

# Commercial off the Shelf (COTS) Elektronik für Weltraumroboter

DLR – Institut für Robotik und Mechatronik (RM)  
D-82234 Weßling  
Hans-Jürgen Sedlmayr

HZB-Strahlenhärte Workshop 2020 (11. Februar 2020 in Berlin)

A photograph of the Earth as seen from space, showing the curvature of the planet, the blue atmosphere, and the green and brown landmasses of Europe and Africa. The image is positioned in the lower right quadrant of the slide.

Wissen für Morgen

# Gliederung

- ROKVISS – Start der Kooperation
- COTS Bauteile für robotische Antriebe
- Missionen und durchgeführte Tests
- Strahlentestaufbauten
- Zusammenfassung



# Gliederung

- **ROKVISS – Start der Kooperation**
- COTS Bauteile für robotische Antriebe
- Missionen und durchgeführte Tests
- Strahlentestaufbauten
- Zusammenfassung



## ROKVISS – Start der Kooperation

22. März 2005 bis zum 2. November 2010: Betrieb eines zweiachsigen Roboters auf der Außenseite der ISS (Swesda-Modul) basierend auf der Leichtbauroboter-Technologie

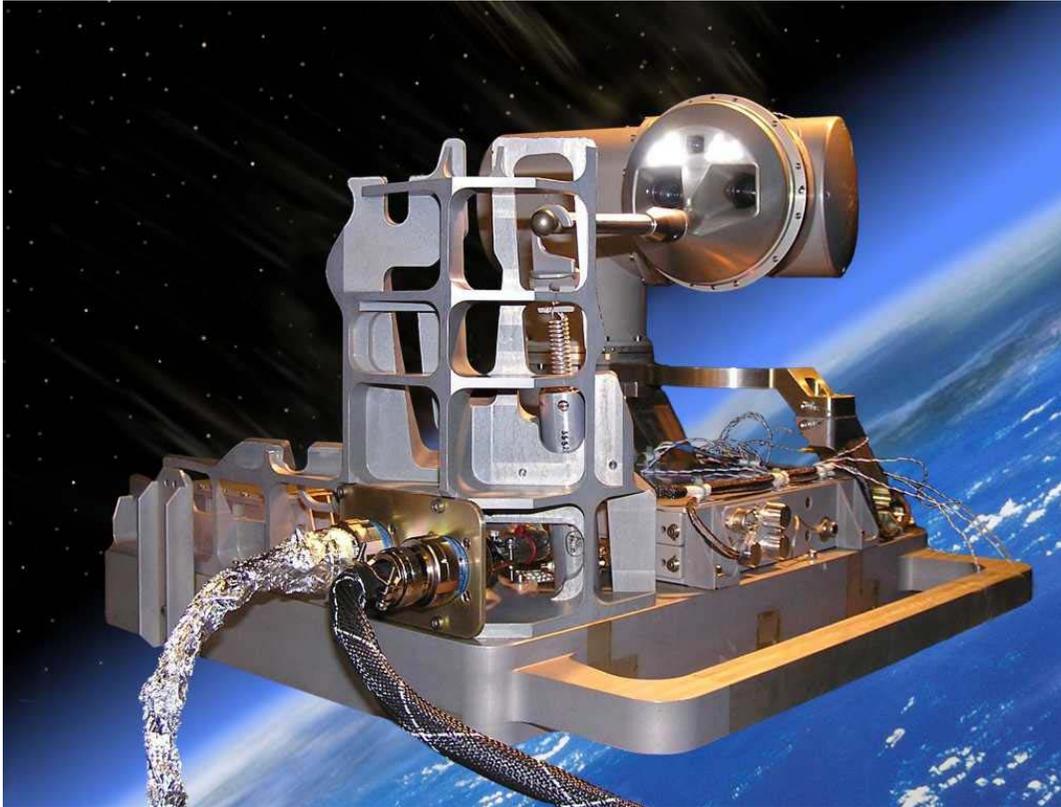


Bild: NASA



## ROKVISS – Start der Kooperation

### Test einer Latch-Up-Schutzschaltung

- Der Fachbegriff Latch-Up-Effekt bezeichnet in der Elektronik den Übergang eines Halbleiterbauelements in einen niederohmigen Zustand, der zu einem elektrischen Kurzschluss führen kann. Wenn Schutzmaßnahmen fehlen, führt der Latch-Up-Effekt an dieser Stelle zur thermischen Zerstörung des Bauteils.
- Ausgelöst werden kann ein Latch-Up-Effekt durch eine kurze elektrische Spannungsspitze, beispielsweise durch Überspannung, elektrostatische Entladung oder energetische Partikel.

Aus: Wikipedia deutsch

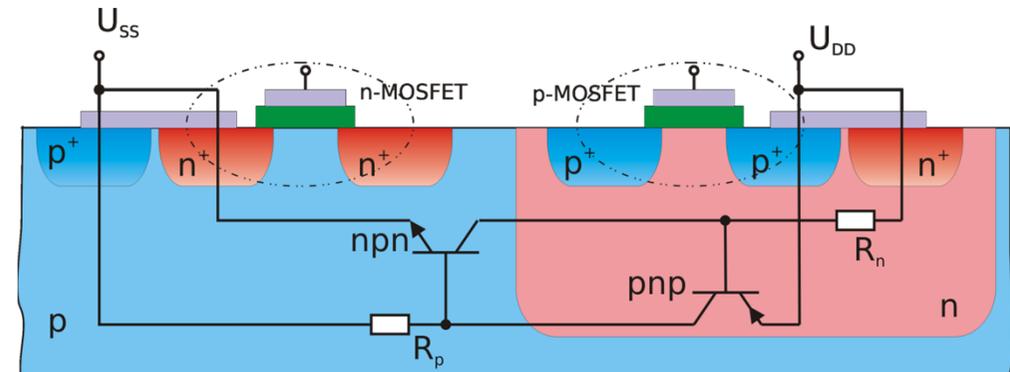


## ROKVISS – Start der Kooperation Test einer Latch-Up-Schutzschaltung

Die kritische geometrische Struktur besteht aus einem parasitären lateralen npn- und einem vertikalen pnp-Transistor.

Die Source-Drain-Gebiete des p-Kanal-Transistors sind der Emitter und die n-Wanne die Basis des so entstandenen pnp-Transistors, während das p-leitende Substrat den Kollektor darstellt. Emitter, Basis und Kollektor des npn-Bipolartransistors bilden entsprechend die Source-Drain-Gebiete der n-Kanal-Feldeffekttransistoren, das p-Substrat und die n-Wanne.

Diese entsprechen in ihrer gegenseitigen Verschaltung einem Thyristor, wie in nebenstehender Grafik am Beispiel eines Inverters in CMOS-Technik dargestellt ist.



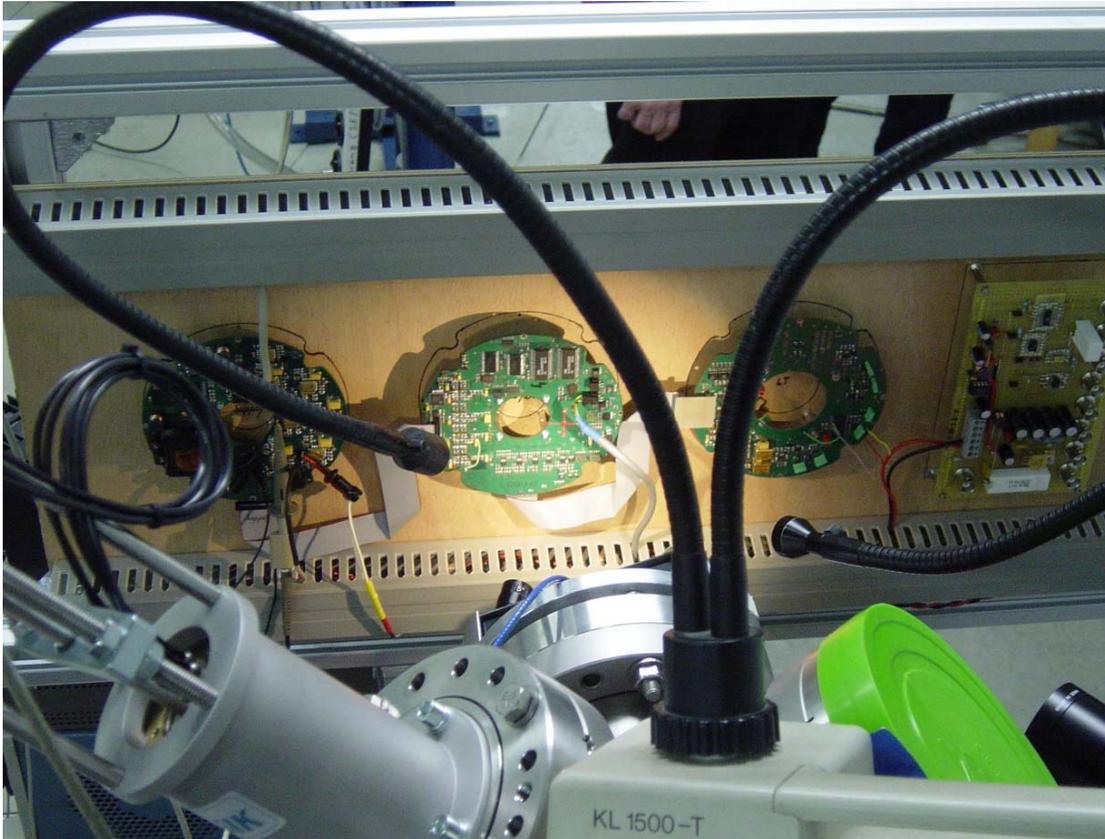
Legende	
<span style="color: red;">■</span> n-dotiert	<span style="color: purple;">■</span> Leiter
<span style="color: blue;">■</span> p-dotiert	<span style="color: green;">■</span> Dielektrikum

Cepheiden, Wikipedia deutsch



# ROKVISS – Start der Kooperation

## Test einer Latch-Up-Schutzschaltung



# Gliederung

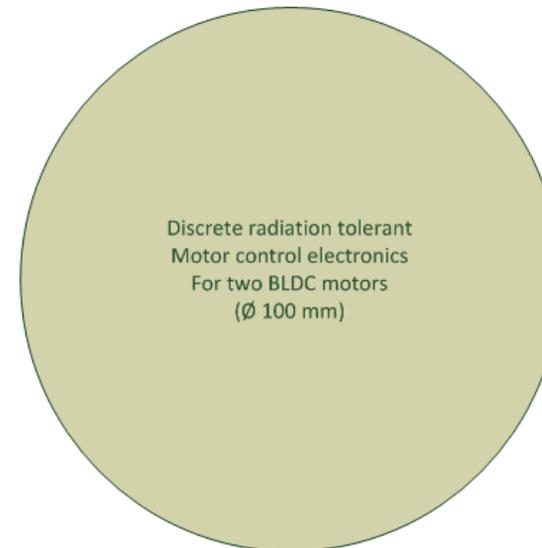
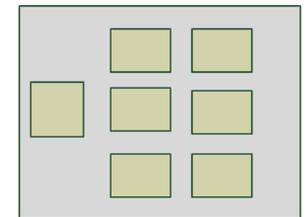
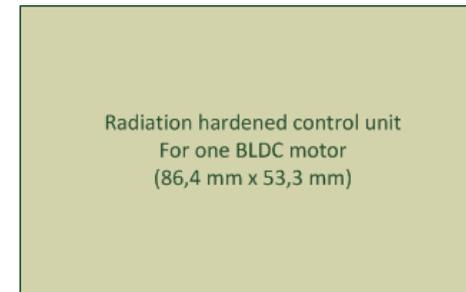
- ROKVISS – Start der Kooperation
- **COTS Bauteile für robotische Antriebe**
- Missionen und durchgeführte Tests
- Strahlentestaufbauten
- Zusammenfassung



# COTS Bauteile für robotische Systeme

## Gründe für die Verwendung von COTS (Commercial of the Shelf) Bauteilen

- Größe
- Leistung
- Verfügbarkeit (Lieferzeit)
- Kosten pro Bauteiltype
  
- Bei DLR-RM werden „Automotive“ klassifizierte Bauteile bevorzugt:
  - Lagerung ~ -55°C bis +150°C
  - Betrieb ~ -40°C bis +150°C
  - Qualitätskontrolle
  
- Mission kann den Einsatz von COTS unterstützen



# COTS Bauteile für robotische Systeme

## Herausforderung COTS Bauelemente - Produktion

- Für das Upscreening von COTS ist es wichtig, dass alle Bauteile aus einem Produktions-Los stammen.
- Kommerzielle Bauteile sind üblicherweise über den „date code“ verfolgbar:
  - Zeitpunkt des Verpackens
  - Keine direkte Verbindung zum Produktionszeitpunkt
- Mehrere Produktionslinien für ein Produkt führen zu „Los zu Los“ – Streuung
- Outsourcing der unterschiedlichen Produktionsschritte (z.B. Herstellung, Testen, Verpackung) führen zu weiteren Streuungen



ABER

- Eine immer größer werdende Anzahl von Halbleiterfirmen sind ohne eigene Fabrik auf dem Markt → Zentralisierung der Produktion
- Hersteller werden aufgekauft und verschmelzen → weniger Fabriken auf dem Markt



# COTS Bauteile für robotische Systeme

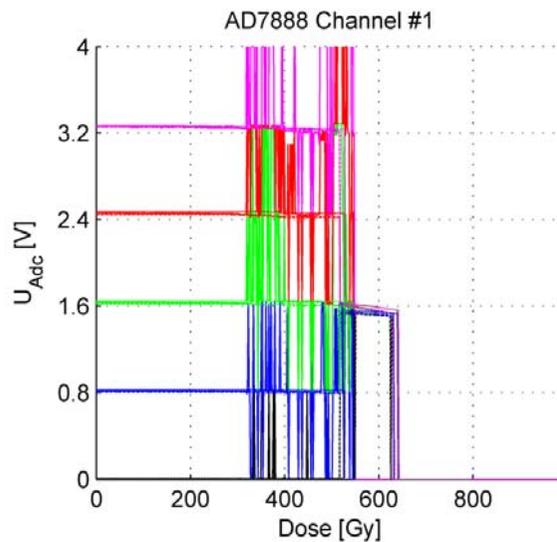
## Herausforderung COTS Bauelemente - Einkauf

- Kooperation mit dem Hersteller → beste Lösung  
Teile aus einem Los, Prozess Informationen und ggf. sogar Samples sind verfügbar
- Erfahrener Distributor → akzeptable Lösung  
Teile aus einem Los wahrscheinlich, Prozess Informationen schwierig
- Massenmarkt → Herausforderung  
Hier ist es sinnvoll, komplette Trays oder Wafer zu kaufen, trotzdem keine Garantie
- Gefälschte Bauteile „Counterfeit Parts“
  - Großer und lukrativer Markt → steigende Anzahl an gefundenen Teilen
  - Sogar gefälschte „High-Reliability“ Teile gefunden
- Für Bauteiltests genügend Bauteile kaufen ( $\geq 40$  Bauteile)
- Kontrollierte Langzeitlagerung für Bauteile nötig

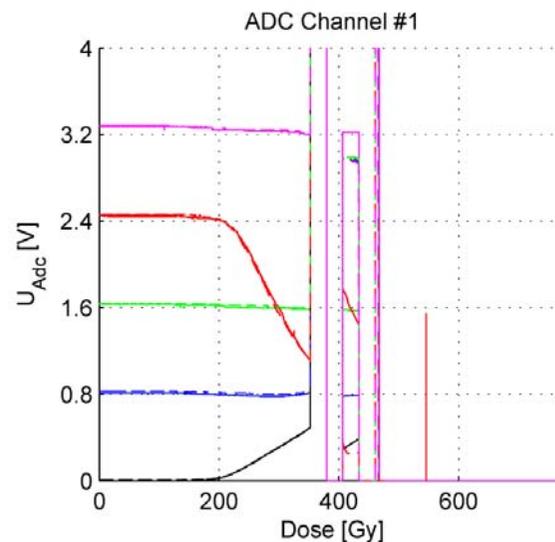


# COTS Bauteile für robotische Systeme

## Herausforderung COTS Bauelemente – Beispiel für Losabhängigkeit



Bauteil von 2006



Bauteil von 2009

- Vor Bestrahlung verhalten sich beide A/D-Wandler identisch.
- $I_{\text{supply}} = 10 \text{ mA}$
- 2006:  $I_{\text{supply}}$  bis 350 Gy konstant
- 2009:  $I_{\text{supply}}$  steigt ab 150 Gy erreicht 175 mA bei 350 Gy



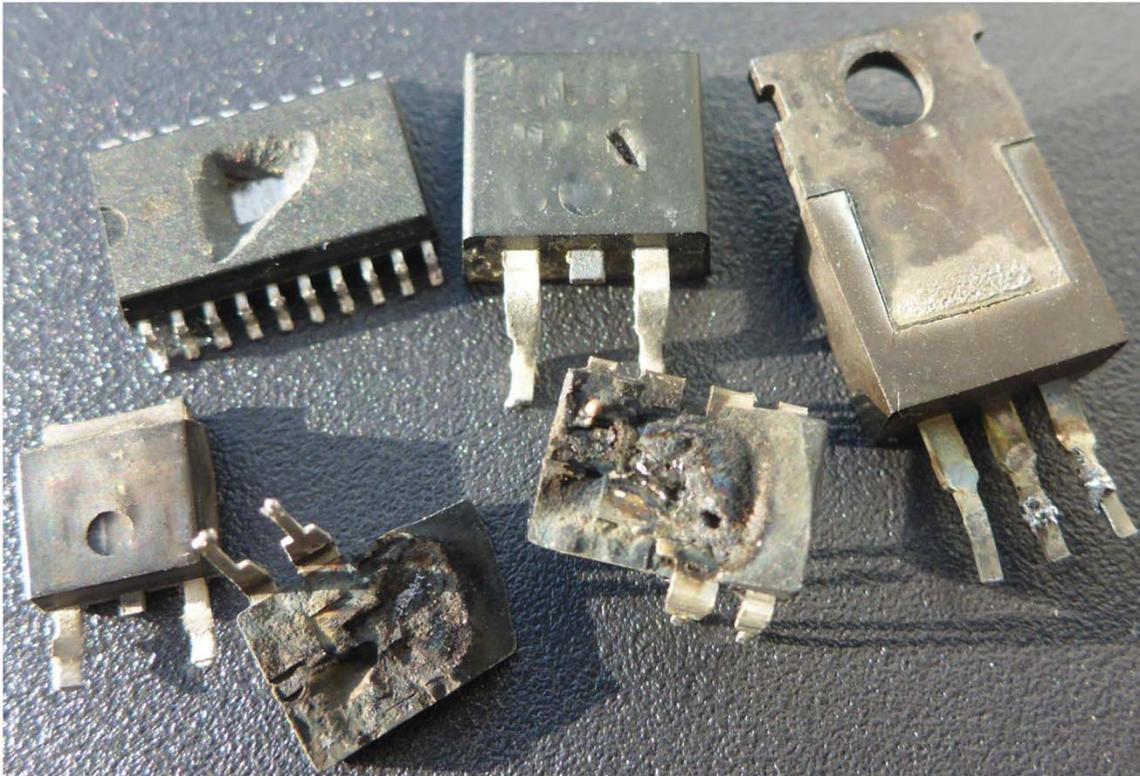
# COTS Bauteile für robotische Systeme

## Herausforderung COTS Bauelemente – Risiko Management

- Das Risikomanagement beinhaltet den kompletten Prozess beginnend mit der Bauteil-Selektion, elektrischen- und Umwelttests, Gehäuse-Screening bis hin zum Systemdesign und der Missionsplanung.
- FMEA / FMECA hilft beim Risikomanagement.
- Trotz aller Tests kann es nicht garantiert werden, dass die Bauteile am Ende die gleiche Qualität aufweisen, wie „Space Grade“ – Bauteile (Achtung: AEC-Qxxx ist kein fester Standard, der firmenunabhängig verglichen werden kann).
- Z.B. hat die NASA im Jahr 2016 Informationen bereitgestellt, dass ein Hersteller bei Chip-Kondensatoren in unterschiedlichen Losen unterschiedliche Gehäuse (flexibel / starr) verwendet hat, ohne die Kunden darüber zu informieren.



## COTS Bauteile für robotische Systeme Herausforderung COTS Bauelemente – Risiko Management



Ernst-Abbe-Hochschule Jena

- Wie bereits für ROKVISS erwähnt, kann es sinnvoll oder nötig sein, adaptive Latch-Up Schutzschaltungen zu verwenden.
- U.U. muss trotz aller Tests ein strahlungstoleranter Systemsupervisor verwendet werden, um COTS Bauteile neu zu starten (SEFI).
- All diese Maßnahmen helfen, allerdings verringern sie auch den Platzvorteil.
- **WICHTIG:** Elektronik arbeitet üblicherweise mit Rauch – wenn er entweicht, dann ist das betroffene Bauteil kaputt.



# COTS Bauteile für robotische Systeme

## Übersicht der am HZB durchgeführten Tests

- Systeme im Einsatz:
  - ROKVISS (Test der Latch-Up Schutzschaltung)
  - KONTUR-2 (Flash-Speicher (SD-Karte) für Force-Feedback-Joystick)
  - MASCOT (Antriebselektronik, Motorkommutierung, Sensorik)
  - MMX (Antriebselektronik und Sensorik)
- Missionsvorbereitende Tests:
  - Capture-Tool (Optik und Elektronik vom Laser-Abstandssensor)
  - Spacehand (Antriebselektronik und Sensorik)
  - DEOS (Grundlagen, Motorkommutierung, Sensorik, interner Datenbus)
  - CAESAR (interner Datenbus)
  - TINA (Antriebselektronik)

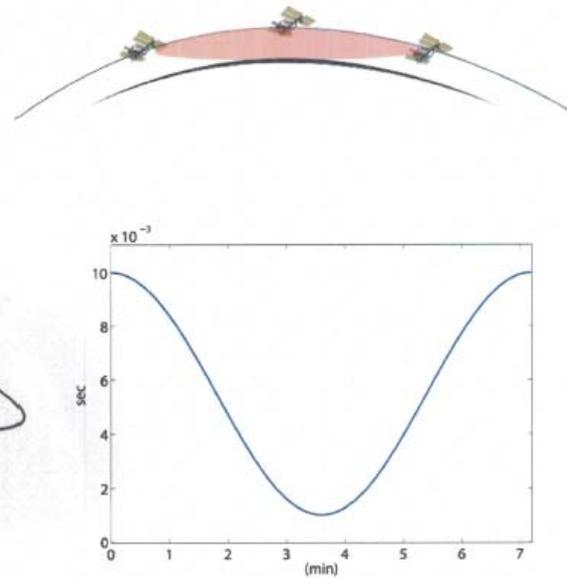
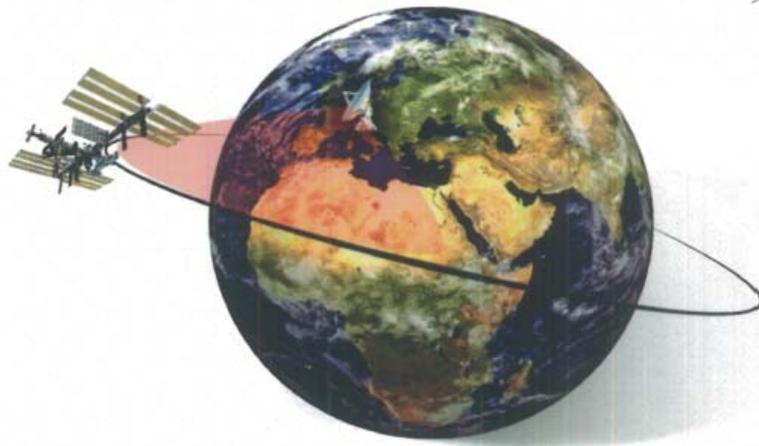


# Gliederung

- ROKVISS – Start der Kooperation
- COTS Bauteile für robotische Antriebe
- **Missionen und durchgeführte Tests**
- Strahlentestaufbauten
- Zusammenfassung



## Kontur – 2 Die Mission

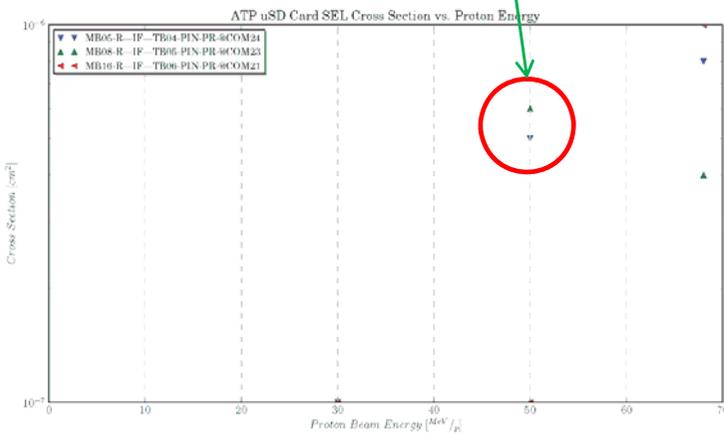
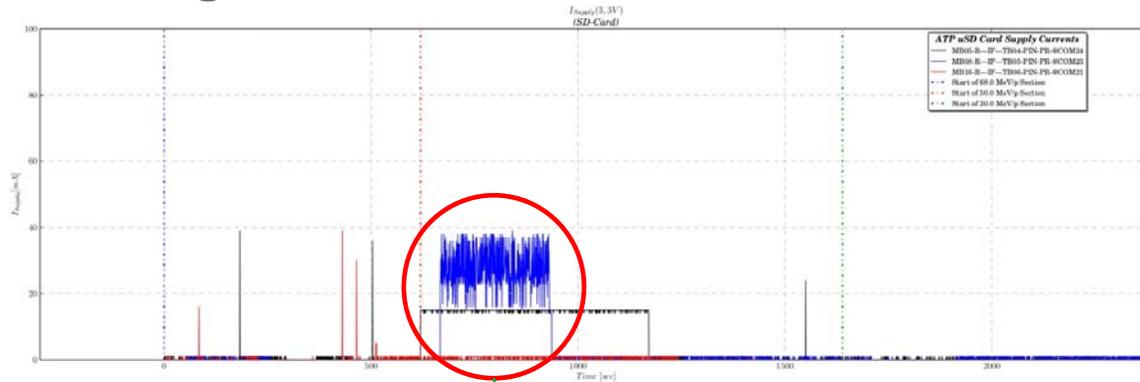


- Entwicklung eines Force-Feedback-Joysticks für die ISS
- Fernsteuerung von Justin's Arm von der ISS aus
- Tele-Handshake mit Menschen
- Telepräsenz Experiment mit einem Ball (ISS – St. Petersburg – Oberpfaffenhofen)



# Kontur – 2

## Durchgeführte Tests



Micro SD Card

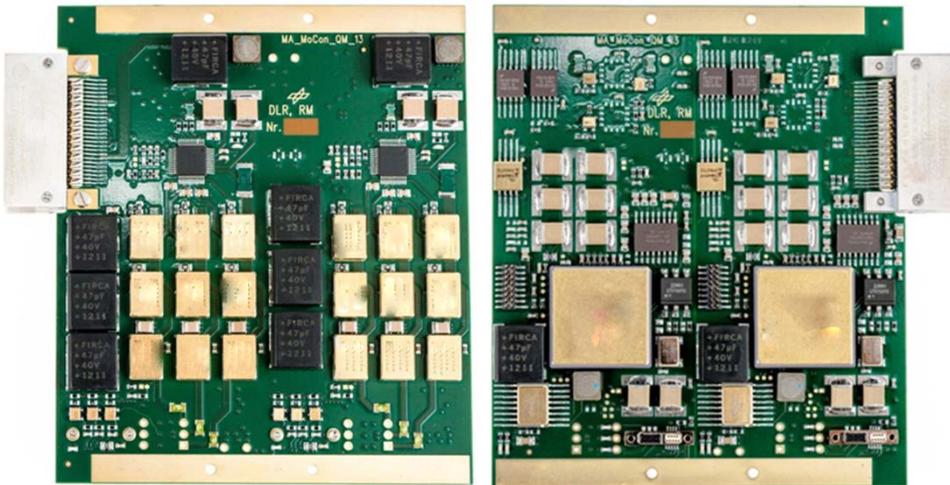
$$\Phi_{Test} = 1,7 * 10^{10} \frac{\text{Protonen}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{test} = 2,0 * 10^7 \frac{\text{Protonen}}{\text{cm}^2\text{s}}$$

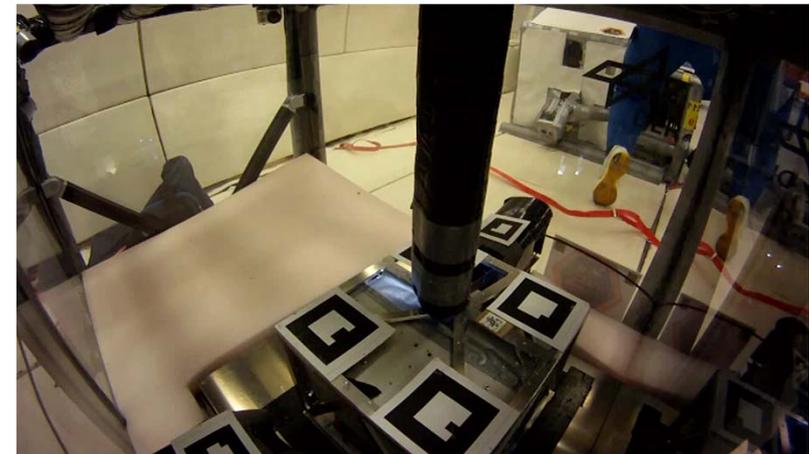
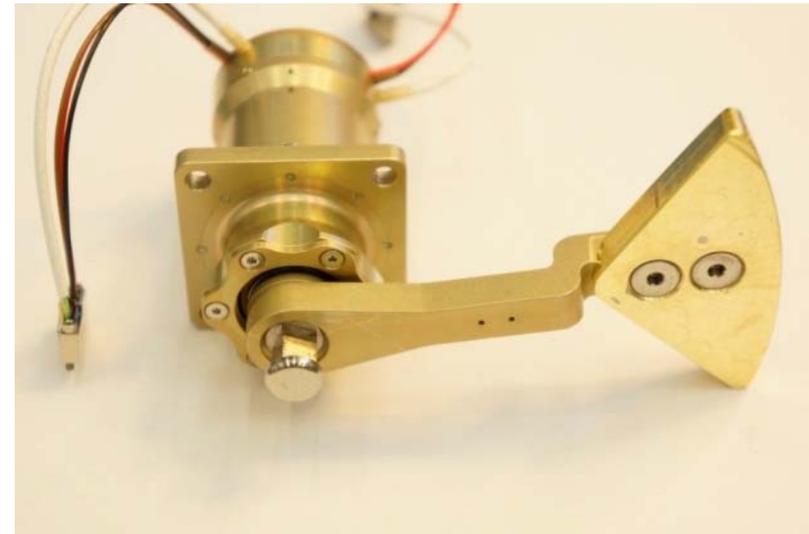
$$E_{Proton} = [68, 50, 30] \frac{\text{MeV}}{\text{Proton}}$$



## MASCOT - Mobility Die Mission



- 10 kg Lander (30 x 30 x 20 cm, DLR und CNES)
- Teil der Hayabusa Sample Return Mission (JAXA)
- Asteroid Ryugu (1999JU3)
- Start im Dezember 2014, Ankunft Juni 2018, Missionsbetrieb 03. Oktober 2018
- Mehrere wissenschaftliche Experimente an Bord
- Neuartiger Antrieb zum Hüpfen und Aufrichten bedingt durch geringe Gravitation ( $\sim 17 \cdot 10^{-6}$  g)



# MASCOT - Mobility

## Der Ablauf der Mission - Rekonstruktion

- 03:57 Abwurf von MASCOT aus 41 Metern über Ryugu
- 04:03 Erster Bodenkontakt
- 04:18 Erste Ruheposition von MASCOT, erste Messungen finden statt.
- 09:18 MASCOT wird durch manuelles Kommando aufgerichtet.
- 10:27 Zweite Ruheposition von MASCOT, alle Experimente laufen planmäßig
- 18:30 MASCOT führt erfolgreich einen manuell kommandierten „Mini-Move“ aus, weitere Messungen erfolgen.
- 20:05 MASCOT wechselt nochmals den Ort, weitere Messungen erfolgen, „End-Of-Life“ – Phase beginnt.
- 21:04 Kontakt mit MASCOT bricht durch Funkschatten und einbrechender Nacht auf Ryugu nach 17 Stunden und 7 Minuten ab.

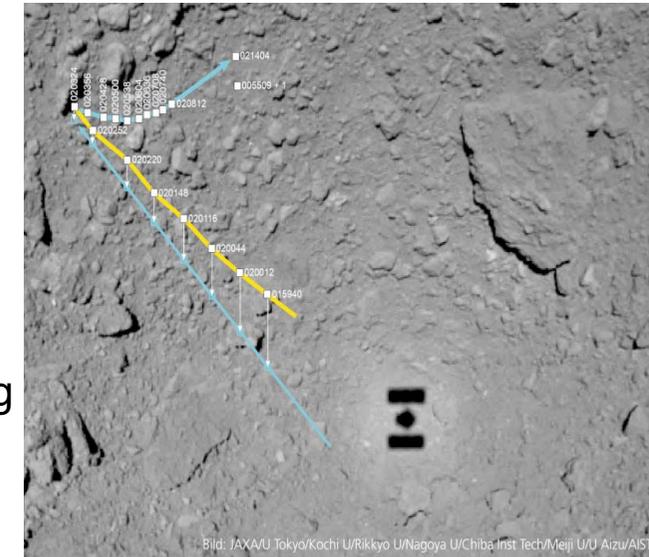
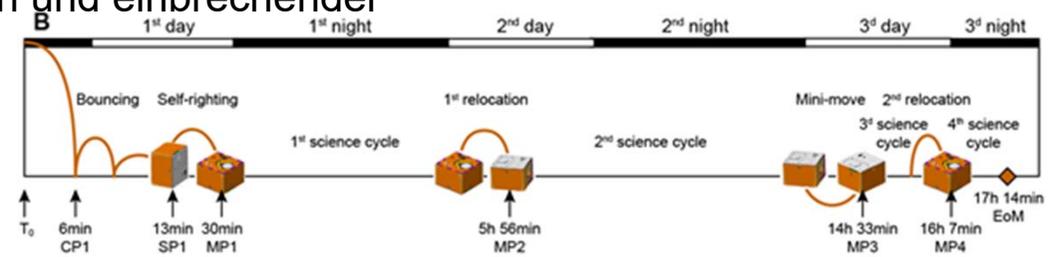


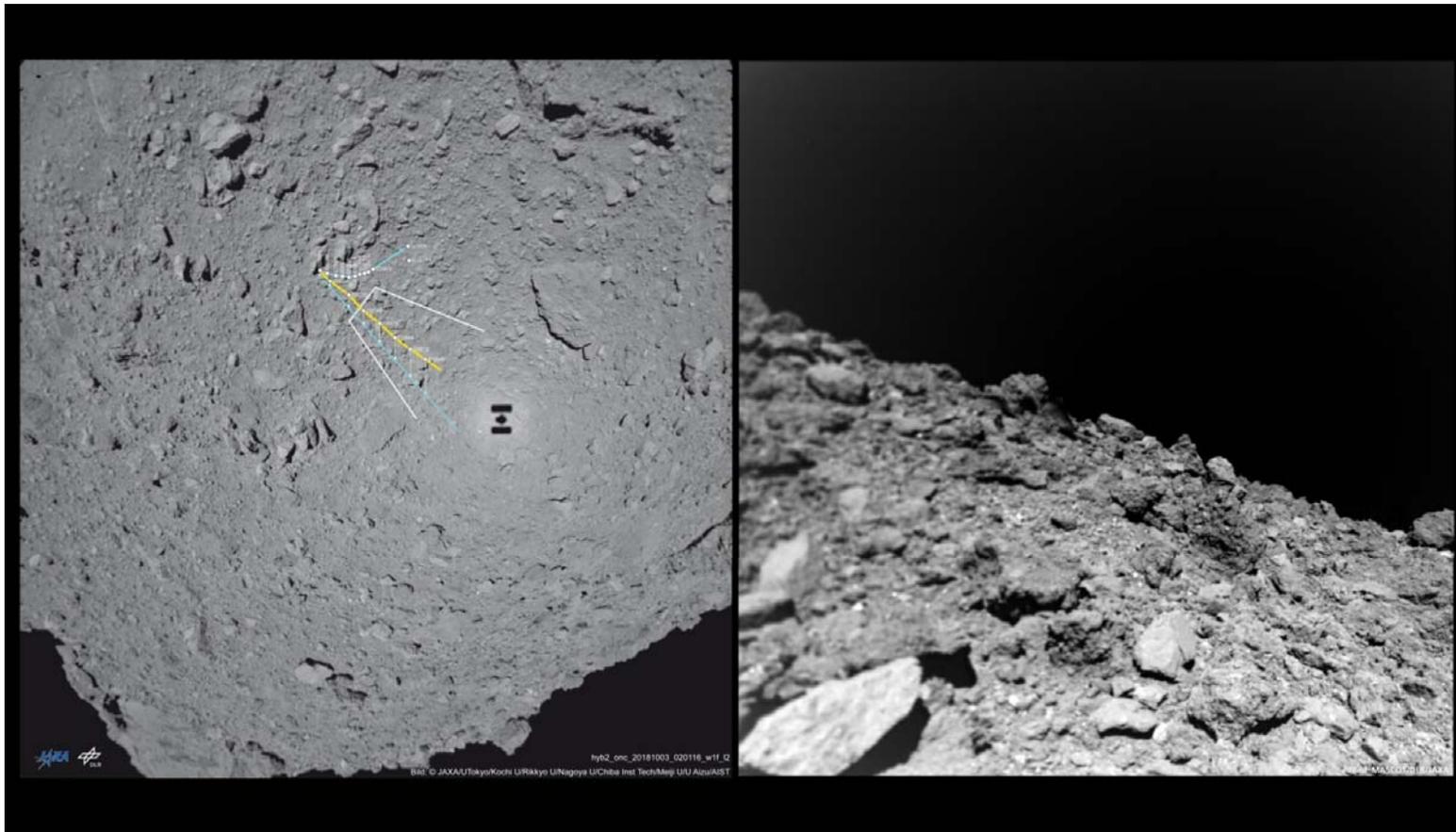
Bild: JAXA

Bild: DLR

Zeitangaben: MESZ



## MASCOT - Mobility Bilder von der Mission – Abstieg



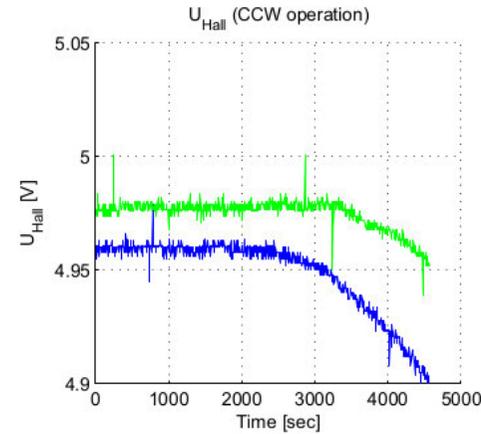
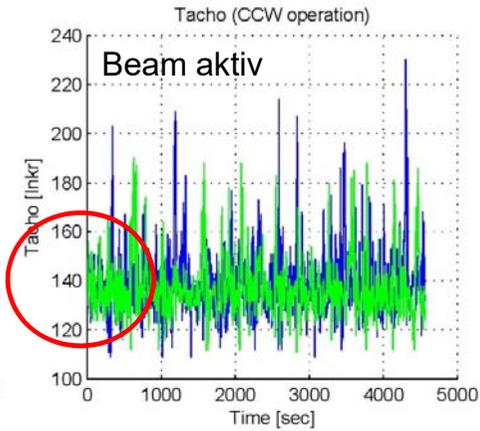
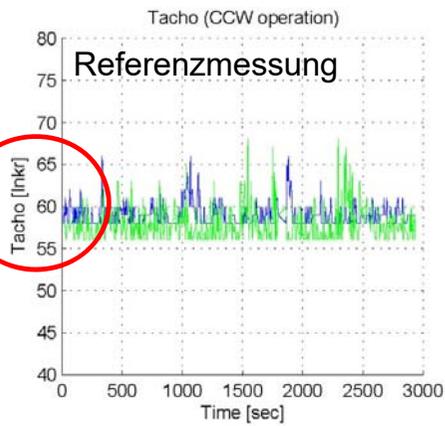
Diese Aufnahme der MASCAM zeigt den Asteroiden mit einem rückwärts gerichteten Blick.

In der Übersichtsaufnahme der ONC (Optical Navigation Camera) von Hayabusa 2 (links) ist das von MASCAM erfasste Gebiet eingezeichnet.

Bild: JAXA, DLR



# MASCOT – Mobility Durchgeführte Tests

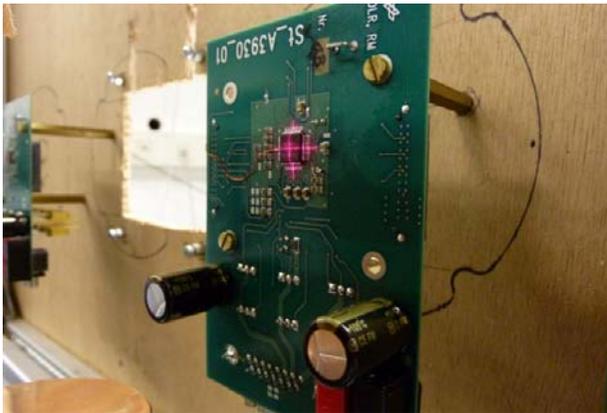


Motor- und Brückentreiber

$$\Phi_{Test} = 1,7 * 10^{10} \frac{\text{Protonen}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{test} = 2,0 * 10^7 \frac{\text{Protonen}}{\text{cm}^2\text{s}}$$

$$E_{Proton} = [68, 60, 50, 40, 30] \frac{\text{MeV}}{\text{Proton}}$$



# MMX (Martian Moons eXploration) - Locomotion

## Die Mission

- 25 kg Rover (41 x 37 x 30 cm, DLR & CNES)
- Sample Return Mission (JAXA)
- Mehrere wissenschaftliche Experimente an Bord
- Ziel ist der Marsmond Phobos
- Start ist für 2024 geplant

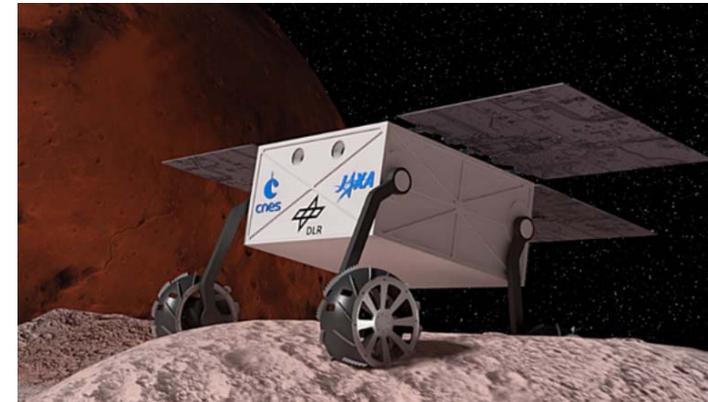
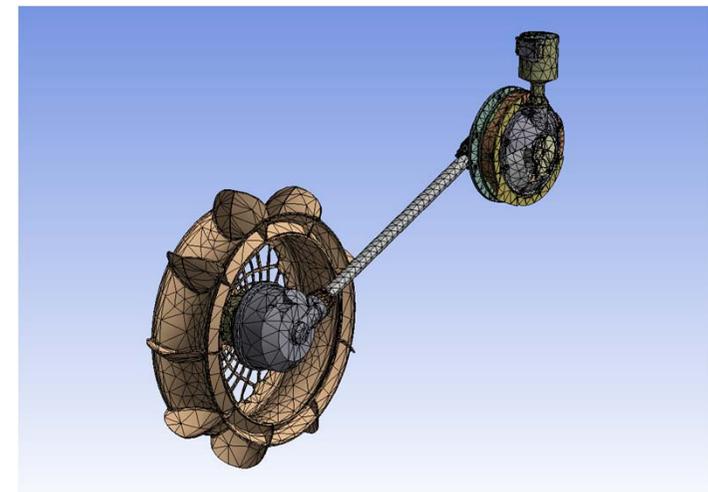
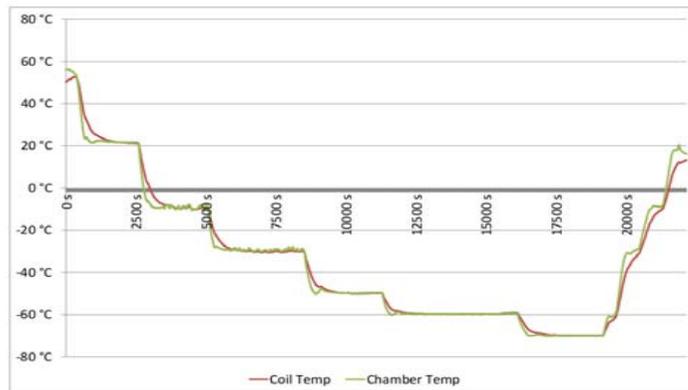
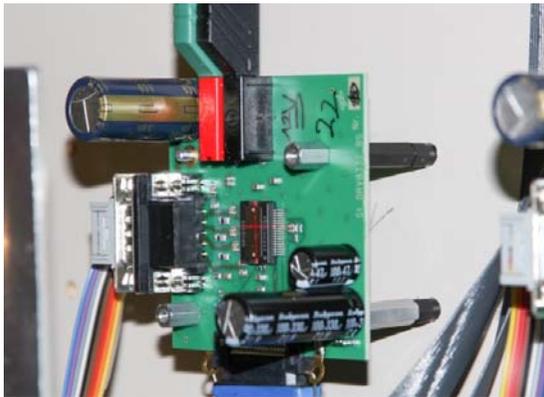
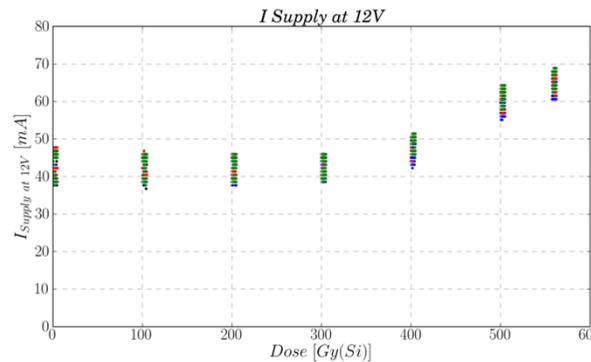
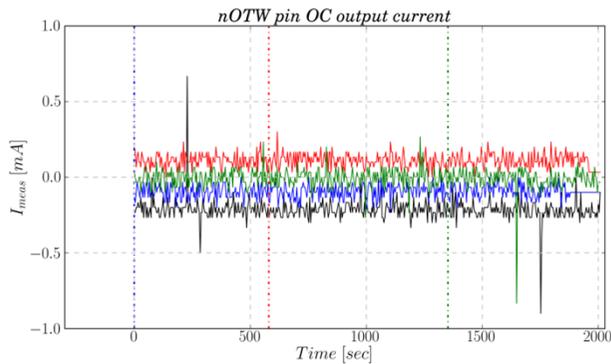


Bild: CNES



# MMX (Martian Moons eXploration) - Locomotion Durchgeführte Tests



Motor- und Brückentreiber

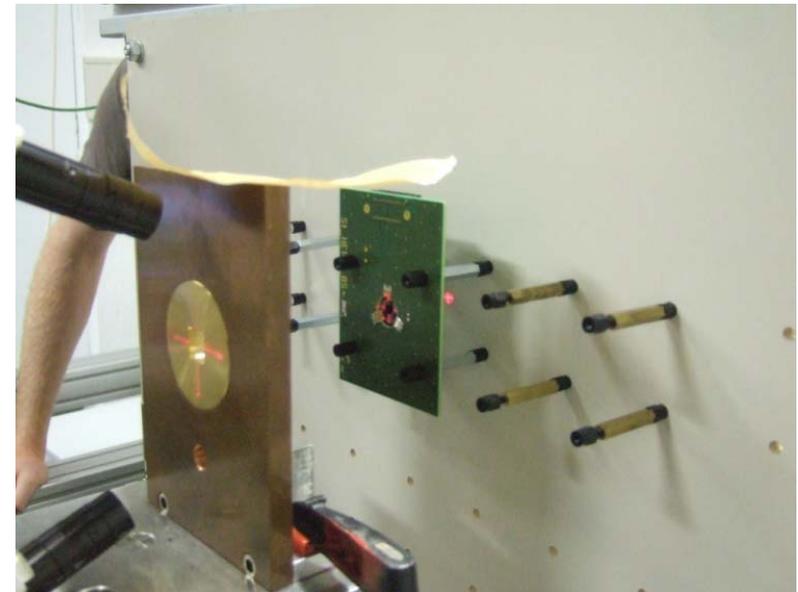
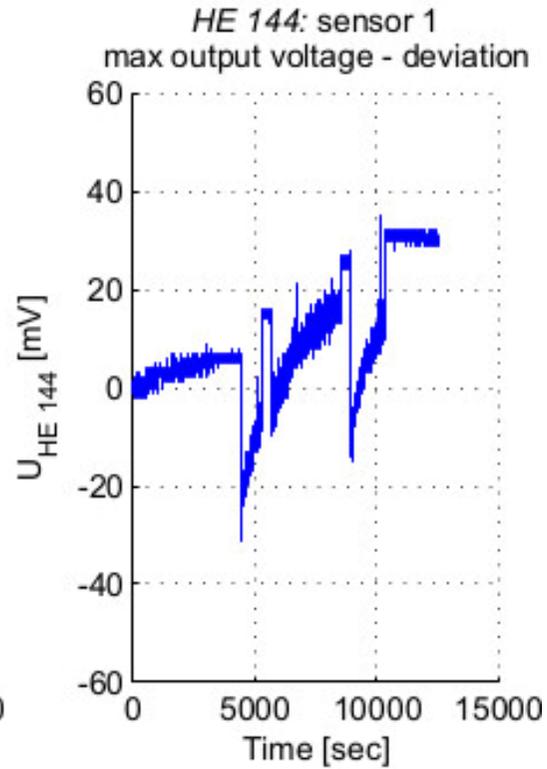
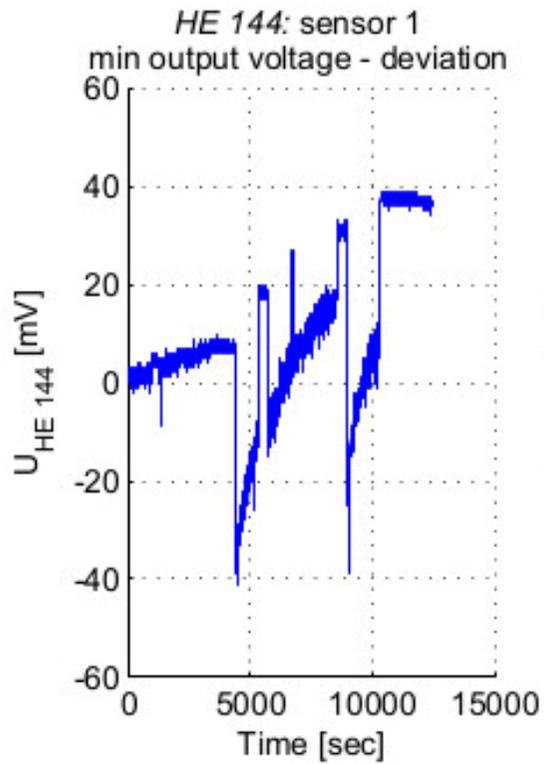
$$\Phi_{Test} = 1,7 * 10^{10} \frac{\text{Protonen}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{test} = 2,0 * 10^7 \frac{\text{Protonen}}{\text{cm}^2\text{s}}$$

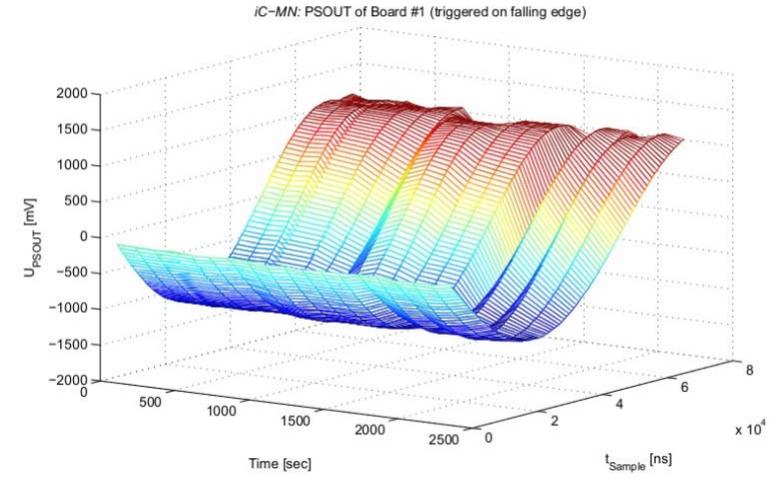
$$E_{Proton} = [68, 50, 30] \frac{\text{MeV}}{\text{Proton}}$$



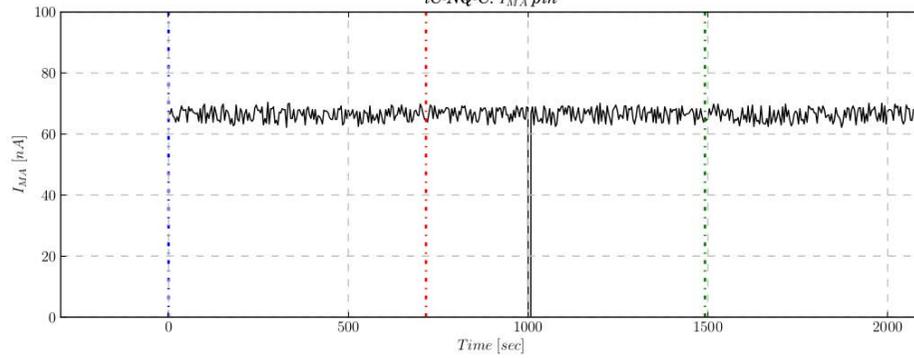
## Vorbereitende Tests – analoge Hallsensoren



# Vorbereitende Tests – Interpolatoren für Positionssensoren



iC-NQ-C: I<sub>MA</sub> pin



# Gliederung

- ROKVISS – Start der Kooperation
- COTS Bauteile für robotische Antriebe
- Missionen und durchgeführte Tests
- **Strahlentestaufbauten**
- Zusammenfassung



# Strahlentestaufbauten

g für

um Forschende unterstützen.

ins Auge zu fassen, rät Scher-  
nehre Jahre als Postdoc im  
bevor er sich für den Wechsel  
management entschieden hat.  
Kontakte zu Alumni aufbauen,  
s über Erfahrungen beispiels-  
sei in die Wirtschaft sprechen  
en Beruf außerhalb der For-  
ch zusätzliche Qualifikationen  
1. Je klarer das Berufsziel ist,  
nen wir Postdocs mit Qualifi-  
n unterstützen«, so Scherfer.  
atungsangebote entlasten wir  
Kräfte.»

er Arbeitsgruppe »Strategi-  
wicklung« angesiedelt. Jennifer  
iterin der Arbeitsgruppe, hat  
s Büros erfolgreich Gelder bei  
neinschaft eingeworben. »Die  
Postdocs bei der Karrierepla-  
be, die die Helmholtz-Gemein-  
vortreiben will. An einigen  
bereits solche Angebote, von  
können. Ich freue mich, dass  
Career Office nun auch eine  
le für diese Anliegen am Helm-  
lin gibt.«

• VON SILVIA ZERBE



Zu Gast am HZB  
HANS-JÜRGEN  
SEDLMAYR  
AUS DEM DLR

Etwa zweimal im Jahr fragt Hans-Jürgen Sedlmayr bei Andrea Denker aus der Abteilung Protonentherapie an, wann es denn passt. Wenn der Protonenbeschleuniger nicht für die Augentumortherapie benötigt wird, kann er sich für die Weltraumforschung nützlich machen. In der gleichen Abteilung steht auch noch eine Kobaltquelle, die Gammastrahlung erzeugt. Wenn Sedlmayr dann mit seinem großen Metallkoffer voll »Prüflinge« anreist, findet er am Campus Wannsee alles, was er braucht. Sedlmayr kommt aus dem DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen. Die Prüflinge sind elektronische Bausteine für Weltraum-Sonden oder Satelliten. Sedlmayr und seine Kollegen überprüfen im Vorfeld, ob und wie lange die Elektronik »strahlenfest« bleibt.

welt-

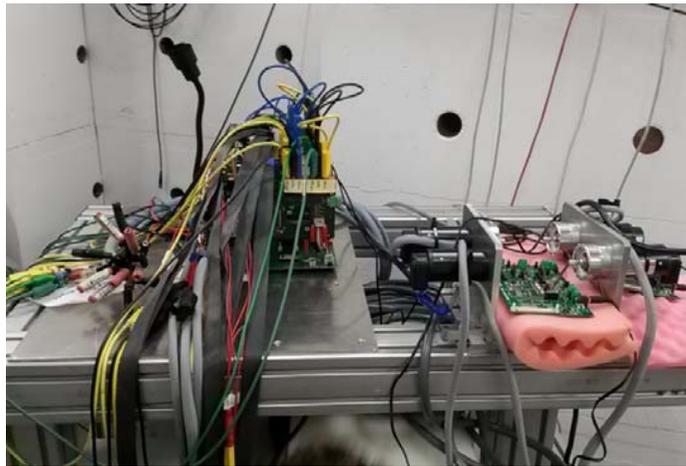


Lichtblick 38 / März 2019

- „Test as you fly and fly as you have tested“ – Paradigma erfordert spezielle Aufbauten für Strahlentests.
- Durch jahrelange Kooperation wurden optimierte Lösungen erarbeitet, die immer wieder verwendet werden können:
  - Radiation Test Motherboard (RTM): Ein universelles Prozessorboard, das Prüflinge mit Spannung versorgt, überwacht und stimuliert. Adaption erfolgt über eine Huckepackplatine – das sogenannte Interfaceboard. Der Formfaktor erlaubt Einsatz im Cave und in der Co60-Kammer hinter Bleiabschirmung. Eine GUI zur Steuerung des RTMs ist ebenfalls vorhanden.
  - Netzteil mit Fernsteuerung (3 \* 7 Spannungen) und Spannungsüberwachung mittels Sense-Leitung. Zusätzlich kann eine weitere externe Spannungsquelle überwacht werden.
  - Probenschlitten – Änderung der Dosisrate über Fernsteuerung.



# Strahlentestaufbauten



# Gliederung

- ROKVISS – Start der Kooperation
- COTS Bauteile für robotische Antriebe
- Missionen und durchgeführte Tests
- Strahlentestaufbauten
- **Zusammenfassung**



## Zusammenfassung

- Drei Missionen mit COTS-Bauteilen erfolgreich geflogen. Wichtig dabei ist, dass der Einsatz von COTS Bauteilen nur durch ausgiebiges, an die Mission angepasstes Testen sinnvoll möglich ist.
- Zahlreiche Bauteile am HZB getestet – Einfluss auf das Elektronikdesign bei DLR-RM.
- Danke für die sehr gute Kooperation.



© www.ClipartsFree.de



## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

- Haben Sie noch Fragen?



	Dipl.-Ing. (FH)	German
	<b>Hans-Jürgen Sedlmayr</b>	Aerospace Center
Mechatronic Components and Systems	Institute of	Robotics and Mechatronics
	82234 Weßling	Germany
	Telephone	+49 8153 28-3532
	Telefax	+49 8153 28-1134
	E-mail	<a href="mailto:hans-juergen.sedlmayr@dlr.de">hans-juergen.sedlmayr@dlr.de</a>
	Internet	<a href="http://www.DLR.de">www.DLR.de</a>

