

ASAP

Schlussbericht

(FKZ: 50 RM 1208)



Autor H. Wojtkowiak O. Balagurin		
Systemingenieur	Datum	Unterschrift
Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Hakan Kayal		
	Datum	Unterschrift

Liste der Abkürzungen

DM	Entwicklungsmodell (Development Modell)
STM	Struktur-Thermal-Model (Structure Thermal Modell)
EQM	Qualifizierungsmodell (Engineering and Qualification Modell)
FM	Flug Model (Flight Modell)

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	5
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	6
4	Technischer Stand	9
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
6	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	10
7	Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	12
7.1	Ziele	12
7.2	Aspekte	12
8	Wichtigste Positionen des Nachweises	13
9	Notwendigkeit/Angemessenheit der geleisteten Arbeit	13
10	Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplans 13	
11	Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	14
12	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	14

1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des Vorhabens ASAP bestand in der Entwicklung, dem Bau und der Qualifikation eines modularen Sensors im optischen Bereich für Nanosatelliten mit eigenständiger Bilddatenverarbeitungsfähigkeit für die autonome Missionsplanung. Mit diesem Kamerasystem können Phänomene und Ereignisse (z.B. Blitze und Meteore) im erdnahen Raum, insbesondere im Bereich des Horizonts detektiert und beobachtet werden können. Zu den hervorstechendsten Merkmalen gehören ihre autonomen Fähigkeiten. Mit Ausnahme der Konfiguration durch den Operator laufen die Prozesse von ASAP vollkommen eigenständig ab. Dazu gehören vor allem die bildverarbeitenden Algorithmen und das nachgeschaltete autonome Planungssystem, mit der die Missionsplanung des Satelliten weitestgehend an Board stattfindet. Die Arbeit umfasste auch den Bau einer optischen Simulationsumgebung, mit der die funktionelle Fähigkeit von ASAP getestet werden konnten.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Missionsplanung eines Satelliten erfolgt beim konventionellen Betrieb primär am Boden und wird durch hoch ausgebildetes Fachpersonal durchgeführt. Die Resultate im Form von Kommandosequenzen werden bei den nächsten Kontaktmöglichkeiten, d.h. die Zeitfenster, bei der der Satellit in Reichweite einer Bodenstation ist, hochgeladen und bei zuvor festgelegten Zeitpunkten ausgeführt.

Es gab im Wesentlichen zwei Gründe, die ausschlaggebend für die Entwicklung von ASAP waren:

1. Die Kosten des Personals am Betrieb eines Satelliten stellen einen wesentlichen Faktor an den Gesamtausgaben einer Satellitenmission dar. Die autonomen Fähigkeiten von ASAP könnten ein Mittel darstellen, Aspekte der Missionsplanung auf den Satelliten zu verlagern, und dadurch Personal und Kosten einzusparen.
2. Die konventionellen Planungsabläufe bedingen auf Grund der Funkstrecke und der Kontaktfenster zwischen Satellit und Bodenstation Verzögerungszeiten bei der Kommandierung des Satelliten. Dadurch ist es nahezu unmöglich um auf zeitlich sehr schnelle und nicht-deterministische Ereignisse (z.B. Blitze, Meteore) zu reagieren. Die autonomen Fähigkeiten von ASAP hingegen können den Satelliten in die Lage versetzen diese Restriktionen zu umgehen, da die Kommandierung nun autonom an Board erfolgen würde.

5. 05.05.2014
 4. Finanzielle Umwidmung
 1. Kostenneutrale Verlängerung um 2 Monate bis zum 31.07.2014
6. 17.07.2014
 2. Zuwendung
Angepasster Zeitplan vom 1.3.2012 bis zum 31.12.2015
7. 08.10.2015
 5. Finanzielle Umwidmung
 2. Kostenneutrale Verlängerung um 12 Monate bis zum 31.12.2016

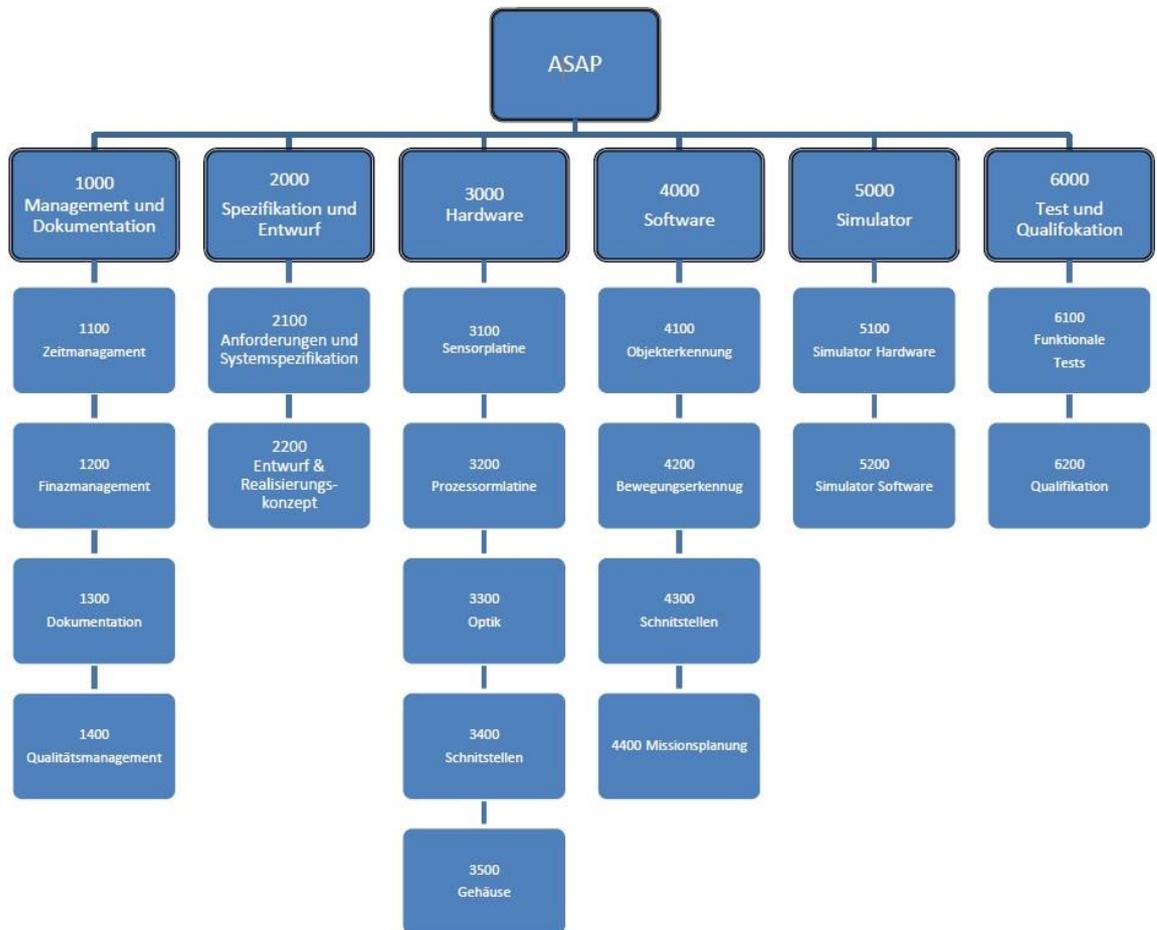


Abbildung 3-1: Arbeitspakete

4 Technischer Stand

Vor bzw. zu Beginn der Arbeit wurde eine Analyse bereits existierender Systeme, mit denen sich die an ASAP gestellten Aufgaben bewältigen ließen, durchgeführt. Auf Grund der Aufgabenstellungen wurde zum einem nach optischen Kamerasystemen und zum anderen nach autonomen Planungssystemen gesucht. Hierbei wurde der Stand der Technik und der Forschung gesichtet.

Kamera:

Die Untersuchung hat ergeben, dass keine Kameras auf dem freien Markt oder von Forschungsinstituten angeboten wurden, die für die Bewältigung der an ASAP gestellten Aufgaben geeignet wären. Der Grund liegt darin, dass diese, z.B. Beobachtung des Horizonts im Weltall, sehr speziell sind.

Autonomes Planungssystem:

Bei der Recherche wurden mehrere Planungssysteme identifiziert. Bei den meisten handelt es sich um Forschungsprojekte die (als Beiprodukt) individuell für spezielle Satellitenmissionen entworfen wurden. Anpassungen an andere Missionen (z.B. mit ASAP) sind mit erheblichem Aufwand verbunden, und in der Regel daher nicht praktikabel.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die elektronischen Leiterplatten für die Kamera wurden zwar eigenständig entwickelt (Design & Layout), aber anschließend von der Firma Andus Electronics, mit Sitz in Berlin, hergestellt und von der Firma SMD Lötservice mit Sitz in Berlin bestückt. Für die Beschichtung des Gehäuses wurde die Firma AHC Oberflächentechnik GmbH mit Sitz in Berlin beauftragt.

Mit ASAP wurden des Weiteren verschiedene Qualifikationstests durchgeführt:

- Bestrahlung: Helmholtzzentrum in Berlin
- Mechanische Vibration und Schock: Astro- und Feinwerktechnik GmbH in Berlin

Alle anderen Forschungs-, Entwicklungs-, und Fertigungsarbeiten an ASAP wurden komplett an der Universität Würzburg eigenständig durchgeführt.

6 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Kamera für den Einsatz in Nanosatelliten entwickelt und gefertigt. Insgesamt wurden 5 Modelle hergestellt:

Integrierte Modelle:

- 2 Entwicklungsmodelle (DM)
- 1 Struktur-Thermal-Model (STM)
- 1 Qualifizierungsmodell (EQM)

Sowohl das STM als auch das EQM mussten sich mehreren Qualifizierungstests (Vakuum-/Temperaturtests, Vibrationstests, Schocktests und Strahlungstests) unterziehen. Die Tests wurden alle erfolgreich bestanden.

Nicht-integrierte Modelle

- 1 Flugmodell (FM)

Um die Ausfallwahrscheinlichkeit des Flugmodells zu verringern, ist es vorgesehen, dieses erst bei Bedarf, also bei einem bevorstehenden Einsatz in einem Satelliten, zu integrieren. Zum Ende des Vorhabens gab es noch keine konkrete Satellitenmission, bei der ASAP eingesetzt werden könnte.

Es ist angedacht, ASAP FM in einem eigenen am Lehrstuhl Informatik VIII der Universität Würzburg zu entwickelnden (Nano-)Satelliten mit dem Namen ANEX-1 zu integrieren und zu testen. Hierzu laufen derzeit Analyse- und Planungsarbeiten für einen Förderantrag.

Derzeit werden ausgewählte Kernkomponenten von ASAP mit reduzierten Funktionsumfang in den Satelliten SONATE (50 RM 1606) integriert und getestet.

Die nachfolgende Tabelle (siehe Tabelle 6-1) listet die technischen Parameter von ASAP auf.

Parameter	Wert
Spannungsversorgung	6V – 18V
Leistungsverbrauch	Ca. 12 Watt
Masse	3005g
Abmessungen	94 x 174 x 245 mm ³
Ausgabeformat	Meta-Daten Bild-Daten
Ausgabeschnittstellen	2x CAN 2.0B (Standard) 2x I2C 2x UART 4x HS (High-Speed)
Lebensdauer	1 Jahre (400-1000km)
Betriebstemperatur	-45°...+85°C

Tabelle 6-1: Allgemeine Parameter von ASAP

ASAP besteht ausschließlich aus Komponenten, die nicht dem ITAR (International Traffic in Arms Regulations) unterliegen.

Des Weiteren besitzt ASAP noch einige Besonderheiten/Features, die den Leistungsumfang der Kamera erweitern, und mit denen sie sich gegenüber anderen Kameras abgrenzt:

- Vollständiger Softwareupdate für alle eingebetteten Logikchips möglich (FPGA und Prozessor)
- Vollständige Parametrierung des Systems (Kamera und autonomes Planungssystem) per Telekommando
- Download der aufgenommenen Bilder
- Redundante Ausführung der kritischen Komponenten im Kommunikationssystem
- Modulare Struktur: Sensor- und Hauptplatinen

7 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Antrag auf die Zuwendung wurden für die Kamera verschiedene Ziele und Aspekte genannt, welche nachfolgend einzeln betrachtet werden. Dabei wird jeweils einzeln auf den Erfüllungsgrad eingegangen.

7.1 Ziele

Entwicklung, Bau und Qualifikation eines modularen Sensors im optischen Bereich für Nanosatelliten mit eigenständiger Bilddatenverarbeitungsfähigkeit für die autonome Missionsplanung

Das Ziel wurde erreicht. ASAP ist ein arbeitendes Kamerasystem mit einem integrierten autonomen Planungssystem das den Zielsatelliten in die Lage versetzt autonom zu handeln. Das System wurde eigenständig entwickelt und gefertigt. Anschließend wurden die Kamerasysteme (bzw. das STM und das EQM) mehreren Qualifikationstests unterzogen. Die Tests verliefen alle erfolgreich.

7.2 Aspekte

Autonome Erkennung von Mustern, Formen, Objekten und Bewegungen

Der Aspekt wurde teilweise erreicht. ASAP ist in der Lage generell Objekte und Bewegungen zu detektieren. Die nachgeschaltete Identifizierung konnte nicht vollständig umgesetzt werden. Daher ist die Erkennung von Mustern und Formen nicht gegeben. Die Forschungstätigkeiten an diesen Themen werden trotz Abschluss des Vorhabens weiter fortgesetzt.

Ausgabe von Metadaten für die autonome Betriebsplanung

Der Aspekt wurde vollständig umgesetzt. Die aus der autonomen Erkennung gewonnen Informationen werden als Meta-Daten codiert und dem nachgeschalteten autonomen Planungssystem zugeführt.

Bilddatenverarbeitung in Echtzeit

Der Aspekt wurde vollständig umgesetzt. Die Kamera ist in der Lage zwischen 50 und 100 Bilder pro Sekunde mit einer Auflösung von 4 MPixel bzw. 30 Bilder pro Sekunde mit einer Auflösung von 20 MPixel in Echtzeit zu verarbeiten. Mit dieser Verarbeitungsrate lassen sich die Ziele (optische Phänomene und Ereignisse, z.B. Blitze und Meteore) problemlos detektieren und verarbeiten.

Ressourcenoptimiert

Der Aspekt wurde vollständig umgesetzt. Zum einem war der gesamte Entwurfsprozess von ASAP von Beginn an durch die Randbedingungen an Masse, Volumen und el. Leistung geprägt, zum anderem wurde das Gesamtsystem so entworfen, dass es mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen (z.B. Rechenleistung, Speicher) schonend umgeht.

Modularer und erweiterbarer Aufbau der Hard- und Software

Dieser Aspekt wurde zum Teil erreicht. Zwar besteht ASAP aus drei Platinen (einer Haupt- und zwei Sensorplatinen) die zusammen einen modularen Aufbau ergeben, aber alle zusammen in einem Gehäuse integriert wurden. Dennoch müsste es technisch mit geringem Aufwand möglich sein, das Gehäuse in zwei (oder mehr) Einheiten zu zerlegen, und so ein komplett modulares System zu bekommen.

Die Software isoliert betrachtet ist komplett modular. Das autonome Planungssystem und die Steuerung der Kamera sind einzeln betrachtet autarke Einheiten. Theoretisch könnte z.B. das autonome Planungssystem ohne Funktionseinschränkungen auf den Bordcomputer des Satelliten portiert werden.

8 Wichtigste Positionen des Nachweises

Die Zuwendung wurde zu ca. 60% für Personalkosten (wissenschaftliche Mitarbeiter und wissenschaftliche Hilfskräfte), zu ca. 25% für Sachgegenstände und im Übrigen für Dienstreisen und Aufträge an Dritte ausgegeben.

9 Notwendigkeit/Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die in diesem Vorhaben gesammelten Erfahrungen haben bestätigt, dass es sich bei Kameras und autonomen Planungssystemen um komplexe Systeme handelt, deren Entwicklung, Bau und Qualifikation sehr viel Zeit und Arbeit erfordert. Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass die geleistete Arbeit den Zielstellungen des Vorhabens angemessen war.

10 Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplans

Der nächste Schritt besteht darin ASAP im Orbit zu verifizieren und ggf. als aktive Planungskomponente in die Satellitenmissionsplanung zu integrieren. Dazu bieten sich folgende Gelegenheiten:

1. Einbau von ASAP mit reduziertem Funktionsumfang (ASAP-Light) in den Satelliten SOANTE (50 RM 1606)
2. Einbau von ASAP mit vollem Funktionsumfang im ANEX-1 Satellit der Universität Würzburg

SONATE befindet sich derzeit in der Entwicklung und der ANEX-1 in der Antragsphase. Im Verwertungsplan wird gezielt und detailliert die Verwertung von ASAP beschrieben.

11 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Während des Vorhabens wurde permanent der aktuelle Stand der Technik und der Forschung überwacht. In dieser Zeit wurden keine Systeme identifiziert die sich von der Verwendung und dem Funktionsumfang her mit ASAP überschneiden.

Dies verdeutlicht das Alleinstellungsmerkmal von ASAP und den wissenschaftlichen Vorsprung der Universität Würzburg (Lehrstuhl Informatik VIII) auf dem Forschungsgebiet der Autonomie (höhere Autonomie und Planungssysteme).

12 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Eine Liste aller relevanten Veröffentlichungen ist den Unterlagen beigelegt.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts Schlussbericht zum Vorhaben ASAP	
3b. Titel der Publikation ASAP: Autonomous onboard mission planning	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Wojtkowiak, Harald	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2016
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) Balagurin O., Fellingner G., Fischer W., Garcia B., Kayal H., Wojtkowiak H.	6. Veröffentlichungsdatum 29.09.2014
	7. Form der Publikation Vortrag und Paper
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität Würzburg Lehrstuhl Informatik VIII Informationstechnik für Luft- und Raumfahrt Gebäude 32 Emil-Fischer-Str. 32 D-97074 Würzburg	9. Ber.Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 50RM1208
	11a. Seitenzahl Bericht 11
	11b. Seitenzahl Publikation 10
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	12. Literaturangaben -
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 2
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) 65th International Astronautical Congress, Toronto, Kanada 29.09.2014 – 03.10.2014	
18. Kurzfassung Die von einem Satelliten durchzuführenden Aktivitäten werden gewöhnlicher Weise am Boden durch ein Experten-Team festgelegt. Dieses bedient sich spezialisierter Software zur Ablaufplanung, nicht nur um die zu planenden Aktivitäten zu berücksichtigen, sondern auch um andere Aspekte der Missionsplanung, wie zum Beispiel Ressourcen oder Randbedingungen des Satelliten und seiner Subsysteme, einzubeziehen. Das Resultat ist ein Missionsplan für den Satelliten, der aus Kommandosequenzen für den Bordcomputer, der zentralen Kontrolleinheit des Satelliten, besteht. Der Plan wird mittels Upload zum Satelliten übertragen und zu gegebener Zeit ausgeführt. Diese Vorgehensweise hat einen gravierenden Nachteil. Es ist nicht möglich den Missionsplan eines konventionellen Satelliten auf schnelle Art und Weise zu ändern, da Telekommandos übertragen werden müssten, die eine Latenz zur Folge hätten. Dieser Umstand verhindert Satellitenanwendungen, bei der schnelle Reaktionen auf kurzfristige Ereignisse Voraussetzung sind. Um in Zukunft solche Satellitenmission, bei der schnelle Reaktionen auf ein beobachtetes Ereignis von Nöten sind, zu ermöglichen, entwickelt die Universität Würzburg ein neues Kamerasystem mit integriertem Fähigkeiten zur autonomen Missionsplanung. Das Ziel besteht darin, in Zukunft solche Systeme an Bord von Nanosatelliten zu verwenden, um schnelle autonome Reaktionen auf kurzlebige Ereignisse zu ermöglichen. Des Weiteren kann das Planungssystem den Bordcomputer teilweise von seiner Last befreien, indem es Kapazitäten und Mechanismen zur Ablaufplanung anbietet. Der Schwerpunkt des Papers liegt auf der Beschreibung der Fähigkeiten des autonomen Planungssystems. Es stellt drei Hauptfunktionalitäten zur Verfügung. Erstens, es leitet als Antwort auf Ereignisse zu planende Aktivitäten für den Satelliten ab. Hierzu kommen bestimmte Techniken zur Entscheidungsfindung zum Einsatz. Zweitens, die zuvor abgeleiteten Aktivitäten müssen mittels einer Ablaufplanung verplant werden. Dabei müssen verschiedene Aspekte wie Ressourcen und Randbedingungen miteinbezogen werden. Das Ergebnis ist eine geordnete Sequenz von Kommandos für den Satelliten. Drittens, der Plan bestehend aus den Aktivitäten und Kommandos muss mit der Bordsteuerung des Satelliten, bzw. dessen Kommandoliste, synchronisiert werden.	
19. Schlagwörter Missionsplanung, autonome Planungssysteme, Nano-Satelliten	
20. Verlag -	21. Preis -

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final report	
3a. Report Title Schlussbericht zum Vorhaben ASAP		
3b. Title of Publication ASAP: Autonomous onboard mission planning		
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Wojtkowiak, Harald	5. End of Project 31.12.2016	
	6. Publication Date 29.09.2014	
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Balagurin O., Fellingner G., Fischer W., Garcia B., Kayal H., Wojtkowiak H.	7. Form of Publication Presentation and Paper	
	8. Performing Organization(s) (Name, Address) University of Wuerzburg Chair of Computer Science VIII Aerospace Information Technology Building 32 Emil-Fischer-Str. 32 D-97074 Wuerzburg	
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	9. Originator's Report No.	
	10. Reference No. 50RM1208	
	11a. No. of Pages Report 11	
	11b. No. of Pages Publication 10	
	12. No. of References -	
16. Supplementary Notes	14. No. of Tables 1	
	15. No. of Figures 2	
	17. Presented at (Title, Place, Date) 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada 29.09.2014 – 03.10.2014	
18. Abstract <p>Usually the activities of conventional satellites have to be planned during operation on ground by an expert team. They use specialized scheduling software which does not only take into account the activities the satellite is going to do but also other aspects of satellite mission planning like available resources and constraints of the satellite and its sub-systems. The result is a mission plan for the satellite consisting of sequences of commands for the onboard computer, the controlling instance of the satellite. This mission plan is uploaded as telecommands and executed onboard at due time.</p> <p>This approach has a major drawback. It is not possible to change the mission plan of a conventional satellite quickly, because it would include transmissions of telecommands which infers some latency. This circumstance hinders satellite applications, where quick reactions to short-lived events are required.</p> <p>In order to enable future satellite missions, where a quick response on an observed event is necessary, the development of a new autonomous image sensor with an integrated autonomous mission planner is ongoing at the University of Wuerzburg. The aim is to use such a system onboard of nano satellites in the future to enable autonomous fast time responses to short-lived optical phenomena. Furthermore the system can relieve the onboard computer of the satellite by providing scheduling capacities and mechanisms.</p> <p>The focus of this paper lies on the autonomous planning capability of such a system. It provides three functionalities. First, it has to conclude reactions to events in form of satellite activities to be planned. This functionality has to be implemented with some decision-making capabilities. Second, the activities to be planned have to be scheduled. Additional aspects like satellite resources and constraints have also to be taken into account. A scheduler performs this task. It generates satellite mission plans which are ordered as sequences of satellite commands. Third, the mission plans generated by the system have to be synchronized with the existing command list of the onboard computer of the satellite.</p>		
19. Keywords Star Sensor, Star Camera, Attitude Control of Pico- and Nano-Satellites, Miniaturization		
20. Publisher	21. Price	