



Neue Chancen durch Picosatelliten

Prof. Dr.-Ing. Klaus Briess

Technische Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt
Fachgebiet Raumfahrttechnik, Marchstraße 12/14, 10587 Berlin
Tel. 030-314-21339, e-mail: klaus.briess@ilr.tu-berlin.de

**Kleinsatellitenworkshop
ILA Konferenzzentrum 17.05.2006**

Herausforderungen für die Raumfahrttechnologie

OECD veröffentlicht Report zur Raumfahrtpolitik "Space 2030: Tackling Society's Challenges" [CORDIS-News vom 23.06.2005]

Die **5 wesentlichen Herausforderungen**, die die Raumfahrt-technologie angehen muss, sind darin genannt:

- Umweltprobleme (inklusive Naturkatastrophen)
- die Nutzung natürlicher Ressourcen
- die zunehmende Mobilität von Gütern und Menschen
- die zunehmenden Sicherheitsbedrohungen
- die Entwicklung der Informationsgesellschaft.

Untersuchung von **Frost & Sullivan (2001)**:

- Der weltweite Kleinsatellitenmarkt im Bereich Fernerkundung liegt bei 770 Millionen US-\$ im Jahr 2007 bei einem jährlichen Wachstum von 18 Prozent

Satellitenklassen

Satellitenklasse	Masse
Konventionelle Sat.	> 500 kg
Minisatellit	100-500 kg
Mikrosatellit	10-100 kg
Nanosatellit	1- 10 kg
Picosatellit	0,1- 1 kg



CUBESAT im Größenvergleich

CUBESAT = Standardisierter Picosatellit in Würfelform mit 10cm Kantenlänge und 1kg Gesamtmasse

Neue Satellitenklasse: Picosatelliten



(a)

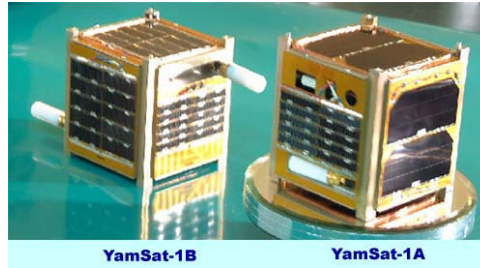


(b)

MEPSI (MEMS-based PICOSAT Inspector) -

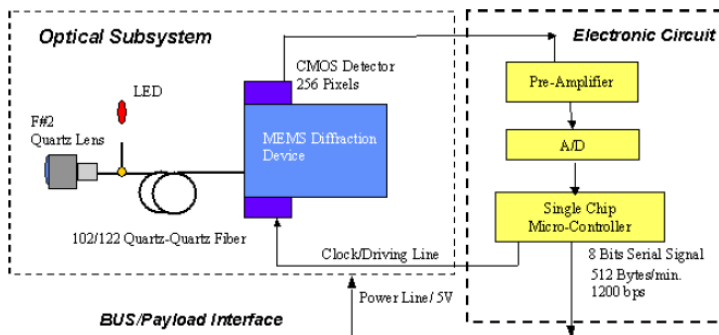
- Start aus der Ladebuch des Space Shuttles (STS-113) 2002
- MEPSI-Satelliten [Geo03]
 - Konzept der Inspektion mit Picosatelliten wird ausgebaut bis hin zu Reparaturaufgaben an größeren Satelliten

Messung von atmosphärischem Streulicht mit Picosatelliten



- YamSat - taiwanesischer Picosatellit vom National Space Program Office (NSPO) [Fon02]
- Der CubeSat wird ein MEMS Mikrospektrometer an Bord haben. Das Mikrospektrometer soll einen bis maximal zwei Monate aktiv im Orbit die Streuung des Sonnenlichts in der Erdatmosphäre messen.

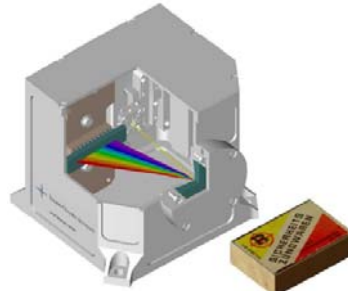
YamSat-Nutzlast: Mikrospektrometer



- Wellenlängenbereich: 380–780 nm
- Auflösungsvermögen: 12 nm
- Sensor: CMOS, 256 Pixel
- Datenrate von ca. 8,5 byte/s
- Abmaße der Grundplatte: 8cm x 8cm
- Spaltelement: 30 cm langes Glasfaserkabel
- LED zur Kalibrierung

Hochtechnologie aus Deutschland: UV-VIS-Mini-Hadamard-Spektrometer (HTS)

- patentierte Entwicklung des Instituts für Physikalische Hochtechnologie in Jena, von Daimler-Chrysler Aerospace, der Jena-Optronik GmbH und vom IMM Mainz [Wut02]
- **geeignet und qualifiziert für den Weltraumeinsatz**



Aufbau:

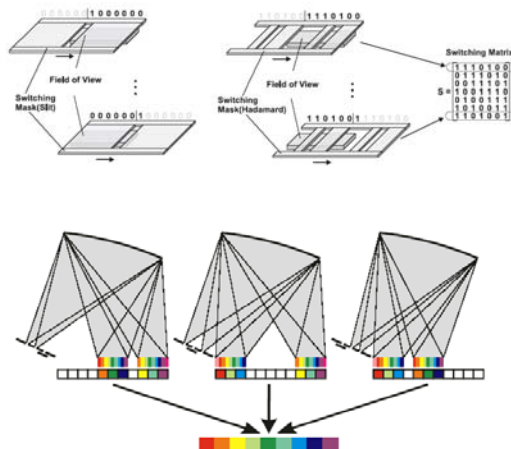
Diodenarray-Spektrometer mit

- Detektorzeile
- abbildendes Gitter
- Eingangsspalt

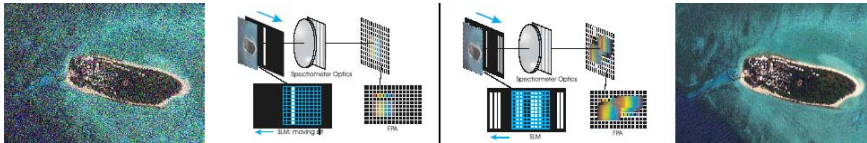
UV-VIS-Mini-Hadamard-Spektrometer (HTS)

Funktionsprinzip:

- das zu messende Licht fällt durch ein programmierbares Si-Mikrospalt-Array, wird räumlich moduliert und in n Summenspektren zerlegt
- dadurch Erreichung eines höheren Signal-Rausch-Verhältnisses

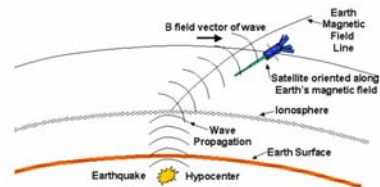
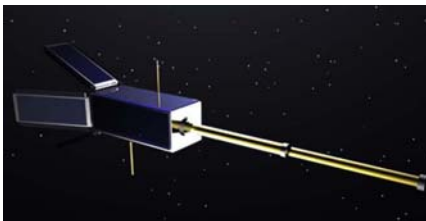


UV-VIS-Mini-Hadamard-Spektrometer (HTS)



Leistungsfähigkeit des Mikrospektrometers im Vergleich [Wut02]

Neue Anwendungen: Erdbebenvorhersage aus dem Weltraum



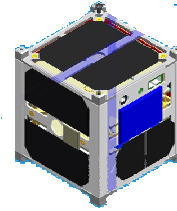
Quake Mission, 2003 gestartet, 630km SSO, erfolgreich, Nachfolge in Planung
Nutzlast: Magnetometer an 70cm langen Boom [Lon02]

- **Missionsziel:** einen wissenschaftlich gesicherten Zusammenhang zwischen ELF-Signalen (Extreme Low Frequency, 140 bis 450 Hz) und Erdbeben für eine satellitengestützte Erdbebenvorhersage zu finden
- Machbarkeit ist unter Fachleuten noch umstritten!
- Picosatelliten bieten die geeignete Experimentplattform

Einige konkrete Arbeiten an TU Berlin

- Studien zu Picosatellitenmissionen (TUB-CUBESAT, SPOC - Space Weather Observation Constellation, PROTHEUS zur Erdfernerkundung)
- Untersuchung zum Einsatz von Mikrosystemtechnik in der Raumfahrt
 - abgeschlossen: gemeinsam mit der Universität Freiburg (DLR-Förderung)
 - in Planung: gemeinsam mit OHB System und Univ. Freiburg (ESA-Förderung)

CUBESAT-Entwurf zur Beobachtung von Weltraumwetter (SPOC)



Testaufbau zum Moon-Tracking-Mode

Komponenten und Systemtechnologien für Picosatelliten

In Planung:

- Mikro-Sternkamera (mit FhG)
- Energiegewinnung und -speicherung (FH Aachen)
- in Untersuchung: Micro-IMUs

In Entwicklung:

- S-Band-Funktransceiver (mit IQ wireless, Berlin)
- Bordcomputer (mit FhG FIRST)
- Lageregelung: integriertes Magnetspulensystem (TU Berlin)
- Antriebssystem (Aerospace Institute, Berlin, TNO, Den Haag)

In Bau und Qualifikation:

- Mikro-Reaktionsräder zur präzisen Lageregelung um drei Achsen (mit AstroFein GmbH, Magson)
- Mikro-Sonnensensoren und Magnetometer (TU Berlin) – am 5. April 2006 auf Forschungsrakete in ballistischen Flug getestet (100km Höhe)



Entwicklungsmodell eines Picosatellitenantriebs auf Basis eines Cool Gas Generators (TNO und TU Berlin)

Projekt Microwheel II (FKZ 50JR0452)

Ziel: Verifikation der Microwheels für Picosatelliten im Orbit

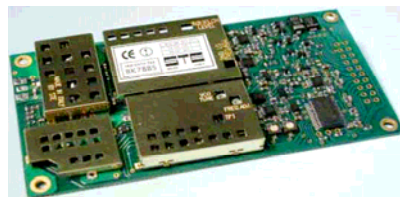
- Ausgangspunkt: bisher weltweit noch keine Reaktionsräder auf Picosatelliten geflogen
- Ziel: Nachweis der Funktion unter Weltraumbedingungen
- Gemeinsames Projekt mit Berliner KMUs



Reaktionsrad für Picosatelliten im Größenvergleich

Projekt Hochintegrierte S-Band-Kommunikation für Picosatelliten

- Ziel: Entwicklung und Weltraumqualifikation eines hochintegrierten S-Band-Senders für Picosatelliten und Untersuchung geeigneter Kanalkodierverfahren
- Ausgangspunkt: bisher Nutzung von VHF/UHF für Picosatelliten, da weltweit noch keine geeigneten S-Band-Sender für Picosatelliten verfügbar
- Gemeinsames Projekt mit der Berliner KMU „IQwireless“
- Projektförderung durch das DLR



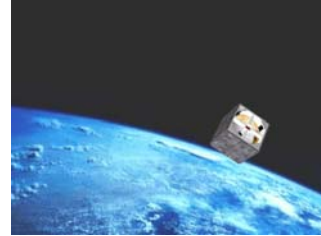
UHF-Transceiver der TU Berlin in Vorbereitung auf die Weltraum-Qualifizierung

Nutzlast-Technologien: das Dobson Space Telescope der TU Berlin

- Entfaltbares Weltraumteleskop für Mikro- und Picosatelliten
- Applikationsfelder: Erdbeobachtung und Extraterrestrisk
- Projekt der TU Berlin mit Unterstützung durch KMU's und ESA
- Brennweite:
ca. 3m (Mikrosatellit)
ca. 0,8m (Picosatellit)
- Pushbroom-System mit 1 panchromatischen und 4 multispektralen Kanälen



Kollimationsteststand zum Dobson Space Telescope



Dobson Space Telescope auf einem Mikrosatelliten der TU Berlin

Picosatelliten-Projekt BeeSat der TU Berlin



BeeSat : Berlin's Experimental & Educational Satellite Missionsziele:

- Verifikation der neu entwickelten Reaktionsräder im Orbit
- Verifikation weiterer grundlegender Picosatellitentechnologien
- Ausbildung von Studenten

Start:	2007
Orbithöhe:	450 ... 850 km (LEO)
Missionsdauer:	1 Jahr
Missionsbetrieb:	TU Berlin
Lageregelung:	3-Achsen-stabilisiert
Kommunikation:	UHF (9600 bit/s)
Fehlertoleranz:	Einzelfehler-tolerantes System

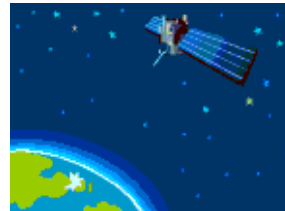


Labor-Modell:
CubeSat der TU Berlin

Applikationsfelder von Picosatelliten (-formationen): Umweltprobleme und Naturkatastrophen

Satellitengestützter Fernerkundung kann Beiträge für das Management von bestimmten lokalen und regionalen Umweltproblemen oder Katastrophen liefern, wie für:

- Fluten,
- Großfeuer,
- Vulkanaktivitäten,
- Zyklone und Stürme,
- El Nino,
- Erdbeben,
- Erdbeben,
- großflächige Ölverschmutzung (Tanker),
- Umweltverschmutzung,
- Industrie- und Kraftwerk-Katastrophen.



Zusammenfassung

- Picosatellitenmissionen werden weltweit derzeit durch ca. 60 Forschungseinrichtungen und Universitäten entwickelt
- Für allen Subsysteme gibt es innovative Lösungsansätze zur deutlichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit
- Die Entwicklung steht international noch am Beginn
- Gute Voraussetzungen in Deutschland, die internationale Entwicklung mitzubestimmen
 - Universität Würzburg: erfolgreicher Start von Uwe-1 in 2005
 - FH Aachen: Start von Compass-1 in naher Zukunft
 - TU Berlin Start von BeeSat in 2007
- Nächste Schritte:
 - eigene Missionen zur in-Orbit-Verifikation neuer Technologien
 - Missionen zum Umwelt-Monitoring
 - Untersuchung des Formationsflugs und des Schwarmverhaltens

Quellenverzeichnis

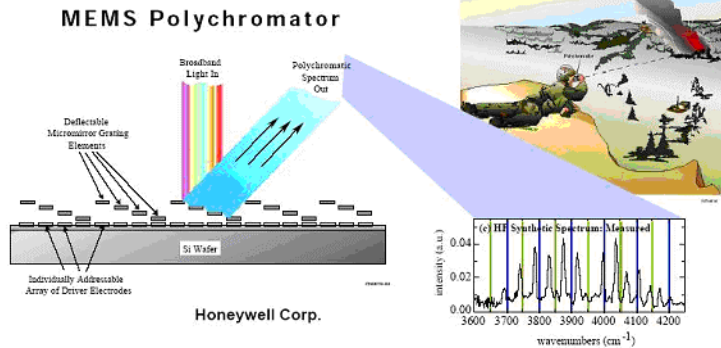
- [Eck04] S. Eckersley, J. Schalk, K. Koppenhagen, O. Coumar, THE EADS MICROPACK DEMONSTRATOR A NOVEL WAY OF PACKAGING MEMS FOR SPACE APPLICATIONS, CANEUS 2004-Conference on Micro-Nano-Technologies, Monterey, California, November 2004.
- [Fon02] C.J. Fong, A. Lin, A. Shie, M. Yeh, W.C. Chiou, M.H. Tsai, P.Y. Ho, C.W. Liu, M.S. Chang, H.P. Pan, S. Tsai, C. Hsiao, C.H. Hwang, K.S. Chang-Liao, L.K. Wang, Lessons Learned of NSPO's Picosatellite Mission: YamSat - 1A, 1B & 1C, 16th Annual/USU Conference on Small Satellites, Logan, Utah, 2002.
- [Geo03] T. George, Overview of MEMS/NEMS Technology Development for Space Applications at NASA/JPL, SPIE, 2003.
- [Hei00] H. Heidt, J. Puig-Suari, Prof., A.S. Moore, Prof., S. Nakasuka, Prof., R.J. Twigg, Prof., CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation, 14TH Annual/USU Conference on Small Satellites, Logan, Utah, 2000.
- [Lon02] M. Long, A. Lorenz, G. Rodgers, E. Tapio, G. Tran, K. Jackson, R. Twigg, A Cubesat Derived Design for a Unique Academic Research Mission in Earthquake Signature Detection, 16th Annual/USU Conference on Small Satellites, Logan, Utah, 2002.
- [Pis03] A.P. Pisano, Ph. D., MEMS 2003 and Beyond A DARPA Vision of the Future of MEMS, <http://www.darpa.mil/MTO/MEMS>, 2003.
- [Sim04] E.J. Simburger, J.H. Matsumoto, T.W. Giants, A. Garcia III, S. Liu, S.P. Rawal, A.R. Perry, C.H. Marshall, J.K. Lin, S.E. Scarborough, H.B. Curtis, T.W. Kerslake, T.T. Peterson, D. Scheiman Engineering Development Model Testing of the PowerSphere, 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Confer, Palm Springs, California, April 2004.
- [Wut02] A. Wuttig, R. Riesenberg, Sensitive Hadamard Transform Imaging Spectrometer with a simple MEMS, Paper, Crete 2002.

Operationelle Erdbeobachtungssysteme

	Wiederholzeit	GSD (VIS und NIR)	Spektrale Auslegung
LANDSAT-7	17 Tage	30 m	VIS, NIR, TIR
SPOT-4	14 Tage	20 m	VIS, NIR
SPOT-5	14 Tage	5 m	VIS, NIR
ENVISAT	17 Tage	30 m	VIS, IR m.s., SAR, hypersp.
Ikonos	12 Tage	1 m	VIS, NIR
RADARSAT	10 Tage	1-5 m	SAR
Rapid Eye	1 Tag	1-5 m	VIS, NIR m.s.

GSD - ground sampling distance
 m.s. - multi-spectral
 VIS - visible
 NIR - near Infra-Red
 IR - Infra-Red
 SAR - Synthetic aperture radar

Perspektive: MEMS-Polychromator in Orbit



- Programmierbares Mikrospektrometer auf Basis von elektrostatisch einstellbaren Mikrogitterelementen

Neue Energie-Konzepte für Picosatelliten - Das PowerSphere-Konzept der NASA

- entfaltbare bzw. aufblasbare Struktur aus einem Material, das durch UV-Lichteinwirkung aushärtet
- beschichtet mit integrierter flexibler Dünnschicht-Solarzellentechnologie und flexiblen Schaltkreisen
- Struktur wird durch drei Hauptelemente charakterisiert und umschließt das Raumfahrzeug vollständig

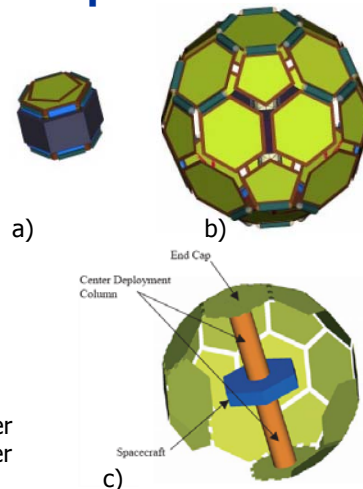


Abb.: Raumfahrzeug vor (a) und nach (b) der Entfaltung der PowerSphere mit Aufbruch der Struktur c)