

Gaia

Eine stereoskopische Vermessung
unserer Galaxis

<http://www.rssd.esa.int/Gaia>

Dezember 2006

Gaia: Anforderungen

- Astrometrie ($V < 20$):
 - Vollständigkeit bis 20 mag (an-Bord-Detektion) \Rightarrow 1 Milliarde Sterne
 - Genauigkeit: 10–25 Mikrobogensekunden bei 15 mag (Hipparcos: 1 Millibogensekunde bei 9 mag)
 - Himmelsabtastender Satellit, zwei Blickrichtungen
 - \Rightarrow Globale Astrometrie, mit optimaler Ausnutzung der Beobachtungszeit
 - Datenauswertung: globale astrometrische Reduktion (wie bei Hipparcos)
- Photometrie ($V < 20$):
 - Astrophysikalische Sternparameter (niedrige Dispersion) + astrometrischer Farbfehler
 - $\Rightarrow \Delta T_{\text{eff}} \sim 200 \text{ K}$, $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ auf 0,2 dex genau, Extinktion
- Radialgeschwindigkeiten ($V < 16\text{--}17$):
 - Anwendungen:
 - Dritte Komponente der Raumbewegung, perspektivische Beschleunigung
 - Stellardynamik, Sternpopulationen, Doppelsterne
 - Spektren: chemische Zusammensetzung, Rotation der Sterne
 - Messprinzip: spaltlose Spektroskopie im Bereich des Calcium-Tripletts (847–874 nm)

Gaia:

Vollständigkeit, Empfindlichkeit, Genauigkeit

	Hipparcos	Gaia
untere Helligkeits-Grenze	12 mag	20 mag
Vollständigkeit	7,3 – 9,0 mag	20 mag
obere Helligkeits-Grenze	0 mag	6 mag
Anzahl der Messobjekte	120 000	26 Millionen bis V = 15 250 Millionen bis V = 18 1000 Millionen bis V = 20
Effektive Reichweite	1 kpc	0,1 Mpc
Quasare	keine	5×10^5
Galaxien	keine	$10^6 - 10^7$
Genauigkeit	1 Millibogensekunde	7 Mikrobogensekunden bei V = 10 10-25 Mikrobogensekunden bei V = 15 300 Mikrobogensekunden bei V = 20
Photometrie	2 Farben (B und V)	Spektrophotometrie bis V = 20
Radialgeschwindigkeiten	keine	15 km/s bis V = 16-17
Beobachtungsprogramm	ausgewählte Sterne	vollständig, ohne Vorauswahl

Astrophysik der Sterne

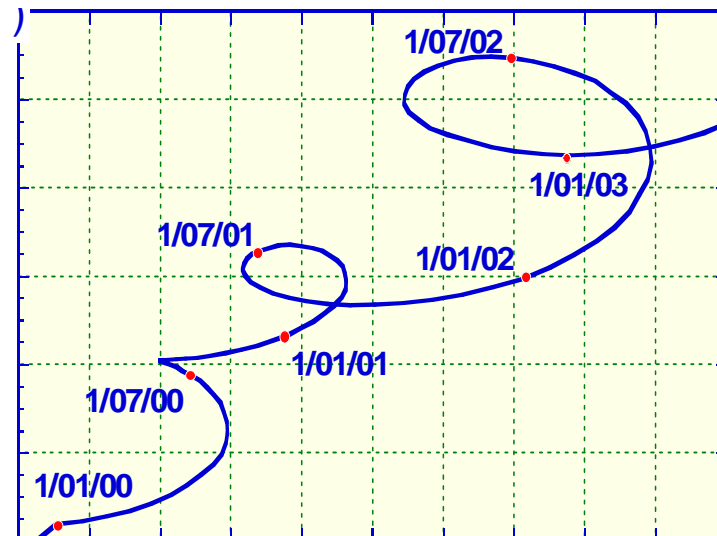
- Umfassende Leuchtkraft-Kalibration, z.B.:
 - Entfernungen auf 1% genau für ~10 Millionen Sterne bis 2,5 kpc
 - Entfernungen auf 10% genau für ~100 Millionen Sterne bis 25 kpc
 - Vertreter seltener Stern-Typen und schneller Entwicklungs-Phasen in großer Zahl
 - Parallaxen-Kalibration aller Entfernungs-Indikatoren, z.B. Cepheiden und RR Lyrae-Sterne bis zu den Magellanschen Wolken
- Physikalische Eigenschaften, z.B.:
 - wohldefinierte Hertzsprung–Russell Diagramme in der ganzen Galaxis
 - Masse- und Leuchtkraft-Funktion der Sonnenumgebung, z.B. Weiße Zwerge (~200.000) und Braune Zwerge (~50.000)
 - Masse- und Leuchtkraft-Funktionen in Sternentstehungsgebieten
 - Leuchtkraft-Funktion für Vor-Hauptreihen-Sterne
 - Beobachtung und Altersbestimmung aller Spektraltypen und galaktischer Sternpopulationen
 - Nachweis und Charakterisierung der Variabilität für alle Spektraltypen

Eine Milliarde Sterne in 3-D liefern ...

- in unserer Galaxis ...
 - Entfernungs- und Geschwindigkeitsverteilungen aller Sternpopulationen
 - die räumliche und dynamische Struktur von Scheibe und Halo
 - ihre Entstehungsgeschichte
 - eine sichere Grundlage für Sternaufbau- und Sternentwicklungs-Theorien
 - eine umfassende Suche nach extrasolaren Planeten ($\sim 10\text{--}20.000$)
 - eine umfassende Suche nach Körpern im Sonnensystem (~ 100.000)
 - hilfreich bei der wissenschaftlichen Nutzung von VLT, JWST, usw.
- ... und darüber hinaus:
 - genaue Entfernungs-Standards bis zu den Magellanschen Wolken
 - schnelle Erkennung und Meldung von Supernovae und Quellen mit Strahlungsausbrüchen (~ 20.000)
 - Nachweis, Rotverschiebung und Gravitationslinsen-Struktur von Quasaren (~ 500.000)
 - Naturkonstanten in bisher unerreichter Genauigkeit: z.B. PPN-Parameter γ auf 10^{-7} genau (gegenwärtig auf 10^{-5} genau)

Exo-Planeten: Erwartete Entdeckungen

- Astrometrische Suche:
 - Überwachung hunderttausender FGK Sterne bis ~200 pc Entfernung
 - Nachweisgrenzen: $\sim 1M_J$ und $P < 10$ Jahre
 - vollständige Durchmusterung aller Sterntypen mit Perioden $P = 2\text{--}9$ Jahre
 - echte Massen anstelle von unteren Grenzen ($m \sin i$)
 - Mehrfachsysteme und relative Inklinationen sind messbar
- Erwartete Ergebnisse:
 - 10–20.000 Exo-Planeten (~ 10 pro Tag)
 - Positionsschwankung für 47 UMa = $360 \mu\text{as}$
 - Bahnen für ~ 5000 Systeme
 - Massen bis herunter auf 10 Erdmassen für Entfernungen bis 10 pc
- Photometrische Vorübergänge:
~5000?

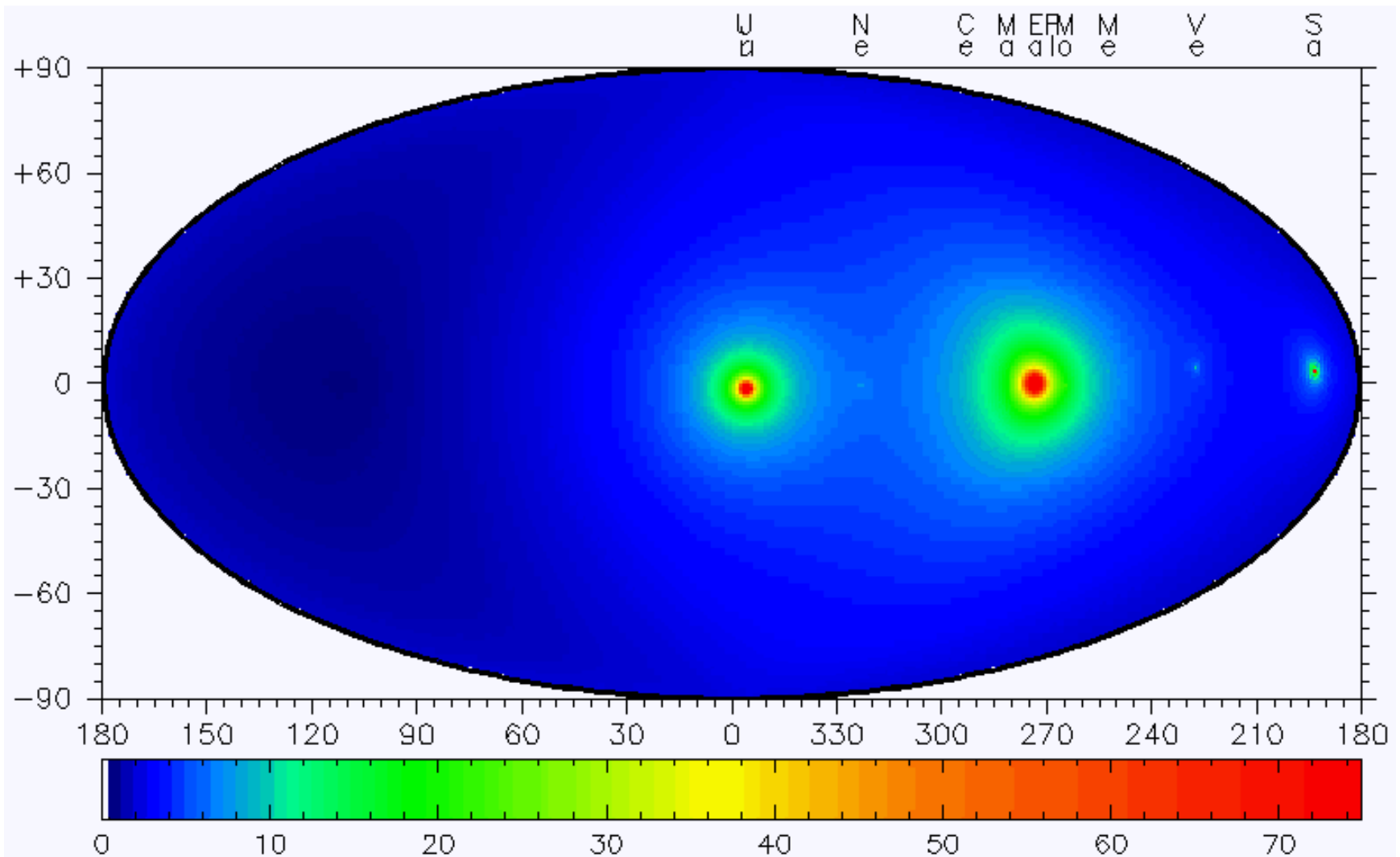


Studium des Sonnensystems

- Asteroiden usw.:
 - weitreichende und einheitliche (bis 20 mag) Durchmusterung aller bewegten Objekte
 - 10^5 – 10^6 neue Objekte werden erwartet (gegenwärtig 340.000 bekannt)
 - Klassifikation/mineralogische Zusammensetzung in Abhängigkeit von der heliozentrischen Entfernung
 - Durchmesser für ~1000, Massen für ~100 Objekte
 - Bahnen: dreißigmal besser als gegenwärtig
 - Trojaner von Mars, Erde und Venus
 - Objekte im Kuiper-Gürtel: ~300 bis 20 mag (Doppelobjekte, Plutinos)
- Erdnahe Objekte:
 - Amor-, Apollo- und Aten-Objekte (1775, 2020 bzw. 336 bis heute bekannt)
 - ~1600 erdbahnkreuzende Objekte >1 km vorhergesagt (100 gegenwärtig bekannt)
 - Nachweisgrenze: je nach Albedo 260–590 m Größe in 1 AU Entfernung

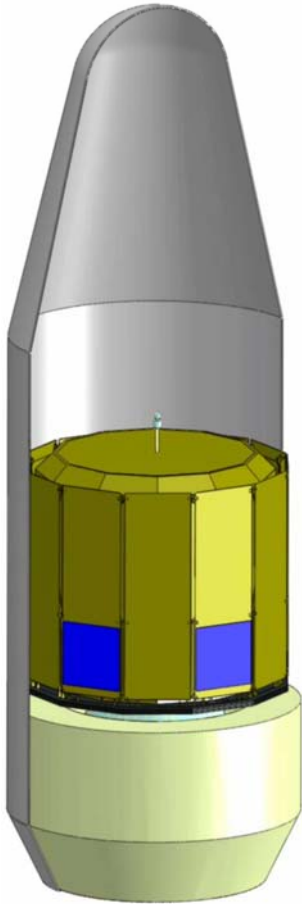
Lichtablenkung im Sonnensystem

Der Himmel von L2 aus in ekliptikalen Koordinaten am 1. Januar 2011

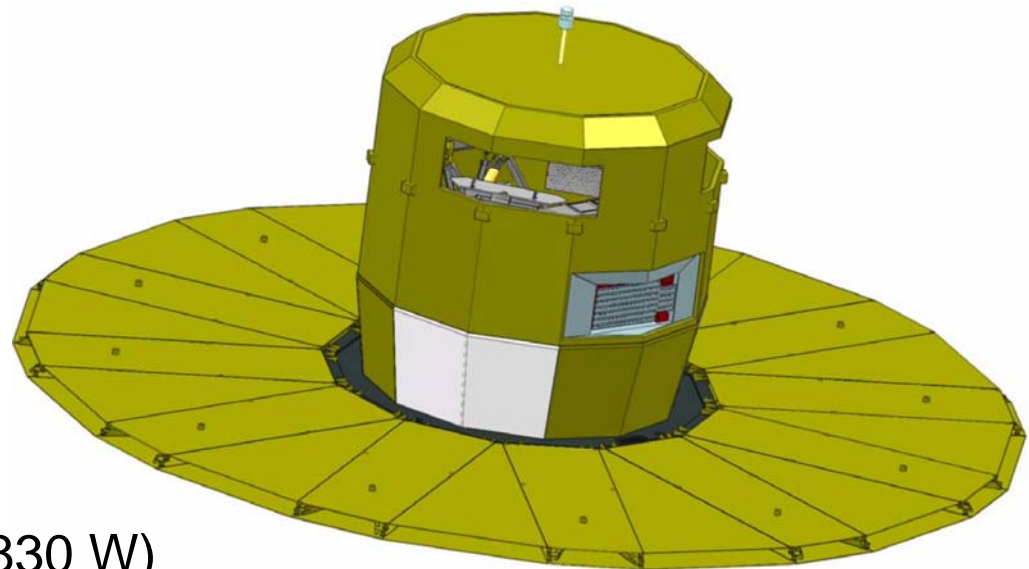


Relativistische Lichtablenkung in Mikrobogensekunden, ohne den viel größeren Effekt der Sonne

Satellit und Rakete

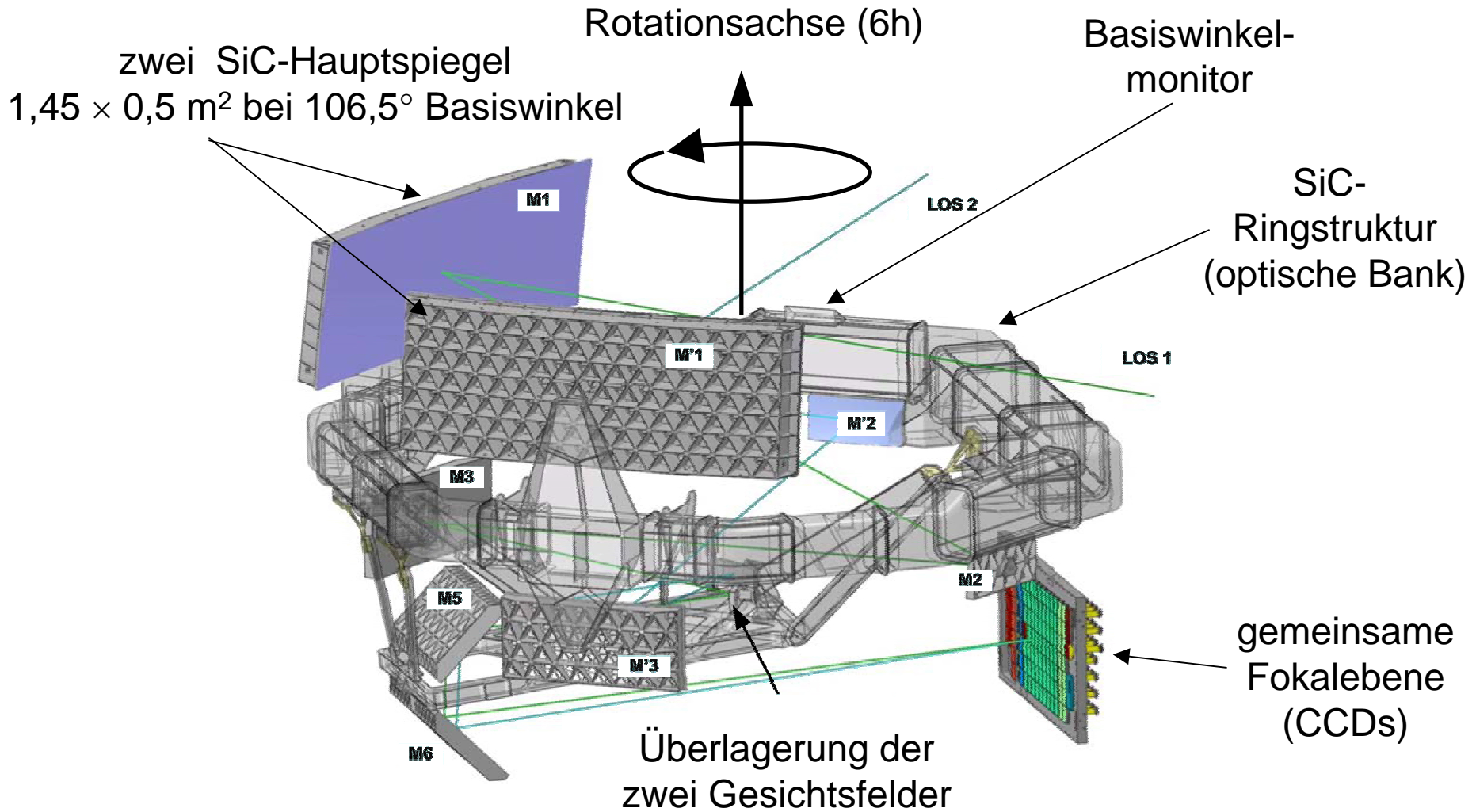


- reine ESA Mission
- Start: Ende 2011, von Kourou aus
- Lebensdauer: 5 Jahre
- Trägerrakete: Soyuz–Fregat
- Umlaufbahn: L2 (Erde-Sonne)
- Bodenstation: New Norica und/oder Cebreros
- Datenrate: 4–8 Mb/sec

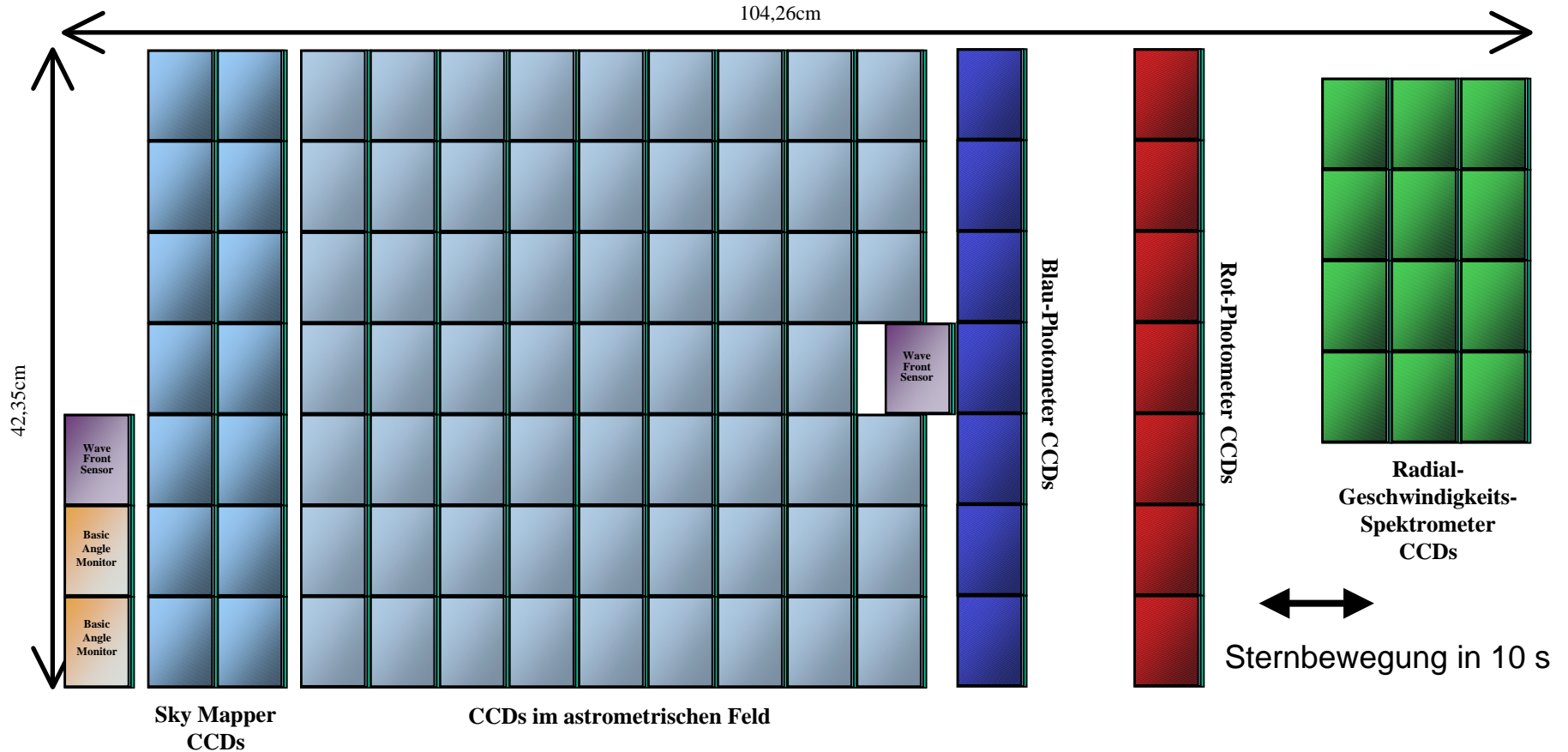


- Masse: 2030 kg (Nutzlast 690 kg)
- Energiebedarf: 1720 W (Nutzlast 830 W)

Nutzlast und Teleskop



Fokalebene



Gesamtgesichtsfeld:

- Fläche: 0,75 Quadratgrad
- CCDs: 14 + 62 + 14 + 12
- 4500 x 1966 Pixel (TDI-Modus)
- Pixelgröße = 10 μm x 30 μm
= 59 mas x 177 mas

Sky mapper:

- erfasst alle Objekte bis 20 mag
- unterdrückt "cosmics"
- Gesichtsfeldunterscheidung

Astrometrie:

- Gesamttrauschen: 6 e⁻

Photometrie:

- Zweiteiliges Spektrophotometer
- blau- und rot-empfindliche CCDs

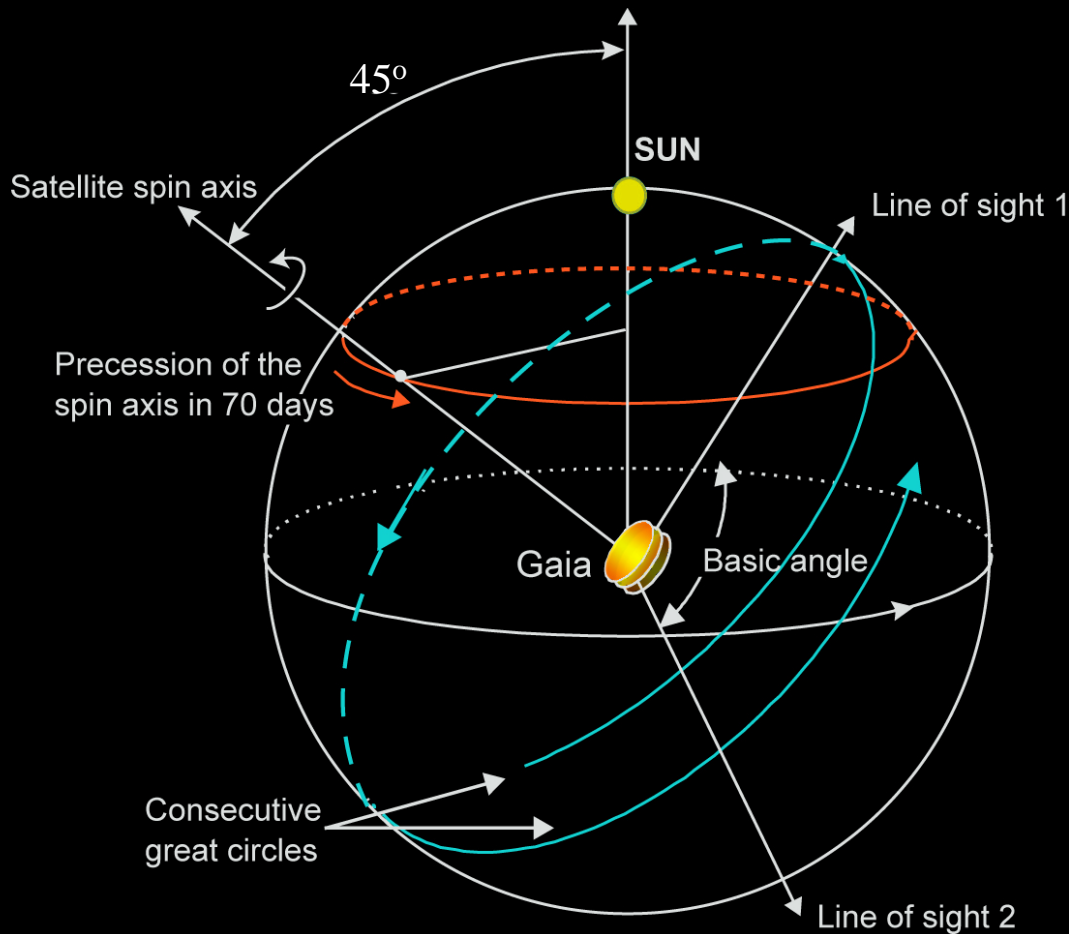
Spektroskopie:

- hochauflösende Spektren
- rot-empfindliche CCDs

An-Bord-Detektion

- Anforderungen:
 - unvoreingenommene Himmelsdurchmusterung
 - Erstellung eines Himmelskatalogs mit 0,1 Bogensekunden Auflösung bis $V \sim 20$
- Lösung: An-Bord-Detektion:
 - kein Eingabe-Katalog oder Beobachtungsprogramm
 - gute Nachweisempfindlichkeit bis $V \sim 21$ mag
 - gute Zuverlässigkeit, auch bei sehr hohen Sterndichten
- Nebenbei werden nachgewiesen:
 - Veränderliche Sterne (Bedeckungsveränderlich, Cepheiden, usw.)
 - Supernovae: 20.000
 - Gravitationslinsen-Ereignisse: ~ 1000 photometr.; ~ 100 astrometr.
 - Objekte im Sonnensystem, einschl. erdnahe Asteroiden und Kuiper-Gürtel-Objekten

Prinzip der Himmelsabtastung



Rotationsachse:
45° zur Sonne

Abtastrate:
60 Bogensek./Sek.

Rotationsperiode:
6 Stunden

Anmerkungen zur astrometrischen Genauigkeit

- Großer Sprung von Hipparcos zu Gaia:
 - Genauigkeit: 2 Größenordnungen (von 1 Millibogensekunde nach 7 Mikrobogensekunden)
 - Grenzempfindlichkeit: 4 Größenordnungen (von ~ 10 mag nach 20 mag)
 - Zahl der gemessenen Sterne: 4 Größenordnungen (von 10^5 nach 10^9)
- Identische Messprinzipien:
 - zwei Blickrichtungen \Rightarrow absolute Parallaxen
 - Himmelsabtastung über 5 Jahre \Rightarrow Parallaxen und Eigenbewegungen
- Instrumentelle Verbesserungen:
 - größerer Hauptspiegel: $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2 \rightarrow 1,45 \times 0,50 \text{ m}^2$, $\sigma \propto D^{-(3/2)}$
 - verbesserter Detektor (IDT \rightarrow CCD): Quantenausbeute, Bandbreite, Multiplex-Möglichkeit
- Kontrolle aller möglichen Fehlerquellen:
 - optische Aberrationen, astrometrische Farbfehler, Ephemeriden des Sonnensystems, Lagekontrolle ...

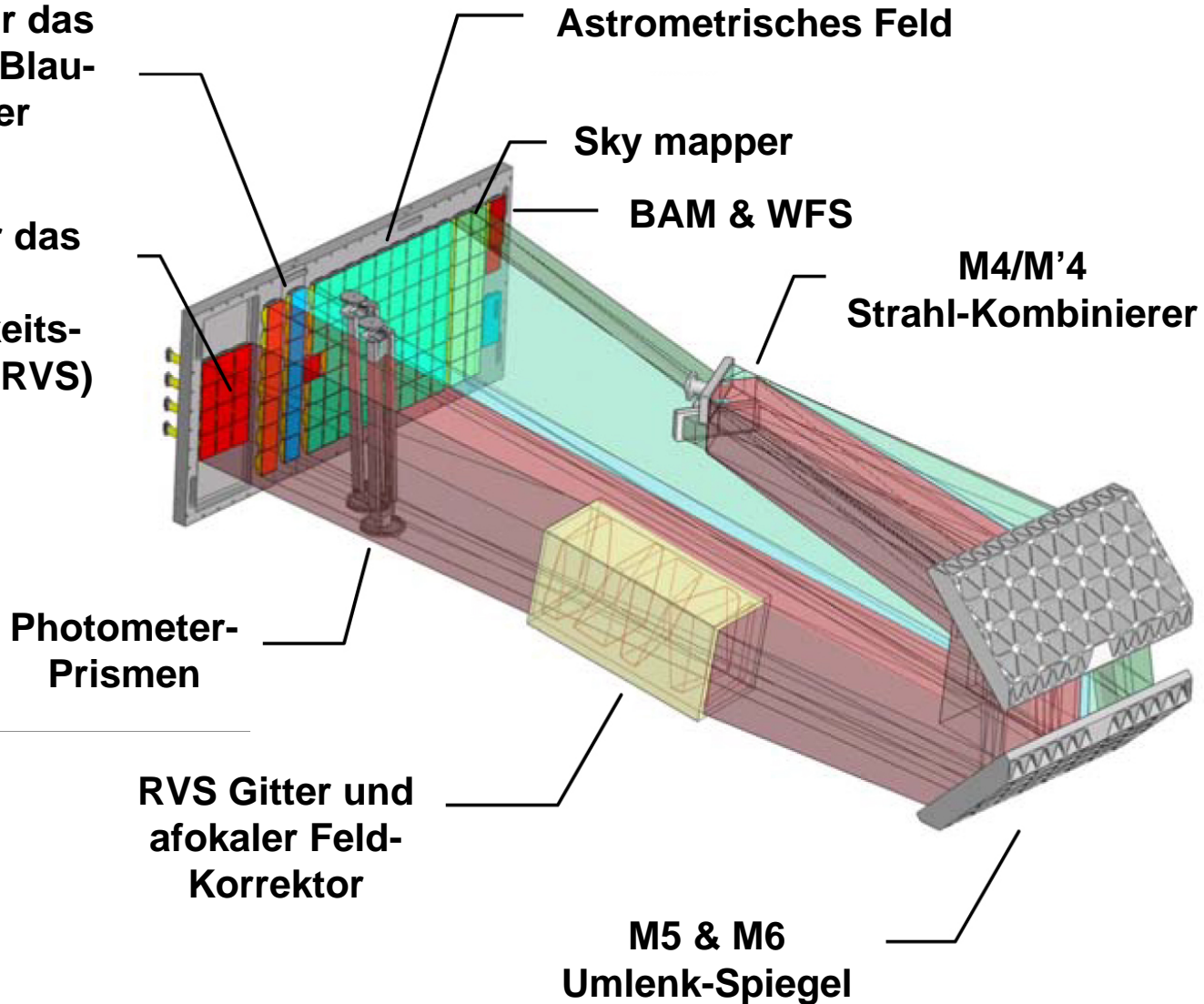
Messverfahren für die Photometrie (1/2)

Detektoren für das Rot- und das Blau-Photometer

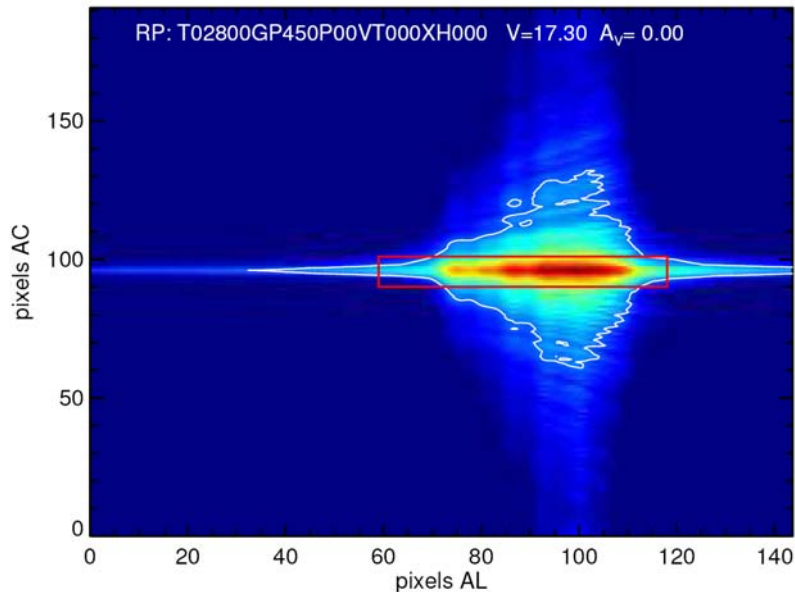
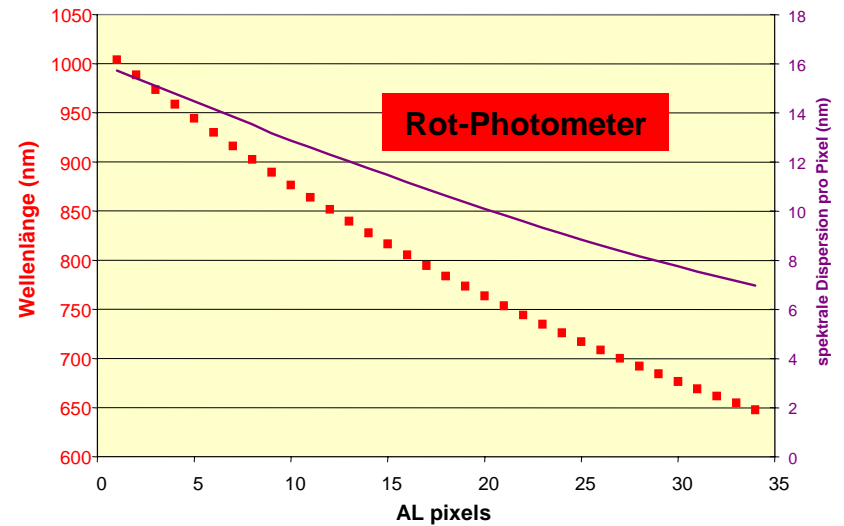
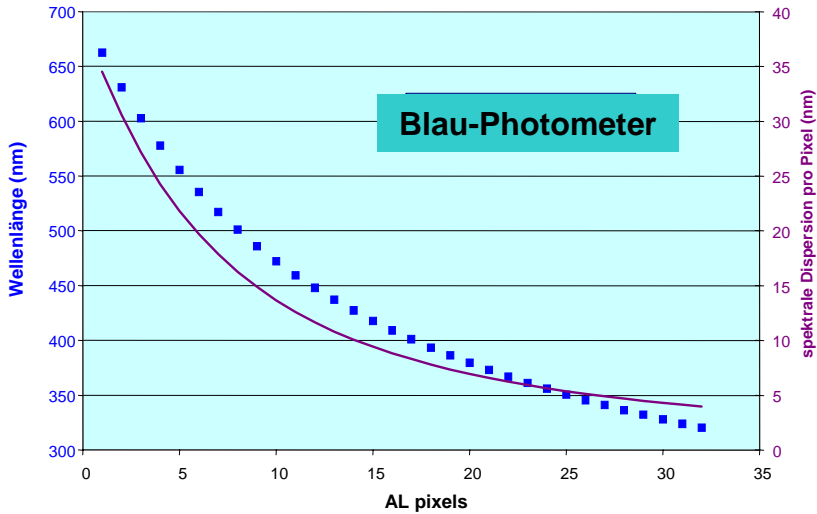
Detektoren für das Radial-Geschwindigkeits-Spektrometer (RVS)

Blau-Photometer:
330–680 nm

Rot-Photometer:
640–1000 nm

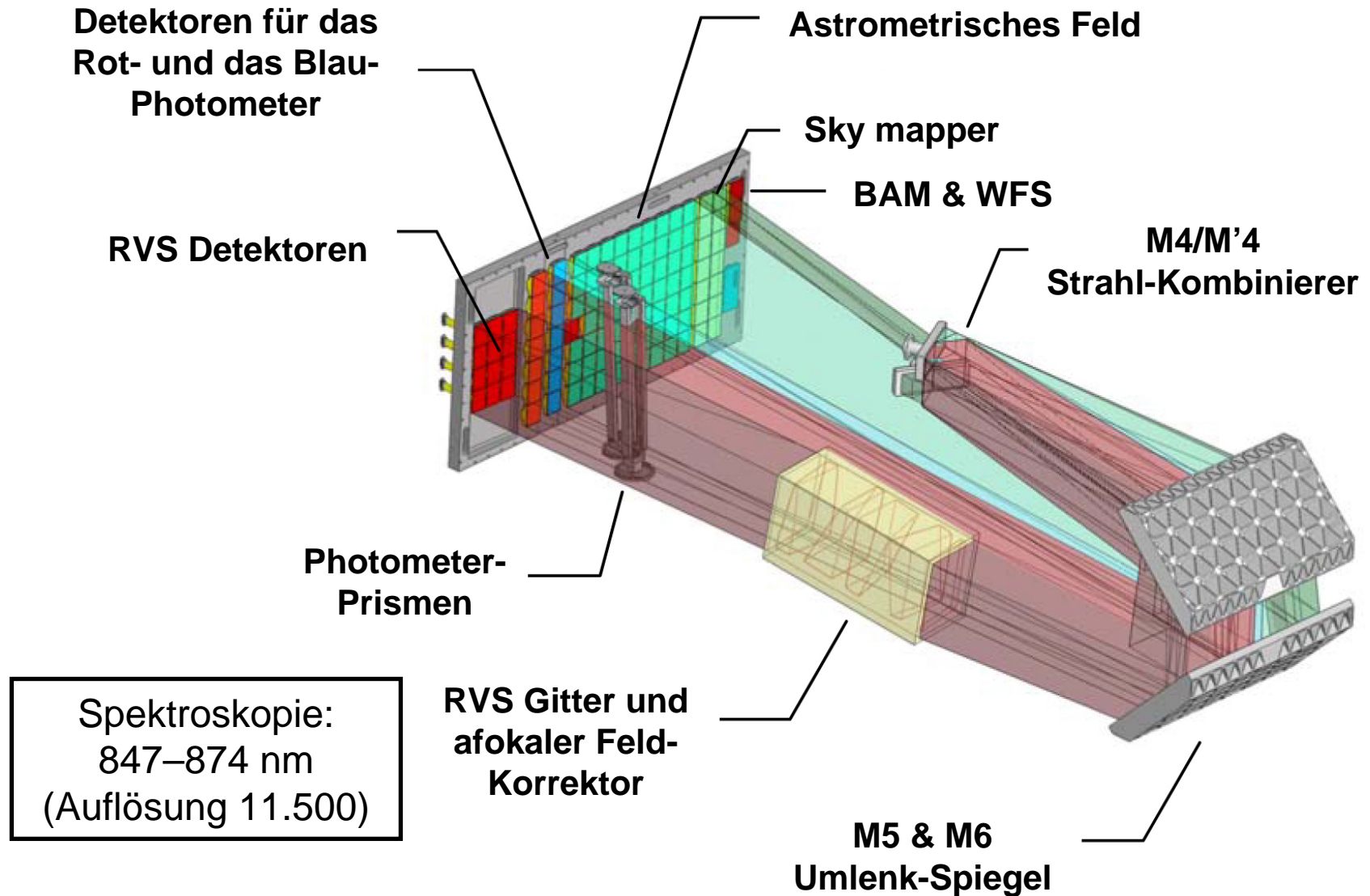


Messverfahren für die Photometrie (2/2)

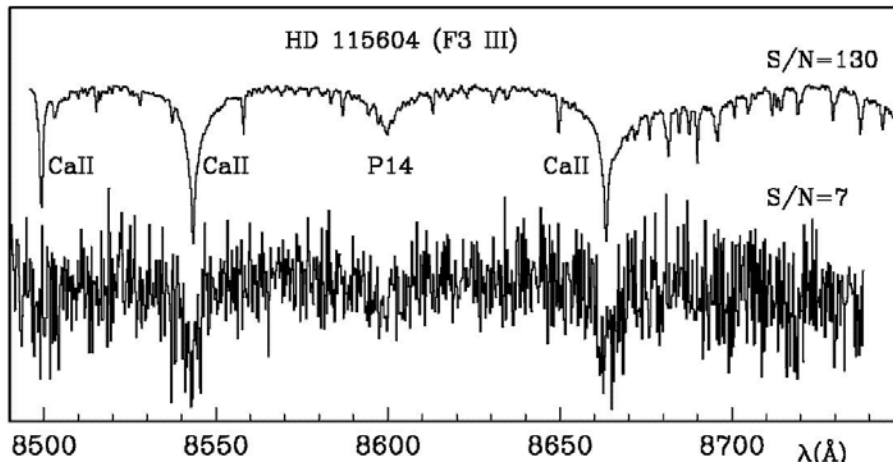
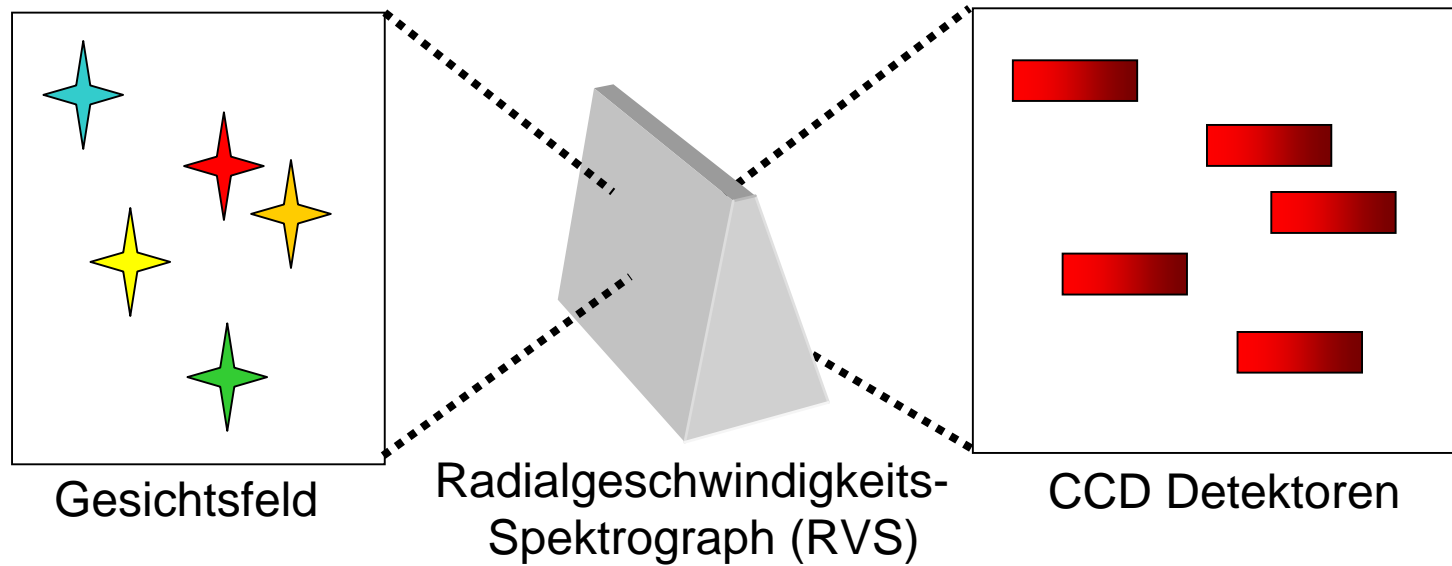


- RP-Spektrum eines M-Zwergs (V=17,3)
- Rotes Rechteck: zur Bodenstation übertragene Daten
- Weißer Kontur: Helligkeit des Himmels-hintergrunds
- Farbabstufung: Signal-Intensität

Messverfahren für Radialgeschwindigkeiten (1/2)

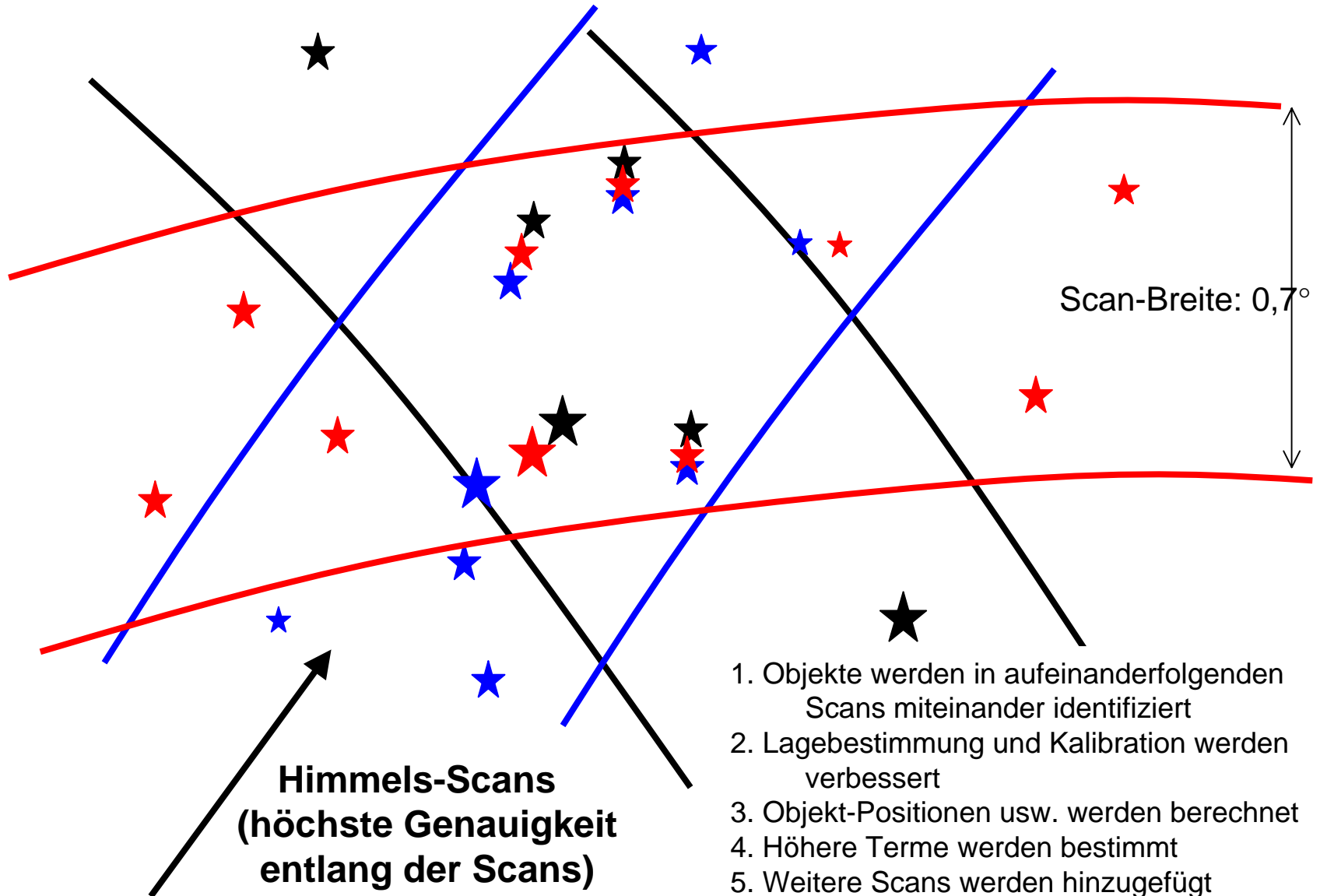


Messverfahren für Radialgeschwindigkeiten (2/2)



RVS-Spektrum eines F3-Riesen ($V=16$)
S/N = 7 (Einzelmessung)
S/N = 130 (integriert über die gesamte Mission)

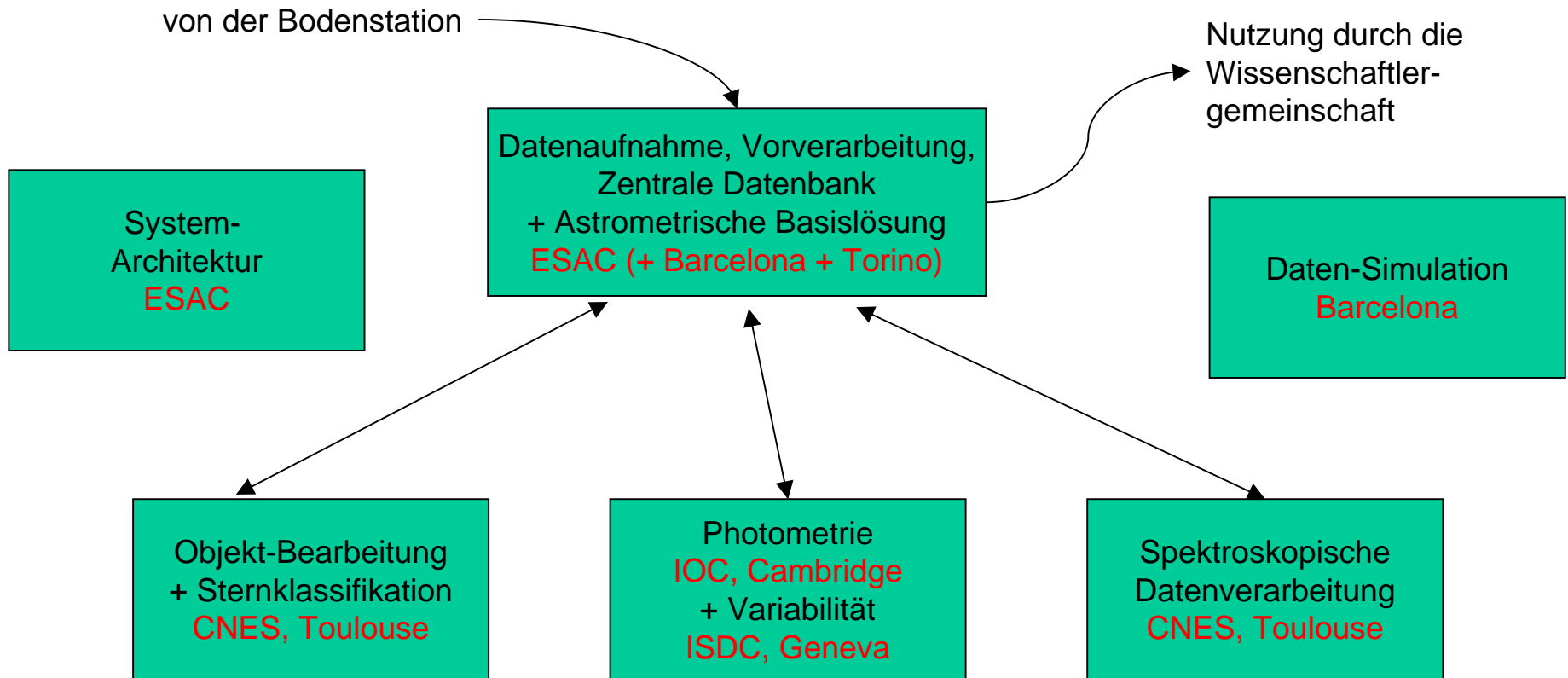
Prinzip der Datenreduktion



Wissenschaftliche Organisation

- Gaia Science Team (GST):
 - 12 Mitglieder + ESA Projektwissenschaftler
- Wissenschaftler-Gemeinschaft:
 - organisiert im Datenverarbeitungs-Konsortium (DPAC)
 - ~270 Wissenschaftler sind mit unterschiedlichen Beiträgen in den Arbeitsgruppen aktiv
- Aktivitäten der Wissenschaftler:
 - regelmäßige Zusammenkünfte des Gaia Science Teams, bzw. des DPAC
 - wachsendes Archiv von wissenschaftlichen Arbeitsberichten
 - Entwicklung von Simulationen, Algorithmen, Genauigkeitsmodellen, usw.
- Politik der Datenverteilung:
 - endgültiger Katalog ~2019–2020
 - Zwischenkataloge je nach Missionsfortschritt
 - besondere Beobachtungen (Supernovae etc.) sind sofort verfügbar
 - keine Besitzrechte an den Daten

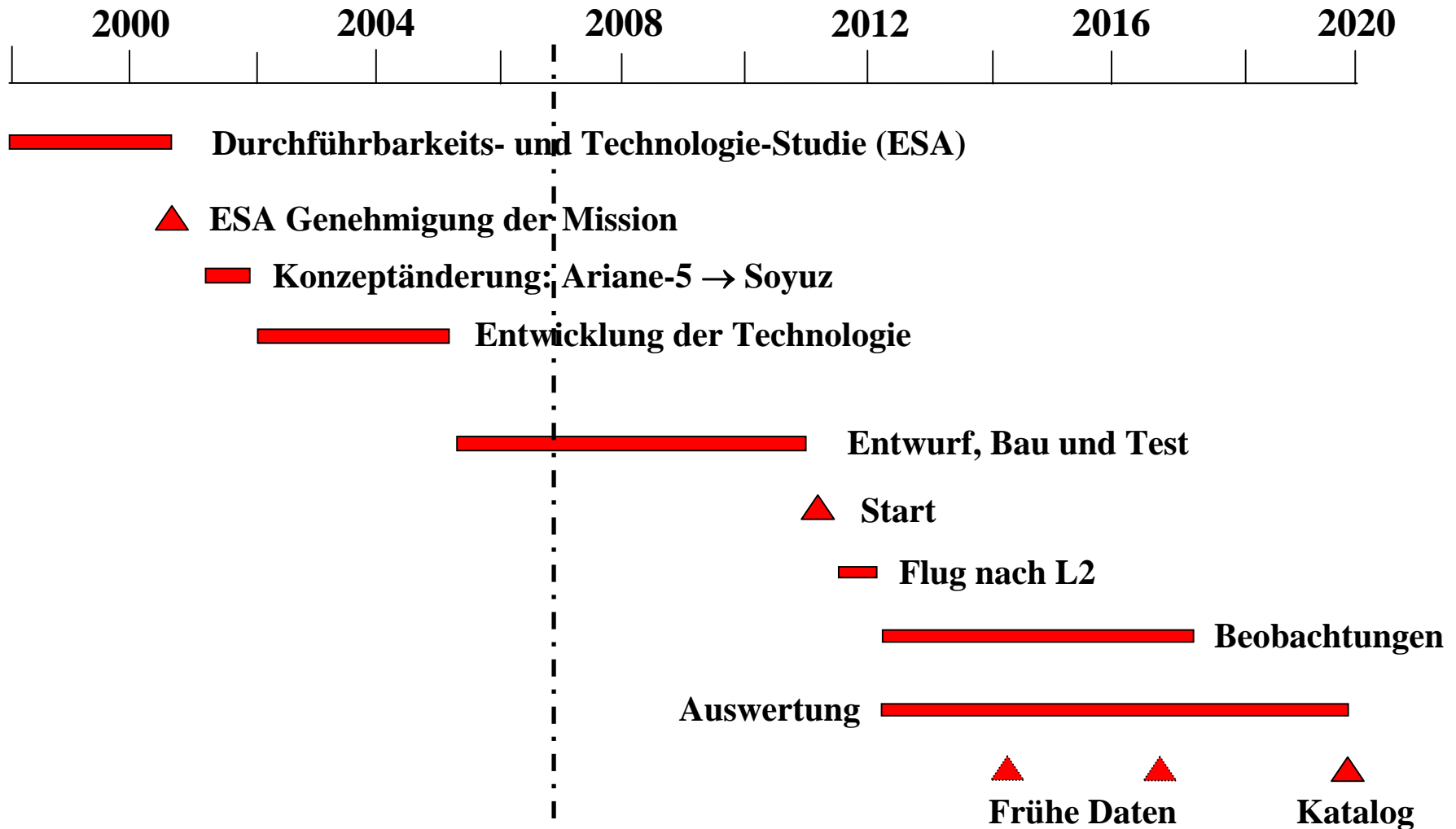
Datenverarbeitungs-Konzept (vereinfacht)



Status und Zeitplan

- Hauptauftragnehmer: EADS-Astrium
 - Beginn der Bauphase Anfang 2006
- Hauptaktivitäten und Herausforderungen:
 - CCDs und FPA (einschl. PEM Elektronik)
 - SiC-Hauptspiegel
 - hochstabile optische Bank
 - Bordelektronik
 - Sendeantenne
 - Lageregelung
 - Kalibrierung der Strahlungsschäden-Effekte der CCDs
- Zeitplan:
 - keine größeren Unsicherheiten bezüglich Kosten und Startzeitpunkt
 - Start im Jahr 2011
 - wissenschaftlich-technologisches “Fenster”: 2010–2012

Zeitplan



Gaia

Entschlüsselung der chemischen und
dynamischen Entwicklungsgeschichte
unserer Galaxis