

Schlussbericht zu 50 OC 1103

Das Charge ELEMENT and Isotope Analysis System CELIAS auf SOHO

0.1 Ausführendes Forschungsinstitut, Leiter des Instituts:

Institut für Experimentelle und Angewandte Physik
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Leibnizstr. 19
D-24118 Kiel
Prof. Dr. Robert F. Wimmer-Schweingruber (GVM)

0.2 Projektleiter:

Prof. Dr. Robert F. Wimmer-Schweingruber:
Telefon: 0431 880-3964, Fax: 0431 880-3968, email: wimmer@physik.uni-kiel.de
Adresse: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Extraterrestrische Physik,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Leibnizstrasse 11, D-24118 Kiel

0.3 Zusammenfassung



SOHO wurde entwickelt um die innere Struktur der Sonne, ihre ausgedehnte Atmosphäre und den Ursprung des Sonnenwindes zu untersuchen, wurde am 2. Dezember 1995 gestartet. SOHO liefert seither Daten von höchstem wissenschaftlichen Wert und fungiert zudem als Weltraumwettermonitor in Erdnähe. Das Charge, Element, and Isotope Analysis System (CELIAS) auf SOHO misst die Zusammensetzung des Sonnenwindes und suprathermaler Teilchen und wurde noch mit Dieter Hovestadt als PI am MPE in Garching entwickelt, mit wesentlichen Hardwarebeiträgen vom MPS in Katlenburg-Lindau (heute Göttingen), der Universität Bern (UBe), der University of Maryland (UMd) in College Park und der University of California in Los Angeles (UCLA). CELIAS besteht aus den sechs Sensoren MTOF, PM, CTOF, STOF, HSTOF und SEM.

In der Datenphase ging die PI-Schaft an Peter Bochsler (UBe) über, mit seiner Pensionierung anschließend an Berndt Klecker (MPE), welcher seinerseits 2010 auch in Rente gegangen ist. 2011 ging die PI-schaft von CELIAS an den Projektleiter, Prof. Dr. R. F. Wimmer-Schweingruber.

0.4 Berichtszeitraum

Dieser Schlussbericht umfasst den Zeitraum vom 1. Oktober 2011 bis zum 31. März 2015.

1 Teil I: Kurze Darstellung

1.1 Kurze Darstellung der Aufgabenstellung

Primäre Aufgabe des Vorhabens war es, sicherzustellen, dass die Daten von CELIAS als CDF-Dateien der wissenschaftlichen Community innert nützlicher Frist zur Verfügung stehen. Dazu waren folgende Arbeiten erforderlich:

- Transferieren der CELIAS - Analysesoftware von Bern nach Kiel. Dies brauchte etwa ein halbes Jahr Arbeit eines erfahrenen Post-Docs.
- Bereitstellung der CELIAS-Daten für das SOHO-Archiv: Dafür sind nach wie vor etwa zwei Tage pro Woche erforderlich. Obwohl die Software natürlich automatisch läuft, muss doch ein Wissenschaftler alle Daten selber untersuchen um sicherzustellen, dass diese nicht durch instrumentelle Effekte verfälscht worden sind.
- Entwicklung, Verifikation und Bereitstellung neuer Datenprodukte.
- Betreuung der CELIAS WWW Seiten, von wo aus die aufbereiteten Daten einer weiteren Community zur Verfügung gestellt werden.
- Evtl. erforderliche Kommandierung von STOF und HSTOF.
- Vertretung von CELIAS an zwei SWTs pro Jahr.
- Organisation von Team meetings und der wissenschaftlichen Ausbeute von CELIAS.

2 Kurze Darstellung der Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Rückblickend muss festgehalten werden, dass wir für eine Instrumentensuite mit sechs verschiedenen Sensoren mit einer Minimalstausstattung von nur einem PostDoc an das Projekt herangegangen sind. Ein zweiter PostDoc oder zumindest ein zusätzlicher Doktorand hätte enorm geholfen. Wir mussten deshalb das Projekt aus anderen Quellen personell unterstützen, wozu ein DFG Antrag gestellt und bewilligt wurde. Dazu kommen Institutsstellen für Doktoranden, die das Projekt deutlich vorangebracht haben.

Positiv ist hervorzuheben, dass die Daten von CELIAS zu einer Vielzahl von Publikationen und Abschlussarbeiten geführt haben (siehe Seite 10 ff und den Anhang).

3 Kurze Darstellung der Planung und Ablauf des Vorhabens

Hauptziel des Vorhabens ist es nach wie vor, die CELIAS-Daten zeitnah der wissenschaftlichen Community zur Verfügung zu stellen. Weil die einzelnen Instrumente sehr komplex sind, kann dies nicht nur automatisch erfolgen, sondern erfordert den geschulten Blick eines erfahrenen Wissenschaftlers, der die Daten auf Plausibilität untersucht. Dies konnten wir während des gesamten Projektes gewährleisten, die CELIAS-Daten wurden mit einer zeitlichen Verzögerung von in der Regel weniger als einem Monat zur Verfügung gestellt. Zeitlich haben sich im Projekt keine wesentlichen Verzögerungen ergeben.

3.1 Kurze Darstellung des Standes der Wissenschaft und Technik, an den angeknüpft wurde

SOHO hat nach wie vor die folgenden wissenschaftlichen Fragestellungen:

- 1.) Was ist die Struktur und die Dynamik des Sonneninneren?
- 2.) Warum gibt es die Korona und wie wird sie auf die extrem hohe Temperatur von ungefähr 1-2 Millionen Grad geheizt?
- 3.) Wo entsteht der Sonnenwind und wie wird er beschleunigt?

Diese spiegeln den Stand der Wissenschaft wieder, an den angeknüpft wurde. Konkret wurden basierend auf Daten von CELIAS folgende Projekte bearbeitet.

Energereiche Neutrale Atome (ENAs): Dass es diese gibt, war bereits von IBEX, IMAGE, Cassini, etc. bekannt. Mit CELIAS/HSTOF konnten ENAs mit hoher Energie nachgewiesen werden, die uns Informationen über die Prozesse im sog. Heliosheath geben, siehe z. B. *Czechowski et al.* (2012).

Pickupionen aus dem interstellaren Medium und der inneren Quelle: Neutrale Atome aus dem interstellaren Medium können bis tief in die Heliosphäre eindringen. Werden sie dort ionisiert, werden sie durch den Sonnenwind als sog. Pickupionen nach außen getragen. Eine weitere, sog. innere Quelle von Pickupionen wurde in den späten 90-er Jahren entdeckt. Zu beiden Gebieten konnten wir mit CELIAS-Daten beitragen. Andreas Taut im Rahmen seiner MSc-Arbeit und *Grzedzielski et al.* (2014) haben He^+ Pickupionen als Quellen von ENAs betrachtet. Herr Janitzek im Rahmen seiner MSc-Arbeit und *Taut et al.* (2014) haben unser Verständnis von Pickupionen der inneren Quelle auf eine fundierte Datenbasis gestellt.

Differentielles Strömen von schweren Ionen gegen die im Sonnenwind häufigsten Protonen war bereits seit Helios für α -Teilchen bekannt. *Janitzek et al.* (2014) konnten das differentielle Strömen auch von den schweren seltenen Ionen (C, O, Ne, Si, Fe) nachweisen, wozu sie CTOF-Daten verwendet haben.

Ladungszustände von Sonnenwindionen sind gute Indikatoren des Ursprungs des Sonnenwindes. *Guo et al.* (2014) haben CTOF-Daten verwendet um die Eisenladungszustände von energiereichen Teilchen besser zu verstehen.

Suprathermale Teilchen sind noch immer eine bislang wenig untersuchte Teilchenpopulation. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass dafür optimierte Instrumente sehr komplex und schwer sind und es deshalb nur wenige gibt. Mit STOF konnten *Yu et al.* (2014) eine Voraussage aus den 80-er Jahren erstmals empirisch nachweisen.

3.1.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Trifft nicht auf das Vorhaben in dieser Formulierung nicht zu. Wir haben bekannte Techniken der Datenanalyse und -modellierung verwendet.

3.1.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Für das Projekt wurde auf die erforderlichen international referierten Fachjournale wie z. B. das europäische Journal Astronomy & Astrophysics, das US Astrophysical Journal, Journal of Geophysical Research, etc. zugegriffen. Abstracts aller Artikel sind im NASA/ADS (http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html) suchbar. Von dort aus sind die Artikel elektronisch verlinkt.

3.2 Kurze Darstellung der Zusammenarbeit mit anderen Stellen

CELIAS besteht aus den sechs Sensoren CTOF, HSTOF, MTOF, PM, SEM und STOF. CELIAS wurde durch ein internationales Konsortium entwickelt und gebaut: Die University of Maryland in College Park betreibt den Protonenmonitor PM, der Teil von MTOF ist.

Die Universität Bern (UBe) hatte während längerer Zeit in der Datenphase die PI-schaft von CELIAS und hat als Schwerpunkt gemeinsam mit UMD das Mass Time Of Flight MTOF Instrument betrieben. Seit der Pensionierung des Datenphase-PIs, Prof. Dr. P. Bochsler, wird CELIAS an der UBe nicht mehr als eigenständiges Projekt verfolgt.

Die University of California at Los Angeles (UCLA) betreibt den Solar Extreme ultraviolet Monitor (SEM).

Dr. Berndt Klecker am MPE Garching trägt trotz Ruhestandes weiterhin mit seinem Wissen zu Publikationen bei.

Das MPS in Katlenburg-Lindau (heute Göttingen) hat mit UBe CTOF und mit dem MPE Garching (H)STOF entwickelt und lange Zeit betrieben, das Interesse hat aber unter der neuen Leitung stark abgenommen.

Wichtiger als die alten Verbindungen waren für uns in der Laufzeit des Projektes die Verbindungen zur University of New Hampshire (Profs. E. Möbius und A. Galvin), beide CoIs von CELIAS.

4 Teil II: Eingehende Darstellung

4.1 Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Gesamtziel des Vorhabens war die Bereitstellung der Daten von CELIAS für die wissenschaftliche Community. Dieses Ziel haben wir erreicht. Des Weiteren waren Unterziele definiert:

- **Transferieren der CELIAS - Analysesoftware von Bern nach Kiel:** Das Ziel wurde erreicht. Der gesamte Sourcecode der für die Aufbereitung der Rohdaten von CELIAS benötigt wird, wurde aus Bern nach Kiel übertragen und archiviert. Darüber hinaus wurde die Software an die zur Verfügung stehende Hardware angepasst. Dies bedeutet im Besonderen, dass sämtliche Software nun in Python- und Shellskripten vorliegt und keinerlei proprietäre Software wie z.B. IDL verwendet wird. Durch die technische Entwicklung seit dem Start von SOHO ist es nun möglich die gesamte Datenaufbereitung auf einem einzigen PC durchzuführen. Desweiteren wurden etliche kleinere Fehler beseitigt.
- **Bereitstellung der CELIAS-Daten für das SOHO-Archiv:** Das Ziel wurde erreicht. Zu Beginn dieses Projektes am 01.10.2011 waren nur CELIAS-daten bis zum 31.12.2009 archiviert. Dies war unter anderem einem Fehler in der Software geschuldet, der es nicht erlaubte Rohdaten aus den Jahren nach 2009 zu prozessieren. Im Zuge des Softwaretransfers nach Kiel konnte dieser Fehler behoben werden, so dass das Archiv auf jetzt wieder auf dem aktuellen Stand gehalten werden kann. Da beim Portieren der Software weitere kleine Fehler beseitigt wurden (s.o.), wurde darüber hinaus entschieden sämtliche bisher archivierten Daten neu zu prozessieren, so dass über das Aufbereiten der Daten nach 2009, der gesamte Datensatz von CELIAS neu prozessiert und archiviert wurde. Dieser Vorgang ist abgeschlossen und das Archiv wird nun in regelmäßigen Abständen auf den neuesten Stand gebracht.
- **Entwicklung, Verifikation und Bereitstellung neuer Datenprodukte:** Im Zuge von zwei Masterarbeiten (Nils Janitzek und Andreas Taut) wurde eine umfangreiche In-Flight-Kalibration von CELIAS/CTOF durchgeführt und der gesamte für CTOF zur Verfügung stehende Datensatz wurde neu analysiert. Hierbei entstanden unter anderem zahlreiche neue Datenprodukte von denen einige bereits zur Verfügung stehen und andere noch verifiziert werden müssen. Die primären Datenprodukte sind in diesem Fall die gemessenen 1D Geschwindigkeitsverteilungen der schweren Sonnenwindionen, aus denen sich die üblicherweise verwendeten Eigenschaften wie Schwerpunktgeschwindigkeit, Temperatur, (relative) Dichten als Sekundärprodukte ableiten lassen. In einem weiteren Schritt können aus diesen Ioneneigenschaften elementare Eigenschaften wie z.B. die Ladungszustandsverteilung der Elemente und Elementkomposition des Sonnenwindes abgeleitet werden. Beide Masterarbeiten werden derzeit im Rahmen von zwei Doktorarbeiten weitergeführt. Dabei wird unter anderem daran gearbeitet, ein Datenprodukt zu erstellen, das erlaubt, aus den Magnetfeldmessungen der Missionen ACE und Wind die Magnetfeldkonfiguration am Ort von SOHO zu rekonstruieren. Dies ist von großer Wichtigkeit da diese für zahlreiche Studien unerlässliche Größe auf SOHO leider nicht direkt gemessen werden kann (SOHO hat kein Magnetometer). Neben den oben erwähnten Arbeiten zu CTOF beschäftigt sich Herr Jia Yu im Rahmen seiner Doktorarbeit mit CELIAS/(H)STOF. Frau Dr. Verena Heidrich-Meisner arbeitet mit DFG-Förderung mit CELIAS/MTOF. Für beide Instrumente wurden ebenfalls umfangreiche In-Flight Kalibrationen durchgeführt. Als wichtiger Meilenstein für STOF sei an dieser Stelle erwähnt dass Herr

Yu ein Model entwickelt hat, das es erlaubt den sehr hohen instrumentellen Hintergrund in den Daten präzise zu charakterisieren. Damit hat er das Fundament für eine vernünftige wissenschaftliche Auswertung der Daten geliefert. Erste Ergebnisse dieser Auswertung wurden auf Konferenzen vorgestellt und zwei Publikationen eingereicht. Da durch den Ausfall von CTOF eine wichtige Grundlage für die MTOF-Datenauswertung verloren gegangen ist beschäftigt sich Frau Dr. Heidrich-Meissner derzeit damit analog zum oben erwähnten Magnetfeld diese fehlenden Informationen von ACE auf SOHO zu übertragen.

- **Betreuung der CELIAS WWW Seiten:** Das letzte Update der alten CELIAS Homepage in Bern wurde im November 2007 durchgeführt. Im Zuge dieses Projektes wurde die alte Homepage aus Bern nach Kiel übertragen und auf dem Stand von 2007 archiviert. Danach wurde die gesamte Seite überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht. Das Layout der Seite wurde vereinheitlicht, wobei im Teile des alten Layouts zu einem neuen für alle Seiten einheitlichen zusammengefasst wurde. Im besonderen wurde die Menüführung vereinheitlicht um die Benutzerführung auf der Seite zu verbessern. Inhaltlich wurden z.B. die Publikationsliste auf den neuesten Stand gebracht und an etlichen Stellen veraltete Verweise entfernt bzw. aktualisiert. Bzgl. des letzten Punktes, Bereitstellung der Daten wurde ein Plotter für CTOF-Daten hinzugefügt.
- **Kommandierung von STOF und HSTOF:** Die notwendigen Kenntnisse für die Kommandierung wurden nach Kiel transferiert. Nach Rücksprache mit Herrn Dr. Bernd Klecker und Herrn Dr. Martin Hilchenbach wurde die Konfiguration von STOF und HSTOF jedoch nicht verändert. Die für die Funktion wichtigsten Spannungen an den Micro Channel Plates (MCPs) sind bereits auf ihr Maximum eingestellt. So reduziert sich die Ansprechwahrscheinlichkeit der Sensoren nun mit der Zeit und kann nicht mehr durch Erhöhen der MCP-Spannung kompensiert werden.
- **Kommandierung von MTOF und des PM:** Hier gilt im wesentlichen das gleiche wie bei STOF/HSTOF. Eine weitere Kommandierung ist aufgrund der fortgeschrittenen Missionsdauer nicht sinnvoll, da sich alle Einstellungen die die Ansprechwahrscheinlichkeit betreffen bereits auf dem maximalen/optimalen Wert befinden. Darüber hinaus wurde beschlossen den Operationsmodus nicht weiter zu ändern und eine größtmögliche Konsistenz der Daten zu erhalten. Die derzeit verwendeten Einstellungen für alle vier Instrumente sind bei der NASA hinterlegt und werden im Falle eines Neustarts automatisch eingespielt.
- **Vertretung von CELIAS an zwei SWTs pro Jahr, davon eines in Europa und eines in USA:** Diese wurden in der Regel mit Konferenzen verbunden (AGU, ECRS, SW, etc.).
- **Organisation von Team meetings und der wissenschaftlichen Ausbeute von CELIAS:** Leider konnten wir nur ein einziges CELIAS-Meeting organisieren, es fehlten dafür die Mittel. Das Treffen am Max-Panck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) in Göttingen im August 2014 war sehr erfolgreich und die Zusammenarbeit mit Drs. Hilchenbach und Kallenbach konnte so intensiviert werden.

4.2 Eingehende Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

4.3 Eingehende Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die für SOHO/CELIAS zu übernehmenden Aufgaben übersteigen die Möglichkeiten unserer Arbeitsgruppe, einen Post-Doc, zwei Hiwis und Reisemittel zu bestreiten, bei weitem. Wir waren deshalb auf die Förderung durch das DLR angewiesen. Im Rückblick wäre gar eine personelle Aufstockung um einen weiteren Post-Doc oder mindestens einen Doktoranden sehr angebracht gewesen. CELIAS ist ein sehr komplexes Instrument mit sehr unterschiedlichen Sensoren, die eigentlich je einen Spezialisten brauchen. Dies können wir als kleine universitäre Arbeitsgruppe in einem kleinen Institut schlichtweg nicht leisten. Wir haben deshalb parallel bei der DFG einen Antrag für Datenanalyse von MTOF-Daten gestellt, der auch bewilligt wurde. Des Weiteren haben wir zwei MSc-Arbeiten vergeben, die das Projekt einen großen Schritt weitergebracht haben. Beide werden z.Zt. als Doktoranden weiterbeschäftigt, allerdings ist die Situation um deren Stellen prekär und wir sind auf eine unsichere Förderung durch die DFG angewiesen.

4.4 Eingehende Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das Vorhaben dient der Bereitstellung von Daten für die Grundlagenforschung. Es ist deshalb schwierig, konkreten Nutzen der Ergebnisse des Vorhabens zu nennen.

Das wissenschaftliche Programm der ESA gehört zu den obligatorischen Aufgaben der ESA. Als ESA-Mitglied ist auch Deutschland an diese Vorgabe gebunden.

Nach den förderpolitischen Zielen des Deutschen Raumfahrtprogrammes bilden die Wissenschafts- und Infrastrukturprogramme den Kern deutscher Aktivitäten in der ESA. Die Programmziele nennen die Erforschung des Weltraumes als eines der acht Fachprogramme. Die Erforschung des Weltraumes zielt auf ein besseres Verständnis von Ursprung, Aufbau und Entwicklung des Kosmos und zugleich von Herkunft, Bedingungen und Zukunft unserer eigenen Existenz. Unter diesem Punkt ist die Erforschung der Sonne als einzigen Stern, der im Detail untersucht werden kann, von zentraler Bedeutung.

SOHO und CELIAS wurden in wissenschaftlichen Gremien als Mission und Instrument ausgewählt, durchaus auch unter Abwägung des Verhältnisses von Nutzen und Kosten. SOHO unterliegt alle zwei Jahre einer Überprüfung durch die wissenschaftliche Beratungsstruktur der ESA und wurde jedesmal bestätigt. Damit kann festgehalten werden, dass der wissenschaftliche Nutzen der SOHO und auch der CELIAS-Daten international bestätigt wird.

Ein weiterer Punkt - und vom universitären Standpunkt aus ein ganz wichtiger - ist die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Neben Berichten zu Forschungspraktika wurden in diesem Projekt folgende Abschlussarbeiten geschrieben:

- **A. Fischer:** BSc-Arbeit zum Vorkommen magnetischer Wolken und von koronalen Massenauswürfen.
- **F. Kleinicke:** BSc-Arbeit zur Modellierung der Ladungsverteilungen schwerer Sonnenwindionen.
- **N. Janitzek:** MSc-Arbeit zum differentiellen Strömen schwerer Sonnenwindionen. Die Publikation bei A&A wird vorbereitet.
- **A. Taut:** MSc-Arbeit zum Ursprung von Pickupionen der inneren Quelle. Die Arbeit wurde in A&A publiziert (*Taut et al.*, 2015).

- **M. Kruse:** Diplomarbeit zur massiv parallelen Implementierung eines Sonnenwindmodelles. Die Arbeit wird in Herrn Kruses Doktorarbeit weitergeführt.

Zur Zeit laufen vier Doktorarbeiten:

- **N. Janitzek:** Untersuchungen zu den kinetischen Eigenschaften schwerer Sonnenwindionen.
- **M. Kruse:** Implementierung eines massiv parallelen Sonnenwindmodelles für Untersuchungen über den Ursprung einzelner Sonnenwindpakete.
- **A. Taut:** Untersuchungen zur inneren Quelle von Pickupionen.
- **J. Yu:** Untersuchungen zum Transport von suprathermalen Ionen.

4.5 Eingehende Darstellung des während des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Erforschung des Weltraumes und der Heliosphäre im Besonderen ist ein derart großes Gebiet, dass eine eingehende Darstellung der Fortschritte auf diesem Gebiet weder dem Leser noch dem Verfasser zumutbar ist. Wir nennen hier deshalb beispielhaft einige an anderen Stellen errungene Fortschritte, die einen wesentlichen Bezug zu SOHO/CELIAS haben.

Heliosphärenforschung und Interstellares Medium: Die Interaktion von stellaren Winden mit dem sie umgebenden interstellaren Medium führt typischerweise zur Bildung sogenannter Astrophären. Auch unsere Sonne formt eine Astrosphäre, die sogenannte Heliosphäre. Die Ausdehnung der Heliosphäre und die interessanten plasmaphysikalischen Phänomene in der Übergangsregion vom Sonnenwind ins lokale interstellare Medium entzogen sich lange Zeit direkten Beobachtungen. Aus Simulationen vermutete man lange Zeit einen Abstand dieser Übergangsregion von über 140 Astronomischen Einheiten. In den letzten 10 Jahren ergab sich jedoch durch die Beobachtungen der beiden Voyager Sonden ein neues Bild, so haben beide Sonden den sogenannten Terminationschock wesentlich früher (V1 bei 94 AE in 2004; V2 bei 84 AE in 2007) als erwartet passiert *Cummings* und *Stone* (2005); *Decker et al.* (2007). Derzeit gibt es eine kontroverse Diskussion ob Voyager 1 2012 bei einer Entfernung von ca. 120 AE sogar schon die Heliopause passiert und somit unser Sonnensystem verlassen hat oder nicht *Fisk* und *Gloeckler* (2014). Durch die von beiden Sonden gemachten Beobachtungen mussten viele Konzepte und Modelle überdacht und angepasst werden. Eine wichtige Alternative zu In-Situ Messungen in den äußeren Bereichen der Heliosphäre bieten Beobachtungen des Neutralgases in der in der inneren Heliosphäre. Da neutrale Teilchen nicht vom interplanetaren und interstellaren Magnetfeld beeinflusst werden, können diese ungehindert bis tief in die Heliosphäre eindringen und dort gemessen werden. Seit 2008 haben die Beobachtungen des Instellar Boundary Explorers (IBEX) zum Verständniss der heliosphärischen Grenzschichten beigetragen. IBEX misst auf einem Erdbundenen Orbit sogenannte Energetic Neutral Atoms (ENAs), also energiereiche neutrale Teilchen, die an der Grenzschicht der Heliosphäre entstehen, und erlaubt es somit, ein globales Abbild der Grenzschicht zu erstellen *McComas et al.* (2009). Des Weiteren ist es durch die neutrale Komponente des interstellaren Windes möglich, Eigenschaften des interstellaren Mediums durch in-situ Messungen in der inneren Heliosphäre zu bestimmen. Durch Ionisationsprozesse in der inneren Heliosphäre entstehen aus den interstellaren Atomen sogenannte Pickupionen, die erstmals 1985 direkt gemessen wurden *Moebius et al.* (1985). Seitdem wurden Pickupionen eingehend studiert und neben einer Vielzahl von Beobachtungen gibt es umfangreiche Modelle um die Eigenschaften von

Pickupionen zu beschreiben. Aktuelle Ergebnisse die mit Daten von STEREO/PLASTIC erzielt wurden deuten jedoch darauf hin, dass einige der Grundannahmen, die zur standardmässigen Beschreibung von Pickupionen verwendet werden nicht korrekt sind. So gibt es z.B. eindeutige Hinweise darauf, dass die Annahme einer nahezu instantanen Isotropisierung der PUIs falsch ist, und diese um Größenordnungen langsamer stattfindet *Drews et al.* (2015).

Sonnenwindforschung und Interplanetares Medium: Der Sonnenwind und im Besonderen die Protonenkomponente des Sonnenwindes dominiert das interplanetare Medium in der inneren Heliosphäre. Auf größeren Skalen bestimmen die solaren Protonen die Struktur des interplanetaren Mediums, die zudem gut durch die Gleichungen der Magnetohydrodynamik beschrieben werden kann. Messungen der hierfür wichtigen und gut bestimmbar Parameter Geschwindigkeit, Temperatur und Dichte der Protonen wurden und werden von einer Vielzahl von Instrumenten routinemässig durchgeführt, was über die Jahrzehnte zu einem sehr guten Verständnis der Struktur der inneren Heliosphäre geführt hat. Anders sieht es jedoch aus, wenn man zu kleinen Skalen, zur sog. Mikrophysik, übergeht. Hier gibt es zahlreiche Beobachtungen von Phänomenen, die bislang nur unzureichend verstanden sind. Wir gehen hier auf drei davon genauer ein. Zehn Jahre nach der erstmaligen Beobachtung interstellarer PUIs (s.o.) wurde eine weitere Population von Pickupionen entdeckt, deren Ursprung sehr wahrscheinlich innerhalb der Heliosphäre liegt *Geiss et al.* (1995). Bisher konnte aus Beobachtungen allerdings nicht abschliessend gezeigt werden, welches der verschiedenen vorgeschlagenen Szenarien für deren Ursprung richtig ist, und so ist die genaue Natur dieser inneren Quelle bis heute nicht bekannt. Neueste Beobachtungen sprechen jedoch deutlich für eine Wechselwirkung zwischen interplanetarem Staub und Sonnenwindionen *Allegrini et al.* (2005). Es ist seit Langem bekannt, dass sich das Sonnenwindplasma in den meisten Fällen nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befindet. Bei Protonen im Sonnenwind beobachtet man, dass deren Temperatur entlang des Magnetfelds sich von der Temperatur senkrecht zum Magnetfeld unterscheidet. Des Weiteren können die Geschwindigkeitsverteilungen von Protonen einen Strahl entlang des Magnetfeldes ausbilden *Marsch et al.* (1982). Für die schweren und äußerst seltenen Sonnenwindionen gibt es bedeutsam weniger Beobachtungen und unsere Kenntnisse über deren detaillierten Geschwindigkeitsverteilungen sind entsprechend gering. So gibt es z.B. bzgl. eines interessanten Phänomens, dem differentiellen Strömen der schweren Ionen im Bezug auf die Sonnenwindprotonen, z.T. widersprüchliche Messungen. Neueste Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass dieses differentielle Strömen unter gewissen Bedingungen immer und für alle Ionen gleichzeitig auftritt *Berger et al.* (2011). Es ist sehr wahrscheinlich auf Welle-Teilchenwechselwirkungen im stoßfreien Sonnenwindplasma zurückzuführen. Der Sonnenwind bietet an dieser Stelle die Möglichkeit, dieses für die Plasmaphysik äußerst interessante Gebiet unter Bedingungen zu studieren, die im Labor nicht nachgebildet werden können. Ebenfalls im Labor nicht zu erforschen ist die stoßfreie Beschleunigung an Schocks. Hier wurden in den letzten Jahre große Fortschritte gemacht, so dass die Beschleunigung von Teilchen mittlerweile sehr gut verstanden ist. Neueste Multi-Spacecraft-Beobachtungen haben jedoch gezeigt, dass die Transporteffekte, denen diese Teilchen unterliegen, unzureichend verstanden sind. So wurden solare Teilchenstürme durch mehrere, in der Heliosphäre weit verbreitete, Raumsonden beobachtet, was durch gängige Theorien nicht oder nur schlecht erklärt werden kann *Dresing et al.* (2014). Der Schlüssel dazu liegt sehr wahrscheinlich in der o.g. Mikrophysik, weshalb unsere Messungen auch für andere Gebiete von Bedeutung sind.

4.6 Eingehende Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im Folgenden sind die Kurzfassungen der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen dieses Vorhabens wiedergegeben. Es ist keine abschließende Publikationsliste, diese ist im Anhang gegeben.

4.6.1 Heliosphärenforschung und Interstellares Medium

Die Voyager-Sonden passieren den Terminationschock und V1 die Heliopause:

- **Title : Solar wind He pickup ions as source of tens-of-keV/n neutral He atoms observed by the HSTOF/SOHO detector**

Authors : Grzedzielski, S.; Swaczyna, P.; Czechowski, A.; Hilchenbach, M.

Publication : Astronomy & Astrophysics, Volume 563, id.A134, 6 pp., 03/2014

Abstract : Context. Since 1996, during periods of low solar activity, the HSTOF instrument on board the SOHO satellite has been measuring weak fluxes of He atoms of 28-58 keV/n (helium energetic neutral atoms, He ENAs). The probable source region is the inner heliosheath. Aims: We aim to understand the emission mechanism of He ENAs based on knowledge of the heliosheath spatial extent and plasma content resulting from Voyager 1 and 2 measurements in the period after termination shock crossings. Methods: He ENAs are generated by charge-exchange neutralization of energetic helium ions on interstellar neutral H and He. Energy spectra of helium ions in the heliosheath are calculated by following the evolution of their velocity distribution functions when carried by and undergoing binary interactions with plasma constituents of a background flow whose particle populations are modeled to approximately render post-termination-shock Voyager data. Results: The observed HSTOF He ENAs form a higher energy part of general heliospheric He ENA fluxes and can be explained by the proposed mechanism to within 2σ error. The main factor determining the level of emission (and its uncertainty) is the energy spectrum of He^+ pickup ions in post-termination-shock plasmas.

- **Title : HSTOF ENA observations and energetic ion distributions in the heliosheath**

Authors : Czechowski, A.; Hilchenbach, M.; Hsieh, K. C.

Publication : Astronomy & Astrophysics, Volume 541, id.A14, 10 pp. 05/2012

Abstract : Context. Launched in 1996, HSTOF on board SOHO was the first instrument to detect the energetic neutral atoms (ENA) from the heliosheath. After mid 2003, the field of view of HSTOF was restricted to the flank sectors of the heliosheath, in which region the energetic ion distributions are still unknown. Interpretation of these data requires understanding of the energetic ion transport in the inner heliosheath. Aims: We update the HSTOF ENA hydrogen and helium spectra by adding the results from the recent (2006-2010) measurements. We calculate the energetic ion distributions in a numerical model of the heliosheath and use them as a basis for interpreting the HSTOF ENA observations, in particular those of the flank sectors. Methods: The hydrogen and helium ENA spectra were derived from the HSTOF observations of two 90° -wide ecliptic longitude sectors around the crosswind directions. The energetic ion distributions in the heliosheath were calculated in a simple model of the heliosphere, assuming that the main acceleration occurs at the termination shock. The effects of different processes (charge-exchange loss, adiabatic acceleration, parallel diffusion and escape across the boundary) were determined with different assumptions about the boundary conditions and the transport parameters. The resulting ion distributions were used to calculate the ENA fluxes, which can be compared with the observations by HSTOF and other instruments. Results:

The energetic ion density in the flank sectors of the heliosphere is lower than in the forward (upwind) sector. As a result, the contribution of the flanks of the heliosheath to the production of ENA is not directly proportional to the thickness of the heliosheath, but instead is comparable to the contribution of the forward sector, which agrees with the HSTOF data. The HSTOF ENA flux intensity is nevertheless significantly lower than the model calculations. Near the heliopause there appears a region of low energetic ion density caused by the charge-exchange and the escape losses.

We dedicate this work to the memory of our longstanding coworker and dear colleague Karin Bamert.

Interstellare Pickupionen:

- **Title : Observations of the He^+ Pickup Ion Torus Velocity Distribution Function with SOHO/CELIAS/CTOF**

Authors : Taut, A.; Berger, L.; Drews, C.; Wimmer-Schweingruber, R. F. ; Bochsler P. ; Klecker B.

Publication : Proceedings SW14, manuscript in preparation

Abstract : Interstellar Pickup Ions (PUIs) are created from neutrals coming from the interstellar medium that get ionized inside the heliosphere. Once ionized, the freshly created ions are injected into the magnetized solar wind plasma with a highly anisotropic torus-shaped Velocity Distribution Function (VDF). It has been commonly assumed that wave-particle interactions rapidly destroy this torus by isotropizing the distribution in one hemisphere of velocity space. In contrast to that, models that try to explain the puzzling IBEX results showing a ribbon of enhanced Energetic Neutral Particle (ENA) flux require a relatively stable torus VDF of the involved PUIs. However, recent investigations proved the assumption of a rapid isotropization to be oversimplified as clear signatures of the initial He^+ torus distribution were observed. The aim of this work is to complement on these studies. Using He^+ data from the Charge Time-Of-Flight (CTOF) sensor of the Charge, Element, and Isotope Analysis System (CELIAS) on-board the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) and magnetic field data from the Magnetic Field Investigation (MFI) magnetometer of the WIND spacecraft, we derive the projected 1-D VDF of He^+ for different magnetic field configurations. Depending on the magnetic field direction, the initial torus VDF lies inside CTOF's aperture or not. By comparing the VDFs derived under different magnetic field directions with each other we reveal an anisotropic signature of the He^+ VDF. Furthermore, we show that this signature is consistent with a torus VDF by calculating the 1D VDF that CTOF would measure for artificial 2D torus VDFs.

Thus, we confirm the presence of a population of PUIs that have not been isotropized by wave-particle interactions, which questions the efficiency of this process with respect to the isotropization of PUI VDFs.

4.6.2 Sonnenwindforschung und Interplanetares Medium

Inner-Source Pickupionen:

- **Title : Composition of inner-source heavy pickup ions at 1 AU: SOHO/CELIAS/CTOF observations. Implications for the production mechanisms**

Authors : Taut, A.; Berger, L.; Drews, C.; Wimmer-Schweingruber, R. F.

Publication : Astronomy & Astrophysics, Volume 576, id.A55, 10 pp, 04/2015

Abstract : Context. Pickup ions in the inner heliosphere mainly originate in two

sources, one interstellar and one in the inner solar system. In contrast to the interstellar source that is comparatively well understood, the nature of the inner source has not been clearly identified. Former results obtained with the Solar Wind Ion Composition Spectrometer on-board the Ulysses spacecraft revealed that the composition of inner-source pickup ions is similar, but not equal, to the elemental solar-wind composition. These observations suffered from very low counting statistics of roughly one C^+ count per day. Aims: Because the composition of inner-source pickup ions could lead to identifying their origin, we used data from the Charge-Time-Of-Flight sensor on-board the Solar and Heliospheric Observatory. It offers a large geometry factor that results in about 100 C^+ counts per day combined with an excellent mass-per-charge resolution. These features enable a precise determination of the inner-source heavy pickup ion composition at 1 AU. To address the production mechanisms of inner-source pickup ions, we set up a toy model based on the production scenario involving the passage of solar-wind ions through thin dust grains to explain the observed deviations of the inner-source PUI and the elemental solar-wind composition. Methods: An in-flight calibration of the sensor allows identification of heavy pickup ions from pulse height analysis data by their mass-per-charge. A statistical analysis was performed to derive the inner-source heavy pickup ion relative abundances of N^+ , O^+ , Ne^+ , Mg^+ , Mg^{2+} , and Si^+ compared to C^+ . Results: Our results for the inner-source pickup ion composition are in good agreement with previous studies and confirm the deviations from the solar-wind composition. The large geometry factor of the Charge-Time-of-Flight sensor even allowed the abundance ratios of the two most prominent pickup ions, C^+ and O^+ , to be investigated at varying solar-wind speeds. We found that the O^+/C^+ ratio increases systematically with higher solar-wind speeds. This observation is an unprecedented feature characterising the production of inner-source pickup ions. Comparing our observations to the toy model results, we find that both the deviation from the solar-wind composition and the solar-wind-speed dependent O^+/C^+ ratio can be explained.

- **Title : Short-term variability of inner-source pickup ions at 1 AU. SOHO/CELIAS observations**

Authors : Berger, L.; Drews, C.; Taut, A.; Wimmer-Schweingruber, R. F.

Publication : Astronomy & Astrophysics, Volume 576, id.A54, 6 pp. 04/2015

Abstract : Context. In 1995 a second extended source of pickup ions in the inner heliosphere was discovered. Since then this so-called inner source has been characterised in many studies, and various scenarios for its nature have been proposed. But to this day, the detailed nature of the inner source is still unknown. Aims: Although it seems most likely that an interaction of solar wind and dust plays a key role in the production of the inner source pickup ions, available observations have not provided conclusive evidence for any proposed scenario. By analysing the short-term variability of the inner source, we determine a new observational constraint to address the nature of the inner source. Methods: We used the data set of the charge time-of-flight instrument that operated in 1996 on-board the solar and heliospheric observatory at the first Lagrangian point to analyse inner source O^+ and C^+ . The unmatched combination of mass per charge resolution, which is sufficient to definitely resolve O^+ and C^+ , and typical high count rates of about 150 counts per day allowed us to address the short-term variability of the inner source for the first time. Results: The comparison of the variability of inner-source and solar-wind ions shows that the flux of inner source pickup oxygen and carbon is directly correlated with the flux of solar wind oxygen, and carbon, respectively. Conclusions: Among the scenarios for the nature of the inner source alone, the scenario of solar-wind neutralisation agrees with this new observational constraint.

- **Title : Heavy pickup ion w-spectra at 1 AU with SOHO/CELIAS/CTOF**
 Authors : Berger, L.; Drews, C.; Taut, A.; Wimmer-Schweingruber, R. F.
 Publication : SOLAR WIND 13: Proceedings of the Thirteenth International Solar Wind Conference. AIP Conference Proceedings, Volume 1539, pp. 386-389, 06/2013
 Abstract : There is ample evidence that pickup ions in the inner heliosphere have two distinct sources. The first source is well identified. Interstellar neutral atoms that can penetrate deep into the heliosphere unimpeded by the solar magnetic field and become ionised by solar UV radiation, or charge exchange with solar wind. Their interstellar origin has been unambiguously identified by observations. In contrast, the nature of the second, so-called inner source, remains unclear. Previous studies suffered from very low counting statistics that did not allow to distinguish between several proposed scenarios. We have analysed data from the Charge Time-Of-Flight instrument on-board the Solar Heliospheric Observatory and found that C^+ and O^+ are well resolved and furthermore the counting statistics delivered by the Charge Time-Of-Flight instrument is unprecedented. Here we present short-term w-spectra of C^+ and O^+ .

Ursprung des Sonnenwindes:

- **Title : FIP effect for minor heavy solar wind ions as seen with SOHO/CELIAS/MTOF**
 Authors : Heidrich-Meisner V. , Berger L. , Wimmer-Schweingruber R. F. , Wurz P. , Bochsler P. , Ipavich F. M. , Paquette J. A. and Klecker B.
 Publication : Proceedings SW14, manuscript in preparation
 Abstract : A recent paper [Shearer et al., 2014] reported that during solar maximum Ne showed a surprisingly low abundance compared to its photospheric abundance. This leads to the question whether other elements show the same behavior. The good mass resolution of Mass-Time-Of-Flight (MTOF) on the Solar Heliospheric Observatory (SOHO) allows to investigate the composition of heavy minor elements in different types of solar wind. We restrict this study to slow solar wind, where the characterisation of slow solar wind is taken from Xu and Borovsky, 2014. This classification scheme requires magnet field information. Since SOHO does not carry a magnetometer, we use the Magnetometer (MAG) of the Advanced Composition Explorer (ACE) instead. The Solar Wind Ion Composition Spectrometer (ACE/SWICS) also provides composition data for cross-calibration and charge-state distributions as input for the transmission function of MTOF whenever the two spacecraft can be expected to observe the same type of wind. We illustrate MTOFs capability to determine the solar wind abundance compared to the photospheric abundance (called the FIP ratio in the following) for rare elements like Ti or Cr on long-time scales as a proof of concept for our analysis. And indeed, in this brief study, measurements with both Ace/SWICS and MTOF support that all observed elements exhibit a dependence on the solar cycle.

Mikrophysik im Sonnenwindplasma:

- **Title : High-Time Resolution Measurements of Solar Wind Heavy Ions with SOHO/CELIAS/CTOF**
 Publication : Proceedings SW14, manuscript in preparation
 Authors : N. Janitzek, L. Berger, R. F. Wimmer-Schweingruber
 Abstract : The Charge Time-Of-Flight (CTOF) mass spectrometer as part of the Charge, ELement and Isotope Analysis System (CELIAS) onboard the SOLar and Heliospheric Observatory (SOHO) is designed to measure the kinetic properties and elemental/ionic composition of solar wind ions heavier than protons, which we refer

to as heavy ions. This is achieved by the combined measurements of the energy-per-charge, the time-of-flight and the energy of incident ions. The CTOF instrument combines a remarkable time-of-flight resolution with a large effective area and a high measurement cadence. This allows to determine the Velocity Distribution Functions (VDFs) of a wide range of heavy ions with 5-minute time resolution which ensures that the complete VDF is measured under nearly identical solar wind and magnetic field conditions. In these proceedings we pre-publish our results of the kinetic properties of solar wind iron ions Fe⁸⁺, Fe⁹⁺, and Fe¹⁰⁺ for the measurement period between Day Of Year (DOY) 150 and 220 in 1996. Our investigation focuses on the issue of heavy ion differential streaming with respect to the solar wind bulk proton velocity measured simultaneously with the CELIAS Proton Monitor (PM), as well as on the comparison between heavy ion and proton temperatures: With increasing proton velocity we find an increasing differential streaming for all three investigated iron ions up to ≈ 35 km/s in the case of Fe⁸⁺ and ≈ 45 km/s for Fe⁹⁺ and Fe¹⁰⁺. Furthermore, for all these ions we find a clear signature of equal thermal velocities rather than equal kinetic temperatures. In contrast to an earlier study by Hefti et al. (1998)*, who did not find a significant differential streaming for Fe⁹⁺, our study is based on the raw CTOF Pulse Height Analysis (PHA) data to which we applied a sophisticated in-flight calibration model including the CTOF sensor response to all relevant solar wind ions. Consequently, we are able to extend this study to a wide range of elements including helium, carbon, oxygen, neon, magnesium, silicon, sulfur, and calcium.

* S. Hefti et al., Kinetic Properties of Solar Wind Minor Ions and Protons Measured with SOHO/CELIAS. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, No. A12, Pages 29,697-29,704, December 1, 1998

Beschleunigung und Transport von suprathermalen Teilchen an CIRs:

- **Title : Suprathermal Helium Associated with Corotating Interaction Regions: A Case Study**

Authors : J. Yu , L. Berger , R. F. Wimmer-Schweingruber , M. Hilchenbach , R. Kallenbach , B. Klecker and J. Guo

Publication : Proceedings SW14, submitted

Abstract : Enhancements of suprathermal particles observed at 1AU often can be related to Corotating Interaction Regions (CIRs). The compression regions associated with CIRs and their driven shocks which typically form at a few AU distance to the Sun can efficiently accelerate particles. If accelerated at the trailing edge of a CIR these particles can travel sunward along the ambient magnetic field and thus enhanced fluxes can be observed even if the acceleration region has passed over the spacecraft. We have analysed a CIR that has been observed at L1 by ACE/SWICS and SOHO/CELIAS/STOF on days 207 and 208 in 2003. The combination of SWICS and STOF data allowed us to study suprathermal Helium ranging from its onset at solar wind bulk energies up to 330 keV/nuc. Here we present our results for the temporal evolution of the flux, energy spectra and the He⁺/He⁺⁺ ratio. In particular we present observational evidence for a turnover of the energy spectra at lower energies after the CIR passage which has been theoretically predicted but never been observed so far.

- **Title : Suprathermal Helium in Corotating Interaction Regions Measured with SOHO/CELIAS/STOF and ACE/SWICS**

Authors : J. Yu , L. Berger , R. Wimmer-Schweingruber , M. Hilchenbach , R. Kallenbach , B. Klecker , and P. Bochsler

Publication : *Astronomy & Astrophysics*, manuscript in preparation

Abstract : Context. The classical theoretical model by Fisk & Lee (1980) explains that suprathermal particle enhancements associated with CIRs arise from the sunward propagation of particles accelerated by CIR-driven shocks beyond 1 AU. Due to the adiabatic cooling effect, these sunward travelling particles will lose energy when they propagate against the out-flowing solar wind, and result in a turnover in the energy spectra below ~ 0.5 MeV/nuc. However, recent observations by Mason et al. (1997), Reames et al. (1997), and Chottoo et al. (2000) did not show this predicted turnover. Aims. We investigate the He^{++} temporal spectral evolution of 16 CIRs from the solar wind through the suprathermal energy range in order to verify the Fisk & Lee CIR model. Methods. Data from SOHO/CELIAS/STOF were used for the spectral analysis and combined with ACE/SWICS. The boundaries of CIRs were determined with the magnitude of interplanetary magnetic field measured by ACE/MAG, and physical parameters of solar wind from SOHO/CELIAS/MTOF/PM and ACE/SWEPAM. Results. Six CIRs were found to show apparent turnover spectra between ≈ 10 and 40 keV/nuc in the fast solar wind, of which two CIRs exhibited turnover spectra even starting in the compressed fast wind regions. Specifically, the turnover spectra showed a gap between solar wind bulk distribution and suprathermal tails. The turnover part of spectra became flatter and shifted from lower to higher energies with the connection distance to the reverse shock, as predicted by the Fisk & Lee model. The other CIRs showed continuous power law spectra in the fast solar wind regions, i.e., the same behaviour as seen in previous observations.

Die vollständige Publikationsliste von SOHO/CELIAS ist im Anhang aufgeführt.

5 Unterschriften

Kiel, 29. September 2015

Prof. Dr. R. F. Wimmer-Schweingruber

Literatur

- Allegrini, F., N. A. Schwadron, D. J. McComas, G. Gloeckler, und J. Geiss: “Stability of the inner source pickup ions over the solar cycle”. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, **110**, (2005), 5105.
- Berger, L., R. F. Wimmer-Schweingruber, und G. Gloeckler: “Systematic Measurements of Ion-Proton Differential Streaming in the Solar Wind”. *Physical Review Letters*, **106**(15), (2011), 151103.
- Cummings, A. C. und E. C. Stone: “Characteristics of the Termination Shock: Insights from Voyager”. In “The Physics of Collisionless Shocks: 4th Annual IGPP International Astrophysics Conference”, edited by G. Li, G. P. Zank, und C. T. Russell, volume 781 of *American Institute of Physics Conference Series* (2005). 273–277.
- Czechowski, A., M. Hilchenbach, und K. C. Hsieh: “HSTOF ENA observations and energetic ion distributions in the heliosheath”. *A&A*, **541**, (2012), A14.
- Decker, R. B., S. M. Krimigis, E. C. Roelof, und M. E. Hill: “Foreshock, termination shock, and heliosheath: Voyager 1/2 observations of structure and turbulence”. In “Turbulence and Nonlinear Processes in Astrophysical Plasmas”, edited by D. Shaikh und G. P. Zank, volume 932 of *American Institute of Physics Conference Series* (2007). 197–202.

- Dresing, N., R. Gómez-Herrero, B. Heber, A. Klassen, O. Malandraki, W. Dröge, und Y. Kartavykh: “Statistical survey of widely spread out solar electron events observed with STEREO and ACE with special attention to anisotropies”. *A&A*, **567**, (2014), A27.
- Drews, C., L. Berger, A. Taut, T. Peleikis, und R. F. Wimmer-Schweingruber: “2D He⁺ pickup ion velocity distribution functions: STEREO PLASTIC observations”. *A&A*, **575**, (2015), A97.
- Fisk, L. A. und G. Gloeckler: “On Whether or Not Voyager 1 has Crossed the Heliopause”. *ApJ*, **789**, (2014), 41.
- Geiss, J., G. Gloeckler, L. A. Fisk, und R. von Steiger: “C⁺ pickup ions in the heliosphere and their origin”. *J. Geophys. Res.*, **100**, (1995), 23373–23378.
- Grzedzielski, S., P. Swaczyna, A. Czechowski, und M. Hilchenbach: “Solar wind He pickup ions as source of tens-of-keV/n neutral He atoms observed by the HSTOF/SOHO detector”. *A&A*, **563**, (2014), A134.
- Guo, Z., E. Möbius, B. Klecker, P. Bochsler, J. J. Connell, Y. Y. Kartavykh, G. M. Mason, und M. A. Popecki: “Observation of High Iron Charge States at Low Energies in Solar Energetic Particle Events”. *ApJ*, **785**, (2014), 26.
- Janitzek, N. P., L. Berger, C. Drews, P. A. Bochsler, B. Klecker, und R. F. Wimmer-Schweingruber: “High-Time Resolution Measurements of Heavy Ions with SOHO/CELIAS/CTOF”. *AGU Fall Meeting Abstracts*, A4134.
- Marsch, E., R. Schwenn, H. Rosenbauer, K.-H. Muehlhaeuser, W. Pilipp, und F. M. Neubauer: “Solar wind protons - Three-dimensional velocity distributions and derived plasma parameters measured between 0.3 and 1 AU”. *J. Geophys. Res.*, **87**, (1982), 52–72.
- McComas, D. J., F. Allegrini, P. Bochsler, M. Bzowski, M. Collier, H. Fahr, H. Fichtner, P. Frisch, H. O. Funsten, S. A. Fuselier, *et al.*: “IBEX – Interstellar Boundary Explorer”. *Space Sci. Rev.*, **146**, (2009), 11–33.
- Moebius, E., D. Hovestadt, B. Klecker, M. Scholer, und G. Gloeckler: “Direct observation of He(+) pick-up ions of interstellar origin in the solar wind”. *Nature*, **318**, (1985), 426–429.
- Taut, A., L. Berger, P. A. Bochsler, C. Drews, B. Klecker, und R. F. Wimmer-Schweingruber: “The Composition of Inner-source Heavy Pickup Ions: SOHO/CELIAS/CTOF Results”. *AGU Fall Meeting Abstracts*, B4122.
- Taut, A., L. Berger, C. Drews, und R. F. Wimmer-Schweingruber: “Composition of inner-source heavy pickup ions at 1 AU: SOHO/CELIAS/CTOF observations. Implications for the production mechanisms”. *A&A*, **576**, (2015), A55.
- Yu, J., L. Berger, R. F. Wimmer-Schweingruber, B. Heber, M. Hilchenbach, R. Kallenbach, P. A. Bochsler, und B. Klecker: “The Variability of Suprathermal Pickup He⁺ Measured with SOHO/CELIAS/STOF”. *AGU Fall Meeting Abstracts*, B4121.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht	
3a. Titel des Berichts Schlussbericht zum Vorhaben 50 OC 1103		
3b. Titel der Publikation		
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Wimmer-Schweingruber, Robert F.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.März 2015	
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum 30. September 2015	
	7. Form der Publikation Schlussbericht	
	9. Ber.Nr. Durchführende Institution	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstraße 11, 24118 Kiel	10. Förderkennzeichen 50 OC 1103	
	11a. Seitenzahl Bericht 16	
	11b. Seitenzahl Publikation	
	12. Literaturangaben	
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	14. Tabellen -	
	15. Abbildungen 1	
	16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung SOHO wurde entwickelt um die innere Struktur der Sonne, ihre ausgedehnte Atmosphäre und den Ursprung des Sonnenwindes zu untersuchen und wurde am 2. Dezember 1995 gestartet. SOHO liefert seither Daten von höchstem wissenschaftlichen Wert und fungiert zudem als Weltraumwettermonitor in Erdnähe. Das Charge, Element, and Isotope Analysis System (CELIAS) auf SOHO misst die Zusammensetzung des Sonnenwindes und wurde noch mit Dieter Hovestadt als PI am MPE in Garching entwickelt, mit wesentlichen Hardwarebeiträgen vom MPS in Katlenburg-Lindau (heute Göttingen), der Universität Bern (UBe), der University of Maryland (UMd) in College Park und der University of California in Los Angeles(UCLA). CELIAS besteht aus den sechs Sensoren MTOF, PM, CTOF, STOF, HSTOF und SEM. In der Datenphase ging die PI-Schaft an Peter Bochsler (UBe) über, mit seiner Pensionierung anschließend an Berndt Klecker (MPE), welcher seinerseits 2010 auch in Rente gegangen ist. 2011 ging die PI-schaft von CELIAS an den Projektleiter, Prof. Dr. R. F. Wimmer-Schweingruber. Dieser Erfolgskontrollbericht umfasst den Zeitraum vom 1. Oktober 2011 bis zum 31. März 2015.		
19. Schlagwörter		
20. Verlag	21. Preis	

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report		
3a. Report Title Schlussbericht zum Vorhaben 50 OC 1103 (Final Report on Project 50 OT 1103)			
3b. Title of Publication			
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Wimmer-Schweingruber, Robert F.,		5. End of Project March 31, 2015	
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))		6. Publication Date September 30, 2015	
		7. Form of Publication Final report to DLR	
		9. Originator's Report No.	
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstraße 11, 24118 Kiel		10. Reference No.	
		11a. No. of Pages Report 16	
		11b. No. of Pages Publication	
		12. No. of References	
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn		14. No. of Tables	
		15. No. of Figures 1	
		16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)			
18. Abstract SOHO was developed to investigate the inner structure of the Sun, its extended atmosphere and the origin of the solar wind. It was launched on December 2, 1995 and since has been delivering scientific data of the highest quality. In addition, SOHO also acts as a space weather monitor upstream of the Earth. The Charge, Element, and Isotope Analysis System (CELIAS) on SOHO measures the composition of the solar wind and was developed under the leadership of Dieter Hovestadt as PI at the MPE in Garching. Major hardware contributions came from MPS in Katlenburg-Lindau (now in Göttingen), the University of Bern (UBe), the University of Maryland (UMd) in College Park and the University of California in Los Angeles (UCLA). CELIAS consists of the six sensors MTOF, PM, CTOF, STOF, HSTOF and SEM. PI-ship was transferred to Prof. Peter Bochsler (UBe) in the data phase. After his retirement it moved to Dr. Berndt Klecker at MPE Garching who himself retired in 2010. In 2011 PI-ship of CELIAS then went to the project leader, Prof. Dr. R. F. Wimmer-Schweingruber. This final report covers the period from October 1, 2011 till March 30, 2015.			
19. Keywords Sun, heliosphere, solar wind, suprathermal particles			
20. Publisher		21. Price	

2015

Title: Short-term variability of inner-source pickup ions at 1 AU - SOHO/CELIAS observations

Authors: Berger, L., Drews, C., Taut, A., Wimmer-Schweingruber, R.F.

References: A&A 576, A54, 2015 [doi:10.1051/0004-6361/201425116](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201425116)

Title: CIRCUMSOLAR ENERGETIC PARTICLE DISTRIBUTION ON 2011 NOVEMBER 3

Authors: Gomez-Herrero, R., Dresing, N., Klassen, A., Heber, B., Lario, D., Agueda, N., Malandraki, O.E., Blanco, J.J., Rodriguez-Pacheco, J., Banjac, S.

References: ApJ 799, 55, 2015 [doi:10.1088/0004-637X/799/1/55](https://doi.org/10.1088/0004-637X/799/1/55)

Title: Composition of inner-source heavy pickup ions at 1 AU: SOHO/CELIAS/CTOF observations - Implications for the production mechanisms

Authors: Taut, A., Berger, L., Drews, C., Wimmer-Schweingruber, R.F.

References: A&A 576, A55, 2015 [doi:10.1051/0004-6361/201425139](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201425139)

2014

Title: Solar Photoionization Rates for Interstellar Neutrals in the Inner Heliosphere: H, He, O, and Ne

Authors: Bochsler, P.; Kucharek, H.; Möbius, E.; Bzowski, Maciej; Sokol, Justyna M.; Didkovsky, Leonid; Wieman, Seth

References: ApJS 210, 10, 2014, [doi:10.1088/0067-0049/210/1/12](https://doi.org/10.1088/0067-0049/210/1/12)

Title: Observation of High Iron Charge States at Low Energies in Solar Energetic Particle Events

Authors: Guo, Z.; Möbius, E.; Klecker, B.; Bochsler, P.; Connell, J. J.; Kartavykh, Y. Y.; Mason, G. M.; Popecki, M. A.

References: ApJ 785, 14, 2014, [doi:10.1088/0004-637X/785/1/26](https://doi.org/10.1088/0004-637X/785/1/26)

Title: TRACKING THE CME-DRIVEN SHOCK WAVE ON 2012 MARCH 5 AND RADIO TRIANGULATION OF ASSOCIATED RADIO EMISSION

Authors: Magdalenic, J., Marque, C., Krupar, V., Mierla, M., Zhukov, A.N., Rodriguez, L., Maksimovic, M., Cecconi, B.

References: ApJ 791, 115, 2014, [doi:10.1088/0004-637X/791/2/115](https://doi.org/10.1088/0004-637X/791/2/115)

Title: A Change in the Solar He ii EUV Global Network Structure as an Indicator of the Geo-Effectiveness of Solar Minima

Authors: Didkovsky, L., Gurman, J.B.

References: Solar Phys. 289, 153-166, 2014, [doi:10.1007/s11207-013-0329-1](https://doi.org/10.1007/s11207-013-0329-1)

Title: Solar wind He pickup ions as source of tens-of-keV/n neutral He atoms observed by the HSTOF/SOHO detector

Authors: Grzedzielski, S., Swaczyna, P., Czechowski, A., Hilchenbach, M.

References: A&A 563, A134, 2014, [doi:10.1051/0004-6361/201322927](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322927)

Title: The main pillar: Assessment of space weather observational asset performance supporting nowcasting, forecasting, and research to operations.

Authors: Posner, A., Hesse, M., St. Cyr, O.C.

References: Space Weather, 12, 257-276, 2014, [doi:10.1002/2013SW001007](https://doi.org/10.1002/2013SW001007)

Title: Resolving Differences in Absolute Irradiance Measurements Between the SOHO/CELIAS/SEM and the SDO/EVE

Authors: Wieman, S.R., Didkovsky, L.V., Judge, D.L.

References: Solar Phys. Vol. 289, Issue 8, 2907-2925, 2014, [doi:10.1007/s11207-014-0519-5](https://doi.org/10.1007/s11207-014-0519-5)

Title: Wide longitudinal distribution of interplanetary electrons following the 7 February 2010 solar event: Observations and transport modeling

Authors: Droege, W., Kartavykh, Y.Y., Dresing, N., Heber, B., Klassen, A.

References: J. Geophys. Res. Space Physics, 119, Issue 8, 6074-6094, 2014, [doi:10.1002/2014JA019933](https://doi.org/10.1002/2014JA019933)

2013

Title: Solar Parameters for Modeling the Interplanetary Background

Authors: Bzowski, Maciej; Sokol, Justyna M.; Tokumaru, Munetoshi; Fujiki, Kenichi; Quemerais, Eric; Lallement, Rosine; Ferron, Stephane; Bochslers, Peter; McComas, David J.

References: Cross-Calibration of Far UV Spectra of Solar System Objects and the Heliosphere, ISSI Scientific Report Series, Volume 13. ISBN 978-1-4614-6383-2. Springer Science+Business Media New York, 2013, p. 67 [doi:10.1007/978-1-4614-6384-9_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6384-9_3)

Title: Heavy Pickup Ion w-Spectra at 1 AU with SOHO/CELIAS/CTOF

Authors: L. Berger, C. Drews, A. Taut and R. F. Wimmer-Schweingruber

References: SOLAR WIND 13: Proceedings of the Thirteenth International Solar Wind Conference. AIP Conference Proceedings, Volume 1539, pp. 386-389, 2013, [doi:10.1063/1.4811066](https://doi.org/10.1063/1.4811066)

Title: Solar Energetic Particle Events in the 23rd Solar Cycle: Interplanetary Magnetic Field Configuration and Statistical Relationship with Flares and CMEs

Authors: Miteva, R., Klein, K.-L., Malandraki, O., Dorrian, G.

References: Solar Phys. 282, 579-613, 2013, [doi:10.1007/s11207-012-0195-2](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0195-2)

Title: Sun-as-a-Star Observation of Flares in Lyman alpha by the PROBA2/LYRA Radiometer

Authors: Kretschmar, M., Dominique, M., Dammasch, I.E.

References: Solar Phys. 286, 221-239, 2013, [doi:10.1007/s11207-012-0175-6](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0175-6)

Title: Heliospheric Imaging of 3D Density Structures During the Multiple Coronal Mass Ejections of Late July to Early August 2010

Authors: Webb, D., Moestl, C., Jackson, B.V., Bisi, M.M., Howard, T.A., Mulligan, T., Jensen, E.A., et al.

References: Solar Phys. 285, 317-348, 2013, [doi:10.1007/s11207-013-0260-5](https://doi.org/10.1007/s11207-013-0260-5)

Title: Solar flares at submillimeter wavelengths

Authors: Krucker, S., Gimenez de Castro, C.G., Hudson, H.S., Trottet, G., Bastian, T.S., Hales,

A.S., Kasparova, J., Klein, K.-L., Kretzschmar, M., Luethi, T., Mackinnon, A., Pohjolainen, S., White, S.M.

References: Astron. Astrophys. Rev. 21:58, 2013, [doi:10.1007/s00159-013-0058-3](https://doi.org/10.1007/s00159-013-0058-3)

Title: On-Orbit Degradation of Solar Instruments

Authors: BenMoussa, A., Gissot, S., Schuehle, U., Del Zanna, G., Auchere, F., Mekaoui, S., Jones, A.R., Walton, D., Eyles, C.J., Thuillier, G., Seaton, D., Dammasch, I.E., Cessateur, G., Meftah, M., Andretta, V., Berghmans, D., Bewsher, D., Bolsee, D., Bradley, L., Brown, D.S., Chamberlin, P.C., Dewitte, S., Didkovsky, L.V., Dominique, M., Eparvier, F.G., Foujols, T., Gillotay, D., Gordanengo, B., Halain, J.P., Hock, R.A., Irbah, A., Jeppesen, C., Judge, D.L., Kretzshmar, M., McMullin, D.R., Nicula, B., Schmutz, W., Ucker, G., Wieman, S., Woddraska, D., Woods, T.N.

References: Solar Phys. 288, 389-434, 2013, [doi:10.1007/s11207-013-0290-z](https://doi.org/10.1007/s11207-013-0290-z)

Title: Observations of interstellar helium pickup ions in the inner heliosphere

Authors: Gershman, D.J., Gloeckler, G., Gilbert, J.A., Raines, J.M., Fisk, L.A., Solomon, S.C., Stone, E.C., Zurbuchen, T.H.

References: J. Geophys. Res. Space Physics, 118, 1389-1402, 2013, [doi:10.1002/jgra.50227](https://doi.org/10.1002/jgra.50227)

Title: Observational study of the cooling behavior of interstellar helium pickup ions in the inner heliosphere

Authors: Chen, J.H., Moebius, E., Gloeckler, G., Bochsler, P., Bzowski, M., Isenberg, P.A., Sokol, J.M.

References: J. Geophys. Res. Space Physics, 118, 3946-3953, 2013, [doi:10.1002/jgra.50391](https://doi.org/10.1002/jgra.50391)

2012

Title: EUV SpectroPhotometer (ESP) in Extreme Ultraviolet Variability Experiment (EVE): Algorithms and Calibrations

Authors: Didkovsky, L.; Judge, D.; Wieman, S.; Woods, T.; Jones, A.

References: Solar Physics, Volume 275, Issue 1-2, pp. 179-205, [doi:10.1007/s11207-009-9485-8](https://doi.org/10.1007/s11207-009-9485-8)

Title: Potential sources for energetic neutrals from the heliosphere and beyond

Authors: Hilchenbach, M.; Kallenbach, R.; Hsieh, K. C.; Czechowski, A.

References: PHYSICS OF THE HELIOSPHERE: A 10 YEAR RETROSPECTIVE: Proceedings of the 10th Annual International Astrophysics Conference. AIP Conference Proceedings, Volume 1436, pp. 227-232 (2012), [doi:10.1063/1.4723612](https://doi.org/10.1063/1.4723612)

Title: The discrepancy in solar EUV-proxy correlations on solar cycle and solar rotation timescales and its manifestation in the ionosphere

Authors: Chen, Y., Liu, L., Wan, W.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, A03313, 12 PP., 2012, [doi:10.1029/2011JA017224](https://doi.org/10.1029/2011JA017224)

Title: An analysis of thermospheric density response to solar flares during 2001-2006

Authors: Le, H., Liu, L., Wan, W.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, A03307, 8 PP., 2012, [doi:10.1029/2011JA017214](https://doi.org/10.1029/2011JA017214)

Title: HSTOF ENA observations and energetic ion distributions in the heliosheath

Authors: Czechowski, A., Hilchenbach, M., Hsieh, K.C.

References: A&A 541, A14, 2012, [doi:10.1051/0004-6361/201118570](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118570)

Title: Statistical Studies on the Excess Peak Flux in Soft X-rays and EUV Bands from Solar Flares

Authors: Zhang, D.H., Cai, L., Ercha, A., Hao, Y.Q., Xiao, Z.

References: Solar Phys. 280, 183-196, 2012, [doi:10.1007/s11207-012-0062-1](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0062-1)

Title: VARIATIONS OF THE MUON FLUX AT SEA LEVEL ASSOCIATED WITH INTERPLANETARY ICMEs AND COROTATING INTERACTION REGIONS

Authors: Augusto, C.R.A., Kopenkin, V., Navia, C.E., Tsui, K.H., Shigueoka, H., Fauth, A.C., Kemp, E., Manganote, E.J.T., Leigui de Oliveira, M.A., Miranda, P., Ticona, R., Velarde, A.

References: ApJ 759, 143, 2012, [doi:10.1088/0004-637X/759/2/143](https://doi.org/10.1088/0004-637X/759/2/143)

Title: Studying Sun-Planet Connections Using the Heliophysics Integrated Observatory (HELIO)

Authors: Perez-Suarez, D.; Maloney, S. A.; Higgins, P. A.; Bloomfield, D. S.; Gallagher, P. T.; Pierantoni, G.; Bonnin, X.; Cecconi, B.; Alberti, V.; Bocchialini, K.; Dierckxsens, M.; Opitz, A.; Le Blanc, A.; Aboudarham, J.; Bentley, R. B.; Brooke, J.; Coghlan, B.; Csillaghy, A.; Jacquey, C.; Lavraud, B.; Messerotti, M.

References: Solar Phys. 280, 603-621, 2012, [doi:10.1007/s11207-012-0110-x](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0110-x)

Title: GNSS measurement of EUV photons flux rate during strong and mid solar flares

Authors: Hernandez-Pajares, M., Garcia-Rigo, A., Juan, J.M., Sanz, J., Monte, E., Aragon-Angel, A.

References: SPACE WEATHER, VOL. 10, S12001, 2012, [doi:10.1029/2012SW000826](https://doi.org/10.1029/2012SW000826)

2011

Title: Solar EUV Monitor (SEM) absolute irradiance measurements and how they are affected by choice of reference spectrum

Authors: Wieman, Seth R.; Judge, Darrell L.; Didkovsky, Leonid V.

References: Proceedings of the SPIE, Volume 8148, id. 81480G (2011), [doi:10.1117/12.893163](https://doi.org/10.1117/12.893163)

Title: Solar extreme ultraviolet irradiance: Present, past, and future

Authors: Lean, J.L., Woods, T.N., Eparvier, F.G., Meier, R.R., Strickland, D.J., Correia, J.T., Evans, J.S.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A01102, 18 PP., 2011, [doi:10.1029/2010JA015901](https://doi.org/10.1029/2010JA015901)

Title: Does the F10.7 index correctly describe solar EUV flux during the deep solar minimum of 2007-2009?

Authors: Chen, Y., Liu, L., Wan, W.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A04304, 6 PP., 2011, [doi:10.1029/2010JA016301](https://doi.org/10.1029/2010JA016301)

Title: Long-term variation in the thermosphere: TIMED/GUVI observations

Authors: Zhang, Y., Paxton, L.J.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A00H02, 6 PP., 2011,
[doi:10.1029/2010JA016337](https://doi.org/10.1029/2010JA016337)

Title: Impact factor for the ionospheric total electron content response to solar flare irradiation

Authors: Zhang, D.H., Mo, X.H., Cai, L., Zhang, W., Feng, M., Hao, Y.Q., Xiao, Z.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A04311, 8 PP., 2011,
[doi:10.1029/2010JA016089](https://doi.org/10.1029/2010JA016089)

Title: Causes of low thermospheric density during the 2007-2009 solar minimum

Authors: Solomon, S.C., Qian, L., Didkovsky, L.V., Viereck, R.A., Woods, T.N.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A00H07, 14 PP., 2011,
[doi:10.1029/2011JA016508](https://doi.org/10.1029/2011JA016508)

Title: Multiwavelength Study on Solar and Interplanetary Origins of the Strongest Geomagnetic Storm of Solar Cycle 23

Authors: Kumar, P., Manoharan, P.K., Uddin, W.

References: Solar Phys. 271, 149-167, 2011, [doi:10.1007/s11207-011-9805-7](https://doi.org/10.1007/s11207-011-9805-7)

Title: Modified solar flux index for upper atmospheric applications

Authors: Maruyama, T.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A08303, 11 PP., 2011,
[doi:10.1029/2010JA016322](https://doi.org/10.1029/2010JA016322)

Title: A method for filling gaps in solar irradiance and solar proxy data

Authors: de Wit, T.D.

References: A&A 533, A29, 2011, [doi:10.1051/0004-6361/201117024](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201117024)

Title: Statistical analysis of solar EUV and X-ray flux enhancements induced by solar flares and its implication to upper atmosphere

Authors: Le, H., Liu, L., He, H., Wan, W.

References: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, A11301, 10 PP., 2011,
[doi:10.1029/2011JA016704](https://doi.org/10.1029/2011JA016704)

Title: Some Characteristics of the Ionospheric Behavior During the Solar Cycle 23-24 Minimum

Authors: Araujo-Pradere, E.A., Redmon, R., Fedrizzi, M., Viereck, R., Fuller-Rowell, T.J.

References: Solar Phys. 274, 439-456, 2011, [doi:10.1007/s11207-011-9728-3](https://doi.org/10.1007/s11207-011-9728-3)