

	<p style="text-align: center;">SO/PHI - ISS</p> <p style="text-align: center;"><i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i></p>	 
<p>Seite 1</p>	<p style="text-align: center;">Schlussbericht</p> <p style="text-align: center;">zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"</p>	<p>Förderkennzeichen: 50 OT 1203</p> <p>Datum: 5. Mai 2017</p>

Schlussbericht

Vorhaben: Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter




Förderkennzeichen: 50 OT 1203

Förderzeitraum: 01.07.2012 – 31.12.2016

Projektleitung: Prof. Dr. Wolfgang Schmidt

Projektmanagement: Dr. Reiner Volkmer

Ort, Datum: Freiburg, den 5. Mai 2017

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Kleppenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 2	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum:5. Mai 2017

Inhaltsverzeichnis:

1. Kurze Darstellung des Vorhabens.....3

1.1 Aufgabenstellung 3

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 3

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 3

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand 4

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen..... 4

2. Eingehende Darstellung des Vorhabens4

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses 4

PA4400 (ISS Quality and Product Assurance)..... 5

HW1125 (Tip-Tilt-Antrieb Struktur-Thermalmodell (STM)):..... 6

HW1155 (CT Kamera Struktur-Thermalmodell (STM)): 6

HW2155 (CT Kamera Bread-Board (BB)): 6

HW4125 (Tip-Tilt-Antrieb Qualification Modell (QM)): 6

HW4155 (CT Kamera, Qualification Modell (QM)): 6

HW5125 (Tip-Tilt-Antrieb, Flugeinheit (FM)): 7

HW5155 (CT Kamera, Flugeinheit (FM)): 7

HW6125 (Tip-Tilt-Antrieb, Flugersatzeinheit (FS)): 7

HW6155 (CT Kamera, Flugersatzeinheit (FS)): 7

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 7

Personalkosten 7

Reisekosten 8

Sachkosten 8

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 8

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses 8

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen..... 9




2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses..... 9

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Personalkosten 7

Tabelle 2: Reisekosten 8

Tabelle 3: Sachkosten (Auswahl)..... 8

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 3	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

Liste der Abkürzungen:

ESA: European Space Agency
 ISS: Image Stabilization System
 KIS: Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik
 MPS: Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung
 PHI: Photospheric and Helioseismic Imager
 UB: Universidad de Barcelona
 WP: Work Package

1. Kurze Darstellung des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung




Das KIS ist am ESA-Proposal für das Instrument PHI (Polarimetric and Helioseismic Imager) der Solar Orbiter Mission beteiligt. Das Proposal wurde zum 15.01.2008 eingereicht. Principal Investigator für PHI ist das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung. Das KIS hat die Bildstabilisierungseinheit (ISS, Image Stabilisation System) für PHI entwickelt. Das KIS ist Systemführer für die ISS und hat den Status eines Co-Investigators beim Gesamtinstrument PHI. Das Instrument wurde durch ESA im März 2009 für die Solar Orbiter Payload ausgewählt. Die endgültige Auswahl von Solar Orbiter erfolgte im Oktober 2011. Die Abgabe der Flugeinheit der ISS an das MPS war Ende 2016. Die ESA hat den Start der Satellitenmission derzeit für Oktober 2018 vorgesehen.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die PHI ISS war ursprünglich als Sonnensensor auf der Basis einer 4-Quadrantenzelle konzipiert, da diese weniger Ressourcen beansprucht, als ein hochauflösender Bildsensor. Im Zuge der detaillierten Analyse zeigte sich dann jedoch, dass ein solches System den wissenschaftlichen Anforderungen nicht genügt. So wurde die ISS letztlich als *Correlation-Tracker* ausgelegt. Für die Entwicklung des Systems konnte das KIS auf einschlägige Erfahrungen aus dem Ballon-Projekt SUNRISE zurückgreifen.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Planung und Ablauf des Vorhabens erfolgte weitgehend analog zur vorangegangenen Phase B. Die zu bauenden Modelle der ISS und der dazugehörige Zeitplan waren in einem Arbeitsplan festgelegt, der hinsichtlich des Zeitplans entsprechend dem Gesamtfortschritt des PHI-Projekts fortgeschrieben wurde. Das Vorhaben war in Arbeitspakete gegliedert, in denen auch die Verantwortlichkeiten festgelegt wurden. Innerhalb des KIS Teams fanden wöchentliche Arbeitstreffen statt, in denen Bericht erstattet wurde und die anstehenden Arbeiten besprochen und koordiniert wurden. Der Projektverlauf wurde vierteljährlich in Form eines Zwischenberichts an das DLR dokumentiert. Arbeitstreffen mit den Partnern der UB (Fakultät für Elektronik der Universität Barcelona) fanden etwa alle drei Monate statt, bei Bedarf auch häufiger. Der Zeitplan und technische Angelegenheiten wurden in regelmäßigen Telefonkonferenzen im Rahmen des PHI-Konsortiums besprochen.

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Kleppenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 4	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Das KIS verfügt über langjährige Erfahrung in der Entwicklung von Bildstabilisierungseinrichtungen und adaptiver Optik für die eigenen Sonnenteleskope im Observatorio del Teide auf Teneriffa. Beim vorliegenden Projekt konnten vor allem Erfahrungen genutzt werden, die bei der Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit für das Stratosphärenteleskop Sunrise gemacht wurden. Dabei wurden keine geschützten Verfahren benutzt. Die Entwicklung der Piezo-Antriebe erfolgt in Zusammenarbeit mit der Industrie. Hier kommen Verfahren zum Einsatz, die durch den Hersteller geschützt sind. Das Konzept des *Correlation-Trackers* ist eine Standard-Technologie. Die besondere Herausforderung liegt in der Realisierung mit einem sehr begrenzten Massen- und Energiebudget und hohen Anforderungen für die thermische Belastung.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Entwicklung der Bildstabilisierungseinrichtung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fakultät für Elektronik der Universität Barcelona und mit Industriepartnern. Das KIS hatte dabei die Gesamtleitung.

2. Eingehende Darstellung des Vorhabens

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses




Die Zuwendungen wurden zur Finanzierung von Projektpersonal, notwendigen Reisen und der Herstellung und Tests der Komponenten des ISS verwendet. Folgende Varianten ("Modelle") der ISS wurden im Berichtszeitraum entwickelt, gebaut und getestet:

- Breadboard Modelle (BB)
- Struktur- und Thermalmodell (STM)
- Electrical Functional Modell (EFM)
- Qualifikationsmodelle (QM)
- Flugmodell (FM)
- Flugersatzmodell (FS)

Die ISS besteht aus zwei mechanisch unabhängigen Subsystemen: der CT-Kamera und dem TT-Spiegelantrieb. Obige Liste bezieht sich, wenn nicht anders vermerkt, auf beide Subsysteme. Beim QM wurden für die CT-Kamera und den TT-Antrieb mehrere Modelle gefertigt und getestet. Die Hardware der Flugersatz-Modelle (FS) wurde bis Ende 2016 fertiggestellt, die Umwelttests werden aber erst 2017 durchgeführt und sind daher nicht Teil dieses Berichts.

Die Steuerungssoftware wurde federführend von UB entwickelt und implementiert. Die erforderlichen Tests wurden in der Regel gemeinsam durchgeführt, zumeist am Laboraufbau, teilweise im Reinraum des KIS. Die opto-mechanischen Laboraufbauten und deren Design wurden am KIS entwickelt, teilweise hergestellt und aufgebaut.

Simulationen bezüglich der Algorithmen für die Korrelation, Bestimmung der optischen Spezifikationen und Datenverarbeitung innerhalb der ISS bzw. des System-Controllers (z.B. Flat-Field Prozeduren) wurden am KIS entwickelt und ausgeführt.

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Kleppenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 5	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

Die vorgeschriebenen Umwelttests (Thermal-Vakuumtests, Vibrationstests) auf Sub-Systemebene wurden bei qualifizierten Fachbetrieben (z. B. Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH) und dem DLR, Berlin durchgeführt.




Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitspakete des Vorhabens beschrieben:

PA4400 (ISS Quality and Product Assurance)

Fortlaufende Prüfung und Sicherstellung der PA gemäß dem PA Management Plan. Erstellen und Pflege der dazugehörigen umfangreichen Dokumentation. Überwachung der PA und QA bei den mit uns zusammenarbeitenden Instituten und Firmen. Als Beispiele für den Umfang der Dokumentation sollen hier die Jahre 2014 und 2015 dienen:

- Maue, T. (2014a). *CTC-CPC Integration Test*. Technical Report SOL-PHI-KIS-AV3330-RP-8.
- Maue, T. (2014b). CTC QM-0 Thermal Vacuum Test. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW2155-RP-3.
- Maue, T. (2014c). TT-Controller UB v2.0 Performance Report. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW2230-RP-4.
- Maue, T. (2014d). TT-Controller V4.6 Performance Report. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW2230-RP-3.
- Nakai, E. (2014a). As-Built Configuration List (ABCL) for ISS EFM. SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-7.
- Nakai, E. (2014b). Configuration Item Data List (CIDL) for ISS EFM. SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-6.
- Nakai, E. (2014c). CTC and TTC QM MRRs Data Package. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW4000-DP-1.
- Nakai, E. (2014d). EFM TT Drive Specification. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW3125-SP-1.
- Nakai, E. (2014e). EFM TT Drive Test Procedure. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW3125-PR-1.
- Nakai, E. (2014f). Hardware Incoming Inspection for CT Filter BB. Techn. Rep. SOL-PHI-KIS-HW2155-RP-2.
- Nakai, E. (2014g). Hardware Incoming Inspection for CT Filter QM/ FM/ FS. SOL-PHI-KIS-HW4155-RP-4.
- Nakai, E. (2014h). ISS Configuration Management Plan. Technical Report SOL-PHI-KIS-PA4400-PL-2.
- Nakai, E. (2014i). ISS Product and Quality Assurance Plan. Technical Report SOL-PHI-KIS-PA4400-PL-1.
- Nakai, E. (2014j). ISS QM Configuration Item Data List (CIDL). Techn. Report SOL-PHI-KIS-HW4000-LI-4.
- Nakai, E. (2014k). ISS QM Declared Material List. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW4000-LI-1.
- Nakai, E. (2014l). ISS QM Declared Mechanical Parts List. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-2.
- Nakai, E. (2014m). ISS QM Declared Process List. Technical Report SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-3.
- Nakai, E. (2014n). ISS TT Specification. Technical Report SOL-PHI-KIS-SY8100-SP-1.
- Nakai, E. (2014o). RfA for hand soldering of TTD. Technical Report SOL-PHI-KIS-PA1300-RA-5.
- Nakai, E., López de Miguel, M. (2014). ISS Declared Component List (DCL). SOL-PHI-KIS-PA4400-LI-12.
- Roma, D., Casas, A., and Nakai, E. (2014a). ISS EFM Declared Component List. SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-2.
- Roma, D., Casas, A., and Nakai, E. (2014b). ISS EFM Declared Material List. SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-3.
- Roma, D., Casas, A., and Nakai, E. (2014c). ISS EFM Declared Mechanical Parts SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-4.
- Roma, D., Casas, A., and Nakai, E. (2014d). ISS EFM Declared Process List. SOL-PHI-KIS-HW3000-LI-5.
- Maue, T.: CTC Harness H27 Fit Test, Technical Note SOL-PHI-KIS-HW4155-TN-1 (2015)
- Maue, T.: CTC optical functional test report post-vibration, Tech. Rep. SOL-PHI-KIS-HW4155-RP-9 (2015)
- Maue, T.: TTD FM1 Functional Test Report, Technical Report SOL-PHI-KIS-HW5125-RP-4 (2015)
- Maue, T.: CTC functional test procedure, Technical Report SOL-PHI-KIS-HW4155-PR-3 (2015)
- Maue, T.: TT Drive functional test procedures, Technical Report SOL-PHI-KIS-HW5125-PR-1 (2015)
- Maue, T.: TTD functional test report of procedure no. 060 and no. 130, SOL-PHI-KIS-HW5125-RP-3 (2015)
- Nakai, E.: CTC QM1 Handling, Packing, Storing and Transp. Procedures SOL-PHI-KIS-HW4155-PR-2 (2015)
- Nakai, E.: Hardware Incoming Inspection for Coating of CTC Structure, SOL-PHI-KIS-HW4155-RP-5 (2015)
- Nakai, E.: Hardw. Incoming Inspection for Coating of CTC Filter Holder SOL-PHI-KIS-HW4155-RP-6 (2015)
- Nakai, E.: RfD for CTC PCBs not coated, Technical Report SOL-PHI-KIS-PA1300-RW-47 (2015)

Insgesamt umfasst die Liste 113 Dokumente.

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Kleppenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 6	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

HW1125 (Tip-Tilt-Antrieb Struktur-Thermalmodell (STM)):

Das Strukturmodell des TT Antriebs wurde durch die Fa. Physik-Instrumente gebaut. In diesem Modell waren die Piezos durch metallische Ersatzkörper ersetzt worden. Das Strukturmodell hatte keine Funktionalität, d.h. keine funktionierenden elektronischen oder mechanischen Komponenten, entsprach aber in der Masse, der Verteilung der Masse, den Abmessungen, der Interfaces und bei den magnetischen und thermalen Eigenschaften dem Flugmodell.

HW1155 (CT Kamera Struktur-Thermalmodell (STM)):

Das Strukturmodell wurde weitestgehend in den Werkstätten des KIS hergestellt. Es hatte keine Funktionalität, d.h. keine funktionierenden elektronischen oder mechanischen Komponenten, entsprach aber in der Masse, der Verteilung der Masse, den Abmessungen, der Interfaces und bei den thermalen Eigenschaften dem Flugmodell.

HW2125 (TT Antrieb Bread-Board (BB)):

Die TT Antrieb BB sind voll funktionsfähige Laborversionen mit den gleichen Eigenschaften wie die Flugversionen. Sie enthalten aber keine weltraum-taugliche und qualifizierten Bauteile. Sie werden für den Testaufbau im Optiklabor des KIS verwendet und können z.B. für die Verifikation der Software und Optimierung der Regelparameter verwendet werden.

HW2155 (CT Kamera Bread-Board (BB)):

Als Bread-Board (BB) wird eine Laborversion der CT-Kamera bezeichnet, die voll funktionstüchtig ist, aber keine weltraum-tauglichen und -qualifizierten Komponenten enthalten muss. Das BB diente z. B. dazu, die Software des Correlation Tracker zu testen, und die Servo-Eigenschaften des Systems zu charakterisieren. Als Detektor für den Correlation Tracker kommt ein STAR1000 CMOS Chip zum Einsatz, der für Weltraumanwendungen bereits qualifiziert ist.

HW4125 (Tip-Tilt-Antrieb Qualification Modell (QM)):




Die Qualifikationsmodelle sind identisch bzw. quasi identisch zur Flug-Hardware, d.h. alle Komponenten müssen für den Einsatz auf Solar Orbiter qualifiziert sein oder qualifiziert werden können. Fertigung und Handhabung wurden daher in der vorgeschriebenen Weise dokumentiert. Es wurden zwei identische Modelle hergestellt, wobei eines zur Durchführung von Qualifikations- und Lebenszeit-Tests verwendet wurde. Die Qualifikationstests wurden erfolgreich bestanden. Die Lebenszeittests mit Thermalzyklen wurden im Labor des KIS durchgeführt.

HW4155 (CT Kamera, Qualification Modell (QM)):

Dieses Arbeitspaket enthält zwei Teile, die mechanisch miteinander verbunden sind, aber ansonsten unabhängig voneinander beschafft bzw. gebaut wurden:

(i) ein schmalbandiges Interferenzfilter zur Vermeidung von chromatischen Fokusdifferenzen wurde in weltraumqualifizierter Version bei Fa. Materion beschafft. Seine optischen Eigenschaften, vor allem die Transmissionswerte, wurden im Labor des KIS verifiziert.

(ii). Das Kameragehäuse wurde im Haus entwickelt und in der mechanischen Werkstatt des KIS gebaut. Aufgrund der engen Einbausituation muss das Gehäuse an der Schmalseite in das Instrument montiert werden, was zu einem ungünstigen Schwingungsverhalten geführt hat. Aufwändige Simulationen und wiederholte Vibrationstests waren erforderlich, um eine optimale Kombination von Steifigkeit und Elastizität zu finden, die mit den Anforderungen im Einklang war.

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Kleppenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 7	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

Die weltraumtaugliche Elektronik wurde unter der Leitung von UB bei Fa. SENER hergestellt, qualifiziert und getestet. Das KIS war für den Einbau und die Verifikation der Funktionalität sowie für die Durchführung von Umwelttests zuständig. Wann immer möglich, wurden die Arbeiten am KIS gemeinsam mit den Kollegen der UB durchgeführt.

HW5125 (Tip-Tilt-Antrieb, Flugeinheit (FM)):

Die Flugeinheit wurde bei Fa. P.I., Karlsruhe gebaut. Die Verifikation erfolgte durch das KIS. Die Einheit wurde an das MPS ausgeliefert. Nach dem Einbau in das Flugmodell von PHI fanden erfolgreiche Tests des ISS statt.

HW5155 (CT Kamera, Flugeinheit (FM)):

Die Flugeinheit der Kamera wurde nach erfolgreicher Verifikation zusammen mit der gesamten ISS-Verkabelung im Dezember 2016 an das MPS ausgeliefert.

HW6125 (Tip-Tilt-Antrieb, Flugersatzeinheit (FS)):

Die Flugersatzeinheit des Tip-Tilt-Antriebs wurde bereits bei Fa. P.I. gebaut, die Qualifikation am KIS musste auf 2017 verschoben werden. Der Zeitplan für das Gesamtinstrument PHI wird dadurch nicht beeinträchtigt.

HW6155 (CT Kamera, Flugersatzeinheit (FS)):




Die Hardware der Kamera wurde vollständig hergestellt, die Integration und Qualifikation konnten im Berichtszeitraum nicht abschließend erledigt werden. Die Arbeiten am FS und die Abgabe an das MPS erfolgen im Jahr 2017.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Personalkosten

Funktion	Qualifikation Vergütung	Stellenanteil	Gesamtkosten
Projektmanagement	Promov. Dipl.-Physiker E14	75 %	264.703,36
Systemingenieur	Ing. Luft- u. Raumfahrttechnik E12	100 %	234.566,25
Projektingenieur	Ing. Luft- u. Raumfahrttechnik E12	100 %	268.375,88
Informatiker	Promov. Dipl.-Informatiker E14	50 %	78.253,20

Tabelle 1: Personalkosten

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Klempner-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 8	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

Reisekosten

Ort	Anzahl Reisende	Dauer	Anzahl Reisen	Gesamtkosten
Spanien	Im Schnitt 1-4	Im Schnitt 2-5 Tage	17	17.985,21
Berlin	Im Schnitt 1-3	Im Schnitt 2-3 Tage	7	15.543,07
Göttingen	Im Schnitt 2-6	Im Schnitt 1-3 Tage	28	14.757,35

Tabelle 2: Reisekosten

Sachkosten

Bezeichnung	Beschreibung/Firma	Gesamtkosten
Harness	ALTER	338.919,01
Aktuatoren	P.I.	429.545,49
Umwelttests	Astrofein	113.091,90




Tabelle 3: Sachkosten (Auswahl)

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit umfasste vor allem den Bau der verschiedenen Modelle der ISS, die Durchführung und Auswertung der von der ESA geforderten Thermal-Vakuum- und Rütteltests, sowie die dazugehörige Dokumentation. Besonders kostenintensiv war die Beschaffung von Komponenten, welche für die besonderen Anforderungen der Solar-Orbiter-Mission qualifiziert sein mussten. Das galt insbesondere für die elektronischen Komponenten und die Kabelbäume. Alle Arbeiten waren notwendig und die dafür getätigten Ausgaben angemessen. Die eingetretenen Verzögerungen und die damit einhergehenden Mehrkosten waren nicht vom KIS zu verantworten.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Bildstabilisierungssystem ISS ist ein unverzichtbares Subsystem des *Photospheric and Helioseismic Imager* (PHI). Das ISS erfüllt die wissenschaftlichen Anforderungen bezüglich Bildstabilisierung, tatsächlich geht seine Leistung deutlich über die Anforderungen hinaus. Das ISS wurde erfolgreich in das Gesamtinstrument PHI integriert und dort in Betrieb genommen. Einer erfolgreichen Verwertung durch den Einsatz des ISS als Teil von PHI bei der Solar Orbiter Mission steht somit nichts mehr im Wege. Der wissenschaftliche Nutzen ist hoch. Die Bildstabilisierung durch das ISS ist eine notwendige Voraussetzung, damit PHI seine wissenschaftlichen Ziele hinsichtlich räumlicher Auflösung und

	SO/PHI - ISS <i>Image Stabilization System for the Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager</i>	 <small>Klepenheuer-Institut für Sonnenphysik</small>  <small>UNIVERSITAT DE BARCELONA</small>
Seite 9	Schlussbericht zum Vorhaben "Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter"	Förderkennzeichen: 50 OT 1203 Datum: 5. Mai 2017

insbesondere hinsichtlich der Genauigkeit von Messungen des solaren Magnetfelds erzielen kann. Hochauflösende Spektro-Polarimetrie, magnetische Aktivität der Sonne und Helioseismologie sind Kernkompetenzen des KIS. Die wissenschaftliche Nutzung der Beobachtungsdaten durch Wissenschaftler des KIS ist daher gesichert. Allerdings werden solche Daten erst ab ca. 2022 zur Verfügung stehen, nach dem Abschluss der mehrjährigen *Cruise Phase*, die benötigt wird, Solar Orbiter in eine Bahnebene außerhalb der Ekliptik zu bewegen.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nach unserem Kenntnisstand gibt es hier nichts zu berichten.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses

Während der Projektlaufzeit wurden Zwischenergebnisse bei ISS Arbeitsgruppentreffen und PHI Team-Meetings präsentiert. Außerdem wurde das ISS bei internationalen SPIE-Meetings dem Fachpublikum vorgestellt und als Proceedings-Artikel publiziert:

- [1] A. Casas, J. M. Gómez, D. Roma, M. Carmona, M. López, J. Bosch, A. Herms, J. Sabater, R. Volkmer, F. Heidecke, T. Maue, E. Nakai, J. Baumgartner, and W. Schmidt. Design and test of a tip-tilt driver for an image stabilization system. In Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, volume 9911 of SPIE Proceedings, page 991123, Aug. 2016.
- [2] M. Carmona, J. M. Gómez, D. Roma, A. Casas, M. López, J. Bosch, A. Herms, J. Sabater, R. Volkmer, F. Heidecke, T. Maue, E. Nakai, and W. Schmidt. System model of an image stabilization system. In Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VI, volume 9150 of SPIE Proceedings, page 91501U, Aug. 2014.
- [3] A. Casas, D. Roma, M. Carmona, J. M. Gómez, J. Bosch, M. López, J. Sabater, A. Herms, T. Maue, E. Nakai, R. Volkmer, and W. Schmidt. Electronics design for a high precision image stabilization system. In High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VI, volume 9154 of SPIE Proceedings, page 91542J, July 2014.
- [4] R. Volkmer, J. Bosch, B. Feger, J. M. Gómez, F. Heidecke, W. Schmidt, T. Scheffelen, M. Sigwarth, and D. Soltau. Image stabilisation system of the photospheric and helioseismic imager. In Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, volume 8442 of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Sept. 2012.

Nach erfolgreicher Abgabe von PHI (mit dem ISS) bei der ESA ist eine weitere Publikation des Ergebnisses in einer geeigneten Fachzeitschrift geplant.

Freiburg, den 5. Mai 2017

(Prof. Dr. Wolfgang Schmidt)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN --	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Entwicklung der Bildstabilisierungseinheit ISS für das Instrument PHI auf Solar Orbiter	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schmidt, Prof. Dr. Wolfgang Volkmer, Dr. Reiner	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2016
	6. Veröffentlichungsdatum --
	7. Form der Publikation --
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik Schöneckstraße 6 79104 Freiburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution --
	10. Förderkennzeichen 50 OT 1203
	11. Seitenzahl 9
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben --
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 0
16. Zusätzliche Angaben --	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) --	
18. Kurzfassung 1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik Aktive Bildstabilisierung bei bodengebundenen und weltraumbasierten Sonnenteleskopen gehört seit Jahren zum Stand der Technik. Diese Systeme bestehen aus einem Sensor, der die Bildbewegung erfasst, einer Steuerelektronik, die das Regelsignal generiert und einem aktiven Stellglied (in der Regel einem piezotriebenen Kippspiegel), mit dem die Bildbewegung kompensiert wird. Die Genauigkeit mit der die Bildbewegung erfasst werden kann ist abhängig von der räumlichen Auflösung des Sensors und der Schnelligkeit mit der der Sensor ausgewertet werden kann. 2. Begründung/Zielsetzung des Vorhabens Ziel des Vorhabens war der Bau eines Bildstabilisierungssystems (<i>Image Stabilization System, ISS</i>) auf der Basis eines Correlation Trackers mit einer Hochgeschwindigkeitskamera als Sensor (CT-Kamera) und einem piezotriebenen Kippspiegelantrieb. 3. Methode Anfertigen von Fertigungszeichnungen auf der Basis der Ergebnisse der Phase B. Fertigung von mechanischen Komponenten mit zertifiziertem Material und Prozessen. Durchführung von Funktionstests. Weltraumqualifizierung durch Umwelttests nach ESA-Vorgaben. 4. Ergebnis Von der CT-Kamera und dem Kippspiegelantrieb wurden jeweils gefertigt: Breadboard-Einheit, Struktur-Modell, Elektrisches Funktionsmodell, Qualifikationseinheit, Flugeinheit, Flug-Ersatz-Einheit 5. Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten Das Vorhaben wurde mit dem Einbau des ISS in das Instrument PHI und anschließendem Funktionstest erfolgreich abgeschlossen. Das Bildstabilisierungssystem wird Bestandteil der Solar Orbiter Mission. Die ISS wird während der cruise phase und in der wissenschaftlichen Missionsphase (science planning and operation) eingesetzt.	
19. Schlagwörter Sonnenbeobachtung, Bildstabilisierung, Aktive Optik, Correlation tracker, Kippspiegel	
20. Verlag ---	21. Preis ---

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Development of the image stabilization system for the PHI instrument on Solar Orbiter	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schmidt, Prof. Dr. Wolfgang Volkmer, Dr. Reiner	5. end of project December 2016
	6. publication date --
	7. form of publication --
8. performing organization(s) (name, address) Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik Schöneckstraße 6 79104 Freiburg	9. originator's report no. --
	50 OT 1203
	11. no. of pages 9
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references --
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 0
16. supplementary notes --	
17. presented at (title, place, date) --	
18. abstract 1. Scientific and technical state of the art Active image stabilization has been state of the art for solar telescopes on ground and in space since years. Such systems consist of a sensor that records the image motion, a control electronics to generate the control signal, and an active component (typically a piezo-driven tip-tilt mirror) that is used to compensate the image motion. The precision of the system depends on the spatial resolution of the sensor and on the speed, with which the sensor data are evaluated. 2. Justification/goals of the project The goal of this project was the development of an image stabilization system (ISS) based on a correlation tracker, with a high-speed camera as sensor (CT camera) and a piezo-driven tip-tilt drive. 3. Method Produce final workshop drawings based on the results of Phase B. Fabricate mechanical components using certified materials and processes. Carry our functional tests. Perform environmental tests following ESA standards for space qualification of the system. 4. Result Both for the CT camera and the tip-tilt piezo drive we produced: breadboard model, structural model, electrical functional model, qualification model, flight model, flight spare model 5. Conclusion/Applications The project was successfully concluded with the integration of the ISS into the PHI instrument, followed by functional tests. The ISS will become part of the Solar Orbiter mission. The ISS will be in full operation both during the commissioning and the science planning and operations phases of PHI.	
19. keywords Solar observations, image stabilization, active optics, correlation tracker, tip-tilt mirror	
20. publisher --	21. price --