dafür zu niedrig lagen. Von daher war der Einsatz von Tro-

ckenschmierung erforderlich. Aufgrund der relativ zur Baugröße hohen Drehmomente waren dabei entsprechende Tests notwendig, um nachzuweisen, dass die Schmierstoffbeschichtung auch unter diesen Bedingungen und hohen Kontaktkräften noch ausreichend lange ihre Funktion erfüllt. Vorteilhaft waren dabei allerdings die niedrigen Drehgeschwindigkeiten des Antriebs, wobei hier der Vorteil des Harmonic-Drive-Getriebes mit dem Zahneingriff auf der langsam drehenden Seite des Getriebes nochmals voll zum Tragen kommt.

Dokumentation

Neben der Erstellung der Konstruktion und den dabei notwendig gewordenen Tests zur Schmierung gehört – wie in der Raumfahrt üblich – auch eine entsprechend umfassende Dokumentation der erstellten Analysen, Darstellung der technischen Lösung und Nachweis der Funktionssicherheit zum Arbeitsumfang bei einem solchen Projekt. Die engen Beschränkungen im Bauraum konnten nur durch konsequenten Einsatz von 3D-CAD und dem regelmäßigen Austausch der Modelle zwischen den einzelnen Teams eingehalten werden.

Ausblick

Der Mikroover wird noch in diesem Jahr fertig gestellt werden und dann entsprechenden Tests unterzogen. Dabei geht es um die Überprüfung der Roverfunktionen und -fähigkeiten unter den kritischen Umweltbedingungen des Zielplanetens, bevor er dann für eine Mission eingesetzt werden kann.