

Gaia: Vermessung der Galaxie

Überblick

Gaia ist eine wegweisende Astronomie-Mission der ESA, die unsere Sicht auf die Galaxie durch eine präzise und detaillierte stereoskopische Vermessung von den eine Milliarde hellsten Himmelskörpern zu revolutionieren sucht. Hochgenaue Astrometrie wird es Gaia ermöglichen, die 3D-Position eines Sterns punktgenau zu lokalisieren und dessen Bewegung am Himmel zu messen. Gaia wird zudem spektroskopische Daten sammeln, die die Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten ermöglichen, sowie photometrische Daten, die Aufschluss über Sternhelligkeiten in ein paar Dutzend Farben geben. Dieser Datensatz wird eine bewegliche, dreidimensionale Karte der Milchstrasse von noch nie da gewesenen Umfang und Genauigkeit preisgeben sowie Profile stellarer Eigenschaften liefern, einschliesslich Leuchtkraft, Oberflächenschwerkraft, Temperatur und chemische Zusammensetzung.

Durch die Vermessung aller Himmelskörper bis zu der sehr schwachen Gröszenklasse 20 wird Gaia einen repräsentativen Teil der Milchstrasse aufnehmen, dessen Daten den Wissenschaftlern Ansätze zu unbeantworteten Fragen über unsere Heimat-Galaxie vermitteln, möglicherweise über die Geschichte ihrer Entstehung, dem derzeitigen Zustand und ihrer künftigen Entwicklung, sowie weitergehenden Galaxienstudien im Allgemeinen. Des Weiteren wird diese umfassende Studie selbstverständlich exotische Sterne und Sterne in kurzlebigen Phasen der Sternentwicklung beinhalten, wie auch einige tausend Braune Zwerge und extrasolare Planeten. Gaia wird sehr detailliert unsere unmittelbare Nachbarschaft kartieren, und dabei hunderttausende

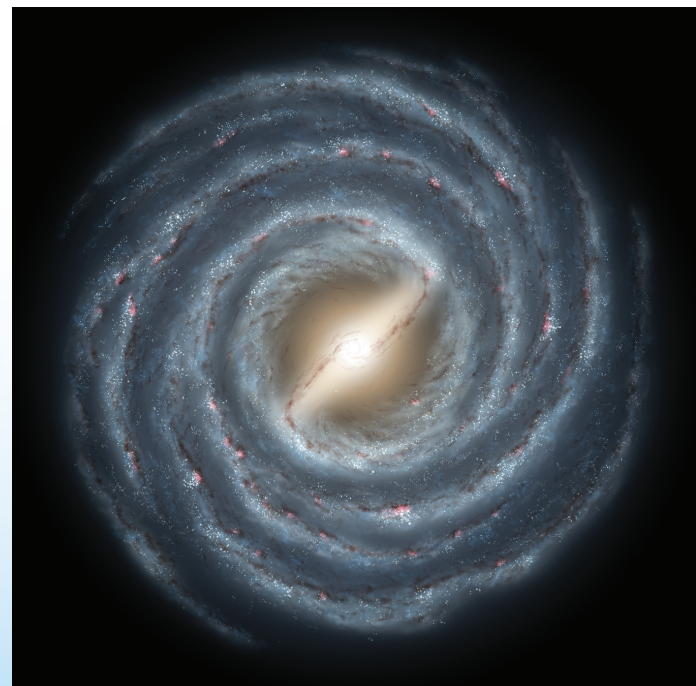
Moderne Verarbeitungs- und Analysemethoden übersetzen die Rohdaten von Gaia in das missions-bezogene Endprodukt: den Gaia-Katalog, eine umfangreiche galaktische Zählung, reich an wissenschaftlichem Gehalt. Die noch nie da gewesene Genauigkeit und die unbeeinflusste Art der Vermessung des gesamten Himmels werden sich als wertvoll, womöglich auch als revolutionär für einen grossen Bereich von wissenschaftlichen Disziplinen neben dem Studium von Galaxien herausstellen; Gaias Datenfülle wird letzten Endes so unterschiedliche wissenschaftliche Felder ansprechen und beleben wie die stellaren Lebenszyklen, die Verteilung dunkler Materie und die allgemeine Relativität. Als vollständige Himmelsdurchmusterung ohne vorprogrammierte Zielobjekte ist das Nachweis-Potential von Gaia ebenso tiefgreifend.

ESA - C. Carreau



von kleineren Körpern des Sonnensystems aufspüren. Darüberhinaus wird Gaia helle extragalaktische Objekte wie Supernovae und Quasare jenseits der Milchstrasse beobachten, und eine ganze Reihe entfernter Galaxien auflösen.

Ausgewählt als 'Cornerstone'-Mission der ESA im Jahr 2000, wird diese Mission derzeit für 2013 vorbereitet. Gaia setzt eine europäische Tradition für wegweisende Astrometrie fort, basierend auf der Erfahrung mit der ersten weltraum-gebundenen Astrometrie-Mission Hipparcos. Gaia wird seinen Vorgänger um einige Gröszenordnungen in der Genauigkeit, in der limitierenden Gröszenklasse und der Anzahl kartierter Objekte übertreffen; während Hipparcos ein vorab ausgewähltes Programm von Objekten zum Beobachten enthielt, wird Gaias Durchmusterung vollständig und unbeeinflusst sein.

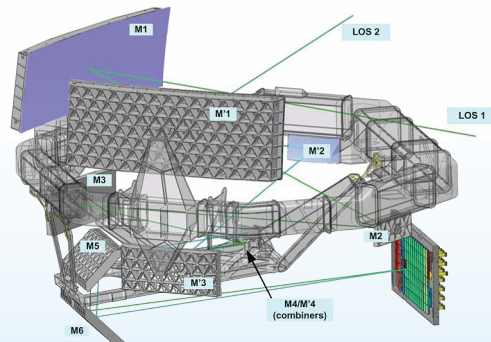


Gaia wird die Milchstrasse mit einer aussergewöhnlichen Präzision vermessen

Raumfahrzeug und astrometrisches Instrument

Im Inneren des Satelliten sind Gaias Instrumente auf eine hexagonale optische Bank montiert. Die Nutzlast besteht aus zwei Teleskopen mit einer gemeinsamen Fokalebene, jedes blickt durch eine Öffnung im Gehäuse der Nutzlast. Die beiden Blickrichtungen sind jeweils 1.7° mal 0.6° gross, und durch einen hoch-stabilen Basiswinkel von 106.5° getrennt.

Das Licht eines Himmelskörpers tritt in die Anordnung durch eine der beiden Öffnungen ein, und trifft auf den grossen Hauptspiegel auf der gegenüberliegenden Seite (M1 und M'1 in der Nutzlast-Illustration). Das Licht wird vom Hauptspiegel reflektiert und durch eine Reihe weiterer Spiegel entlang einer Gesamtbrennweite von 35 m geschickt, so dass sich die beiden Lichtwege am M4/M'4-Strahlkombinierer treffen, um schliesslich die gemeinsam genutzte Fokalebene zu erreichen. In der Fokalebene befindet sich ein grosses Mosaik aus hochentwickelten, nach Kundenwünschen angefertigten CCDs (engl. charge coupled devices) lichtempfindlichen Detektoren von vergleichbarer Bauart wie man sie in Digital-Kameras findet. Mit 106 CCDs umfasst der Aufbau der Fokalebene insgesamt fast eine Milliarde Pixel (ein 'gigapixel'), zum Vergleich mit den wenigen Millionen einer typischen Digital-Kamera.



Die Gaia-Nutzlast

Während der Satellit leicht rotiert, streicht das Licht eines Himmelskörpers (d.h. das Bild dieses Objektes) über die Fokalebene. In dieser Weise tastet Gaia den gesamten Himmel kontinuierlich ab, da zu der Rotation des Satelliten eine allmähliche präzidierende Bewegung hinzu kommt, so dass jede Region rd. 70 mal im Laufe der operativen Lebensdauer beobachtet wird.

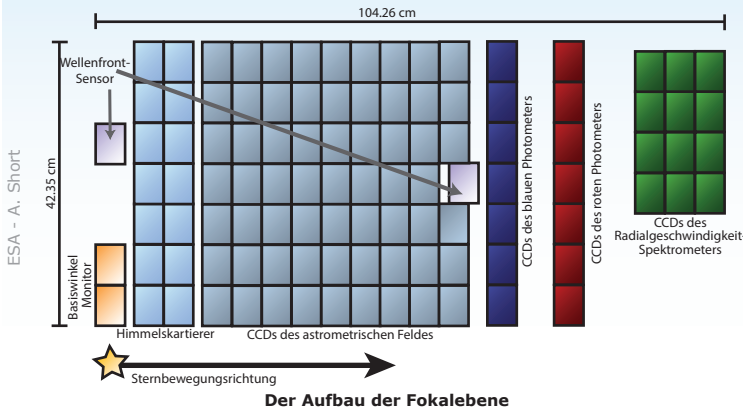
Gaias astrometrische Messungen werden entsprechend dem globalen astrometrischen Konzept durchgeführt, das durch Hipparcos erfolgreich demonstriert wurde.

EADS Astrium

Durch die Messung von instantanen Bildmittelpunkten bestimmt Gaia die relativen Abstände tausender Sterne simultan, die in den kombinierten Feldern vorhanden sind. Jedesmal, wenn die Gesichtsfelder über den Himmel streichen, wird durch die kontinuierliche Abtastbewegung des Satelliten ein fortwährender Datenstrom von relativen Winkelmessungen aufgebaut. Die hohe Winkelauflösung (und die daraus resultierende hohe Positionsgenauigkeit) in der Abtastrichtung wird durch den Hauptspiegel jedes Teleskops (Öffnung 1.45 mal 0.5 m², Brennweite 35 m) erreicht. Die Weitwinkel-Messungen liefern die hohe Robustheit des resultierenden Referenzsystems.

Zusätzlich zum photometrischen Instrument zeichnet sich Gaia durch das Radialgeschwindigkeit-Spektrometer (RVS) aus. Das RVS stellt die dritte Komponente der Raumgeschwindigkeit jedes Sterns bis zur 17. Größenklasse bereit. Das Instrument ist ein nah-infraroter (847 - 874 nm), medium-auflösender, feld-integrierender Spektrograph, der das gesamte in das Gesichtsfeld eintretende Licht zerlegt. Die spektrale Zerlegung der Objekte im Gesichtsfeld wird mit Hilfe eines optischen Moduls erreicht, das zwischen M6 und der Fokalebene platziert ist. Dieses Modul enthält eine Gitterplatte und eine afokale Feldkorrekturlinse, bestehend aus vier Kieselglas-Prismen.

Die Photometer und das RVS sind mit dem astrometrischen Instrument und den Teleskopen integriert, so dass sich das Licht beider Blickrichtungen auf den photometrischen und RVS-CCDs überlagert. Das RVS und die Photometer benutzen die (astrometrische) 'Sky Mapper' -Funktion zur Detektion von Objekten und ihrer Bestätigung. Objekte werden für eine RVS-Beobachtung durch Messungen ausgewählt, die kurz zuvor im roten Photometer durchgeführt werden.



Das Datenverarbeitungs- und Analyse-Konsortium

Die Konzeption der Gaia-Mission führt zur Erfassung einer enormen Menge komplexer und hoch-präziser Daten, die mehrfache Beobachtungen einer Milliarde unterschiedlicher Objekte durch ein 'Doppel-Blickfeld'-Instrument repräsentieren, welches rotiert und präzidiert. Die Herausforderung der Gaia-Daten - das Verarbeiten der unbehandelten Satellitentelemetrie zu wertvollen wissenschaftlichen Produkten - ist daher eine gewaltige Aufgabe hinsichtlich ihrer Begutachtung, des Aufwands und der zugehörigen Rechenleistung.

Das astrometrische Feld in der Fokalebene besteht aus einem Muster von 62 CCDs, jedes wird im zeit-verzögerten Integrationsmodus ausgelesen, das mit der Abtastbewegung des Satelliten synchronisiert ist. Sterne, die in das kombinierte Gesichtsfeld eintreten, passieren zunächst bestimmte CCDs, die als 'sky mapper' dienen - jedes Objekt wird an Bord detektiert, und Informationen über seine Position und Helligkeit werden in Echtzeit verarbeitet, um eine Fensterregion zu definieren, die von den nachfolgenden CCDs ausgelesen wird. Gaias limitierende Größenklasse ist ungefähr 20 in seinem eigenen Weisslicht-Band (V=20 für blaue Sterne, V=22 für rote Sterne). Zum Zeitpunkt der Beobachtung werden alle Objekte bis zu dieser Grenzhelligkeit vermessen.

Ende 2006 wurde ESAs 'Announcement of opportunity for Gaia's data processing' (Ausschreibung von Möglichkeiten zur Verarbeitung von Gaia-Daten) herausgegeben, in dem zu Vorschlägen aufgerufen wurde, Gaias Bodensegment-Datenverarbeitung zu entwickeln und durchzuführen, d.h. eine einzelne EDV-Datenleitung, die zu Zwischen- und abschliessenden Missionsprodukten führt. Als Reaktion auf diese Bekanntmachung reichte ein grosses gesamteuropäisches Team von erfahrenen Wissenschaftlern und Software-Entwicklern ihren Vorschlag für ein umfassendes System ein, welches in der Lage ist, den gesamten Umfang und die Komplexität der Gaia-Daten zu handhaben. Im Mai 2007 genehmigte ESAs 'Science Programme Committee' diesen Vorschlag, den das Datenverarbeitungs- und Analyse-Konsortium (DPAC) vorlegte, so dass ab diesem Zeitpunkt DPAC offiziell verantwortlich für Gaias Datenverarbeitung und Analyse wurde.

Astrometrische Genauigkeiten

Stern Größenklasse	B1V	G2V	M6V
V < 10	< 7µas	< 7µas	< 7µas
V = 15	< 25µas	< 24µas	< 12µas
V = 20	< 300µas	< 300µas	< 100µas

Schlüsselpersonen bei Gaia

Projektwissenschaftler:	Timo Prusti (ESA)
SOC Manager:	William O'Mullane (ESA)
Projektmanager:	Giuseppe Sarri (ESA)
DPAC Projekt-Koordinator:	Sebastian Els
DPAC geschäftsführender Vorsitzender:	Anthony Brown (Leiden Observatory)
DPAC stellvertretende Vorsitzende:	Antonella Vallenari (Padova Astronomical Observatory)
EADS Astrium Projektmanager:	Vincent Poinignon

Photometrische und spektroskopische Instrumente

Gaias photometrisches Instrument besteht aus zwei Kieselglas-Prismen geringer Auflösung, die das gesamte Licht im Gesichtsfeld zerlegen. Beide sind zwischen dem letzten Teleskopspiegel (M6) und der Fokalebene platziert. Das eine, das blaue Photometer (BP), arbeitet im Wellenlängenbereich von 330 - 680 nm; das andere, rote Photometer (RP), deckt den Bereich 640 - 1050 nm ab. Die Dispersion der Prismen reicht von 3 bis 29 nm/pixel für das BP und von 7 bis 15 nm/pixel für das RP. Diese simultanen Messungen der spektralen Energieverteilung ergeben astrophysikalische Schlüsselinformationen, wie Temperaturen, Schwerkraftstärken, und Metallizitäten für jeden der beobachteten Sterne.

DPAC ist eine Kollaboration, deren Mitglieder aus ganz Europa stammen, einschliesslich einer vielfältigen Gemeinschaft von über 450 Wissenschaftlern und Software-Ingenieuren, verteilt auf über 22 Länder, und sechs grossen Datenverarbeitungszentren. Das Konsortium bündelt Fähigkeiten und Fachkenntnisse aus dem gesamten Kontinent; seine internationale Identität und sein kooperativer Geist reflektieren den der ESA selbst.

Das Konsortium ist in neun kleinere, spezialisierte Einheiten unterteilt, die Koordinierungseinheiten oder CUs, die wiederum von der DPAC Exekutive koordiniert werden. Jeder Einheit ist eine gewisse Reihe von Aufgaben im Bereich der Datenverarbeitung übertragen worden. Die CUs werden dabei von den sechs Datenverarbeitungszentren (DPCs) unterstützt in denen die eigentliche Computer-Hardware verfügbar ist.

Die Leitung des aktuellen Tagesgeschäfts aller DPAC Entwicklungsarbeiten und Aufgaben während der operationellen Phase ist dem DPAC Projektbüro (PO) übertragen worden.

EADS Astrium

Im Mai 2006 unterzeichnete der europäische Satellitensystem-Spezialist EADS Astrium einen Vertrag mit der ESA zur Entwicklung und zum Bau des Gaia-Satelliten. Die innovative Technologie, die im Gaia-Satelliten und seinen Instrumenten eingesetzt wird, bedient sich dabei der umfangreichen Kompetenz von Astrium, insbesondere bei Teleskopen aus Siliziumkarbid, wie sie beim Herschel Weltraum-Observatorium benutzt wurden. Überdies bringt EADS Astrium als Hersteller von Gaias Vorgänger Hipparcos viel wertvolle Erfahrung in dieses Projekt ein.

