

Die Vermessung der Milchstraße mit dem Gaia: Gaia's erster Sternkatalog



Stefan Jordan

Astronomisches Rechen-Institut am
Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg
<http://www.stefan-jordan.de>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Die Milchstraße



www.eso.org

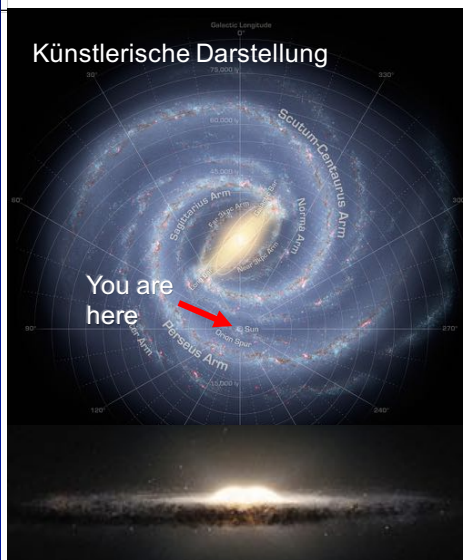
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Die Milchstraße

Künstlerische Darstellung



Eine andere Galaxie

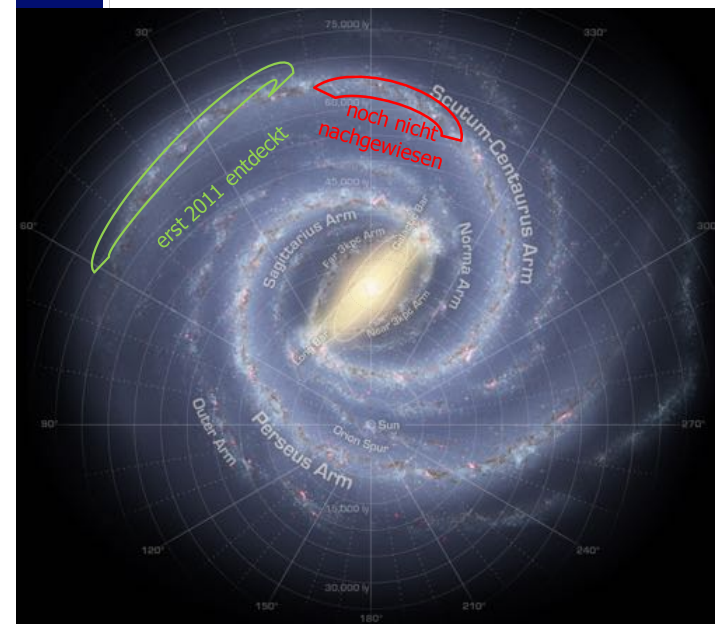
Unser Sternensystem mit 100-300 Milliarden Sternen

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Wie sieht die Milchstraße wirklich aus?



2010:
zwei Arme,
nicht vier

Spiralarm
erst 2011
entdeckt !

Entfernung
des Perseus-
Arms, 2010 4 -> 2

doch 4 Arme,
2013

Junge innere
Scheibe, 2015

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Gaias Hauptziele

Bestimmung der **Positionen**, der **Bewegungen** und der **Entfernungen** von 1 Milliarde Sternen

Das sind (praktisch) alle Sterne bis zur 20. Größenklasse (also heller als eine Kerze in 20000 km Entfernung)



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

„Fix“sterne bewegen sich



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Nur zwei unvoreingenommene Methoden zur Entfernungsmessung:

- Radar/Laserechos (Signallaufzeit mit Lichtgeschwindigkeit)
- Parallaxenmessung (Triangulation)



APOLLO
(Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation, New Mexico, 3.5m Spiegelteleskop)



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

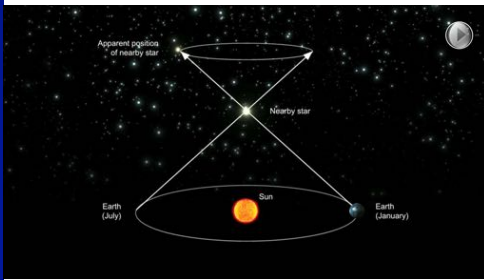
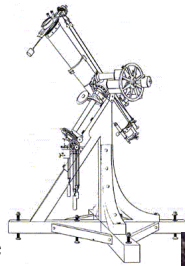


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Erste signifikante Messung einer Parallaxe

- Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846)
- 1838: Entfernung des Doppelsterns 61 Cygni
- Ermittelte Parallaxe: 0.31 Bogensekunden
- Entfernung ca. 11 Lichtjahre



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Geschichte der Parallaxenmessung: DPAC

Wirklich gemessene (signifikante) Parallaxen:

- 1838 1
- 1900 100
- 1990 900
- 1997 50 000
- **Seit 14.9.2016: 600 000 von Gaia**
- **Und noch viel mehr von Gaia im April 2018 und danach...**

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Geschichte der Parallaxenmessung: DPAC

Wirklich gemessene (signifikante) Parallaxen:

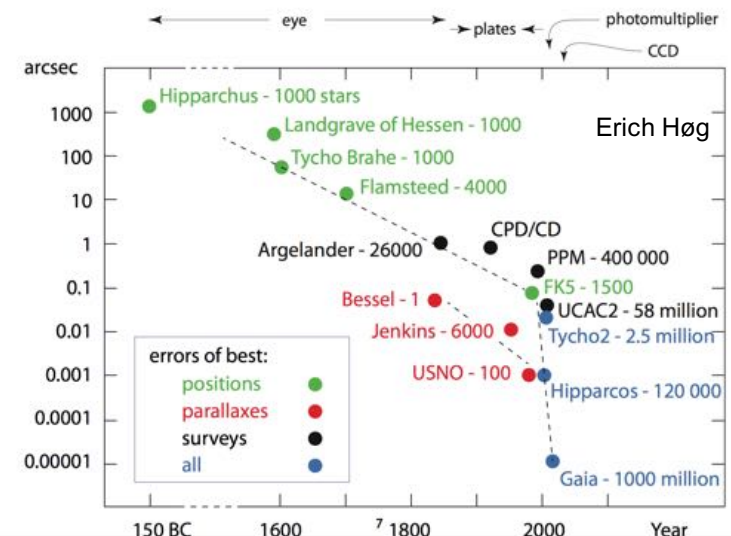
- 1838 1
- 1900 100
- 1990 900
- 1997 50 000

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Geschichtliche Entwicklung der Genauigkeit astrometrischer Messungen DPAC



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Parallaxen (Centaur)

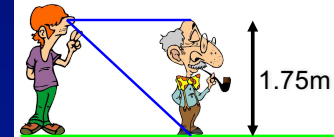


Parallaxen (100000fach übertrieben)

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Parallaxenwinkel sind winzig

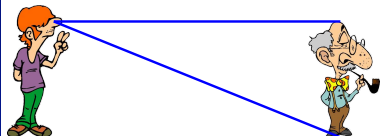


200 Meter Entfernung
0.5 Grad

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Parallaxenwinkel sind winzig

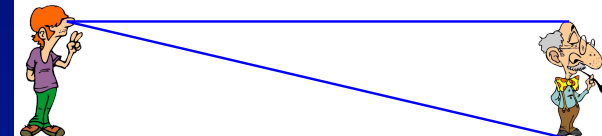


380 Kilometer
1 Bogensekunde

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Parallaxenwinkel sind winzig

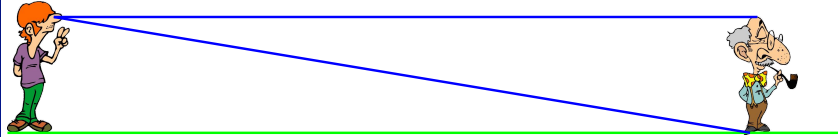


380000 Kilometer
1 Millibogensekunde

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Parallaxenwinkel sind winzig

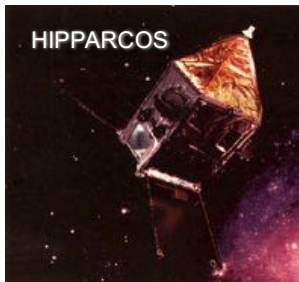


15 Millionen Kilometer
25 Mikrobogensekunden

Genauigkeit der Parallaxen

25 μ s bei 15. Größe $\rightarrow$ 0.1 % Genauigkeit in 130 Lj Entfernung
1 % Genauigkeit in 1300 Lj Entfernung
10 % Genauigkeit in 13000 Lj Entfernung

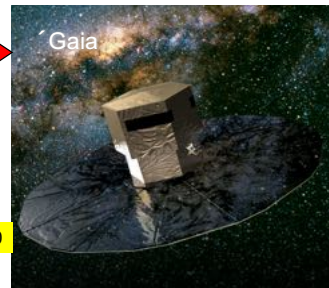
Erhoffte Verbesserung durch Gaia



HIPPARCOS

Genauigkeit x 50

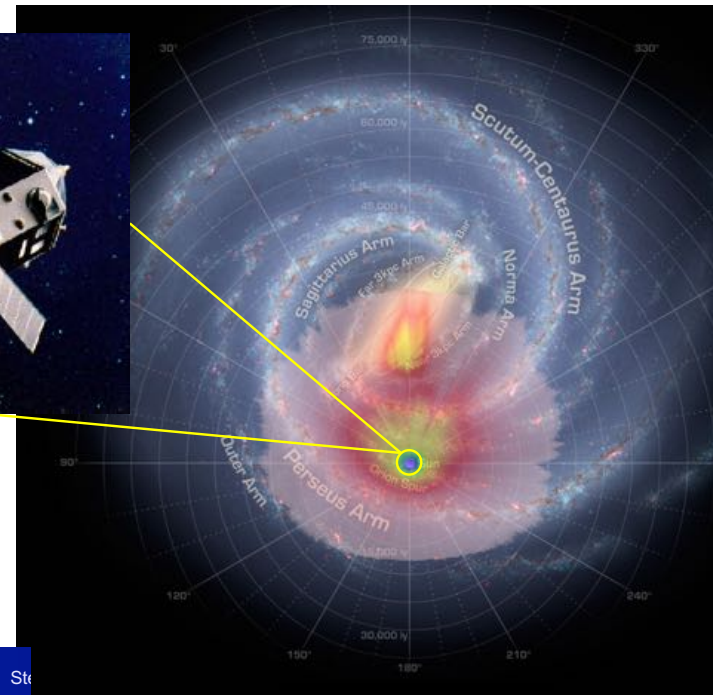
der Sterne x 10000



Gaia



A. Brown



Gaias Zeitplan

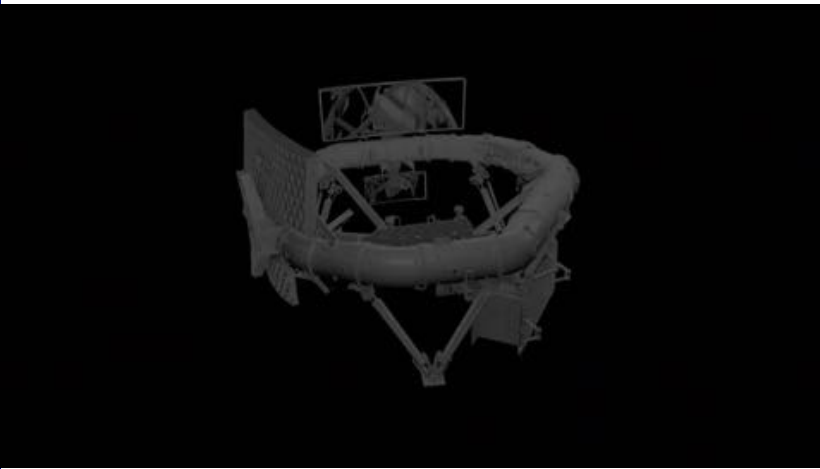
- **Mai 1993:** Erster Vorschlag für Gaia bei ESA
- **2000:** Als ESA Projekt akzeptiert, „Cornerstone (Eckpfeiler) Mission“
- **2006:** Beginn der industriellen Phase
- **2007-2013:** Diverse Begutachtungen
- **19. Dezember 2013:** Start
- **Bis 18. Juli 2014:** „Commissioning“ (Testphase)
- **Seit August 2014:** Reguläre Messungen
- **14. September 2016, 12:30 MESZ:** Erster Gaia-Katalog
- **April 2018:** Zweiter (erster „richtiger“) Gaia-Katalog
- **2019:** Ende der nominellen Mission (5 Jahre Messzeit)
- **2022-2023:** Veröffentlichungen der „endgültigen“ Ergebnisse

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Der Torus und Gaias Instrumente



Aus: "The Gaia Mission – Spanish Participation", <http://gaiavideo.ub.edu>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Gaia-Test am Boden



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Einer der Hauptspiegel



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Gaias Ein-Giga-Pixel-Kamera

106 lichtempfindliche CCD-Detektoren

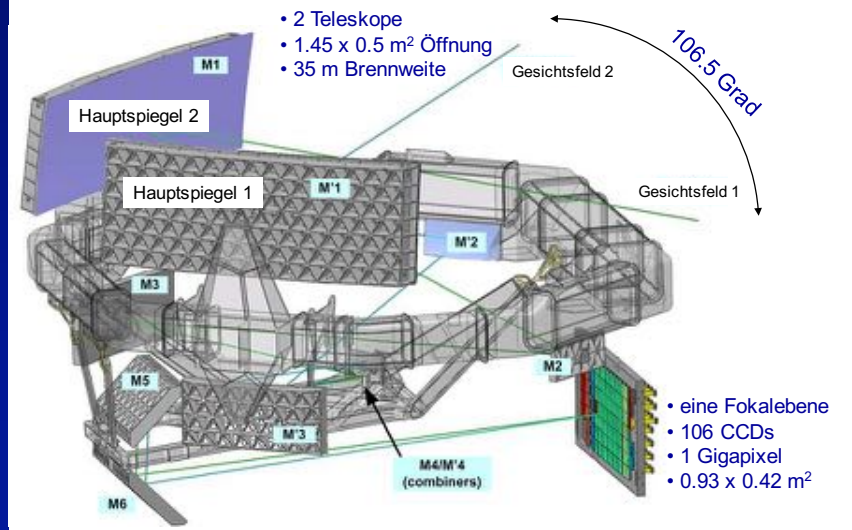


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Teleskope und Detektoren



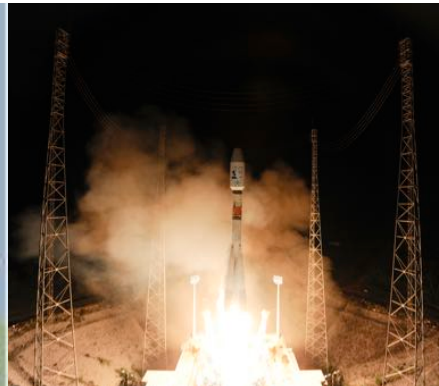
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Der Start

- Sojus-Fregat
- 47 Meter Höhe
- Startplatz: Sinnamary in French Guyana
- Start: 19. Dezember 2013

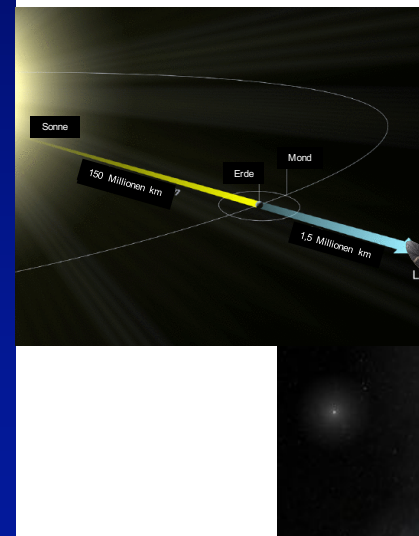


Stefan Jordan

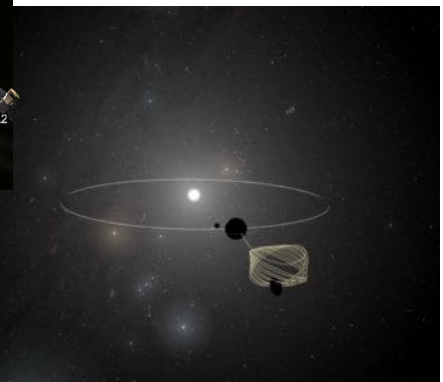
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Gaia beim L2



Animation mit Gaia Sky:
Toni Sagristà Sellés
(ARI/ZAH University
of Heidelberg)

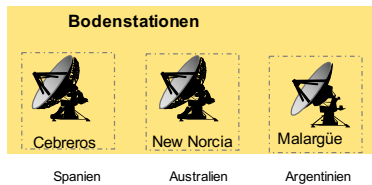
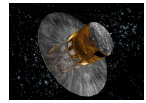


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Kommunikation mit dem Boden



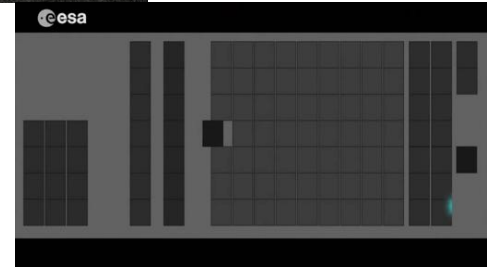
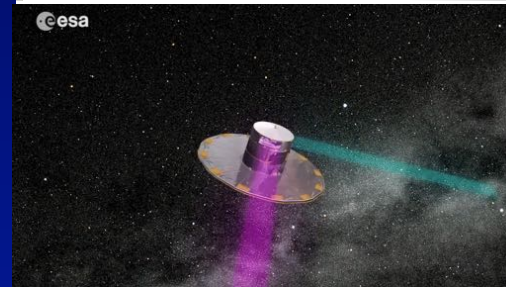
Telemetrie:
3-8 Megabit pro Sekunde

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Blick durch die beiden Teleskope



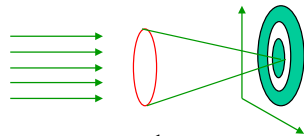
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Astrometrische Genauigkeit

Astrometrische Genauigkeit ≠ Auflösungsvermögen



$$\sigma \approx \frac{\lambda}{D} \frac{1}{\sqrt{N}}$$

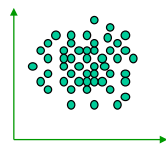
$\lambda = 0.5 \mu\text{m}$, $D = 1.45 \text{ m}$

$G = 15 \text{ mag} \Rightarrow N = 6 \cdot 10^7$

$\sigma = 0.5 \cdot 10^{-6} / (1.45 \cdot 7700) \approx 10 \mu\text{as}$

Mit weiteren Fehlerquellen:

$\sigma \approx 25 \mu\text{as}$



Centroid

N = Zahl der registrierten
Photonen

Genauigkeit
senkrecht zur
Abtastrichtung:
10 mal kleiner

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Himmelsabtaftung

NSL field transits in ICRS after: 0 years 000 days 00 hr 10 min

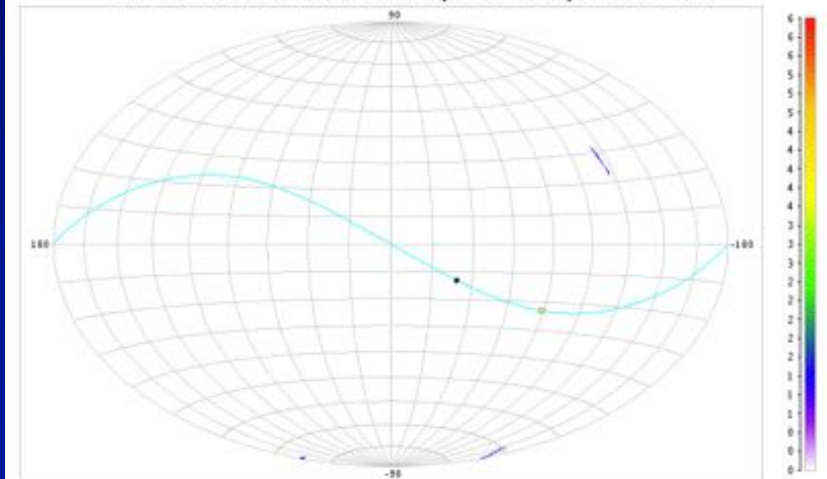


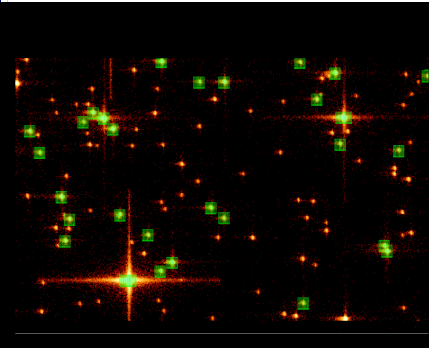
Bild und Animation: Berry Holl, Lund

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Die „Sternbilder“



CU2 Gibis team 2011, C.
Babusiaux, X. Luri

- Die Sterne werden automatisch detektiert (Skymapper)
- Die Sterne werden auf dem ersten Streifen der Astro-CCDs bestätigt
- Wenn beides gelungen ist, wird ein Fenster um die Sternposition an Bord gespeichert
- Während der Zeit des Bodenkontaktes werden nur die Fenster zur Erde gefunkt

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Spektren



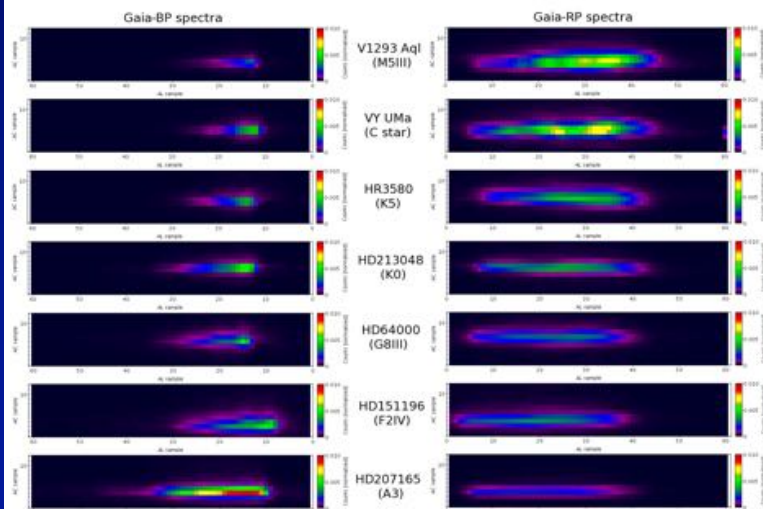
Heidelberg, 27.5.2011

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Blaues und rotes Photometer

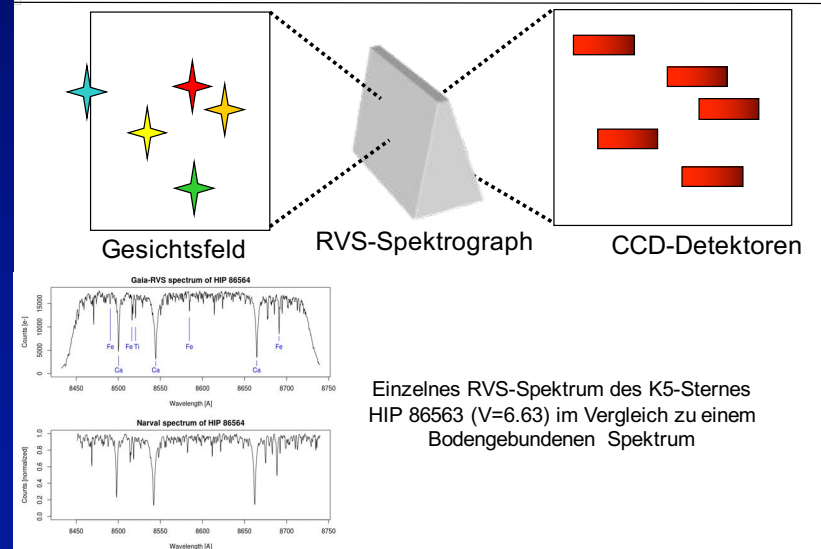


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Radialgeschwindigkeits-Messungen



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Missionsstatus am 21. Oktober 2017

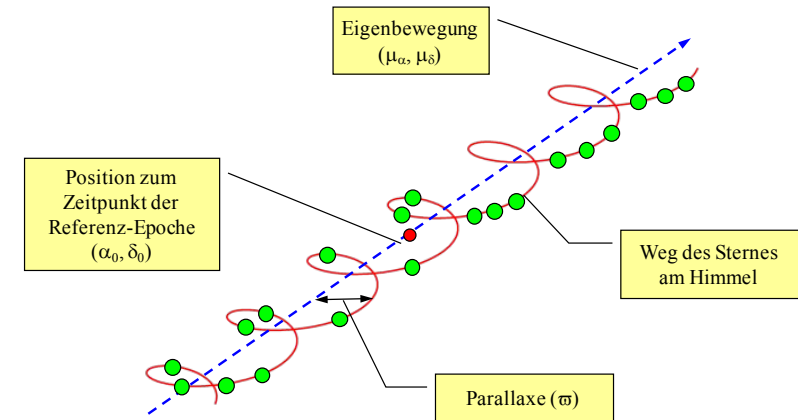
- Entfernung Gaias von der Erde in km: 1.509.095
- Zahl der Tage im Routinebetrieb: 1184
- Wissenschaftliche Daten in GB: 45.105
- Zahl der Transits durch die Fokalebene: 87.143.035.108
- Zahl der astrometrischen CCD-Beobachtungen: 858.133.774.632
- Zahl der photometrischen CCD-Beobachtungen: 174.532.817.252
- Zahl der spektroskopischen CCD-Beobachtungen: 16.392.654.710

<https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/mission-numbers>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

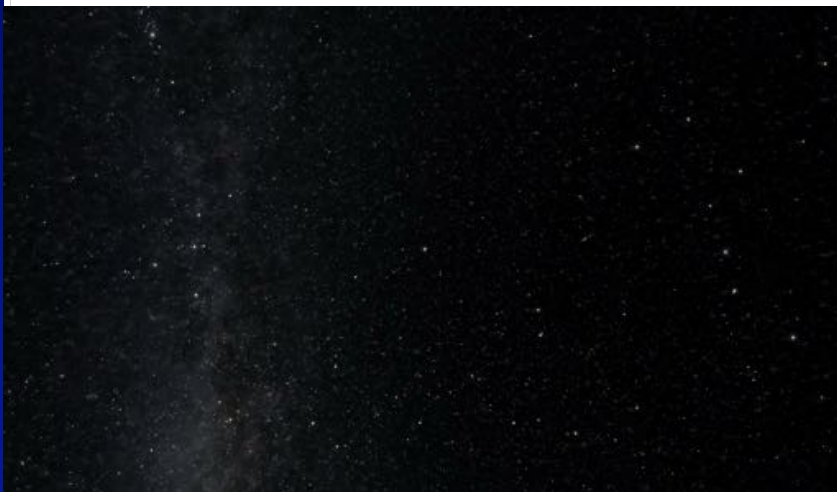
Die Bewegung eines Sternes



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

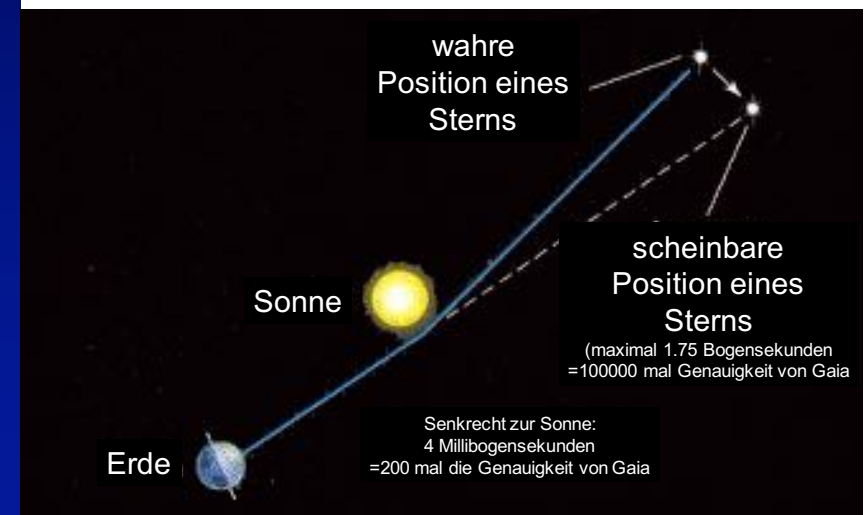
Eigenbewegung+Parallaxe (Nördlicher Pol)



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Lichtablenkung an der Sonne



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaias Problem

Mit derselben Genauigkeit mit der Gaia

- die **Position der Sterne** bestimmen will, müssen wir zu jedem Zeitpunkt wissen,

- **wohin Gaia guckt und wo sich Gaia befindet, wie schnell Gaia ist,**

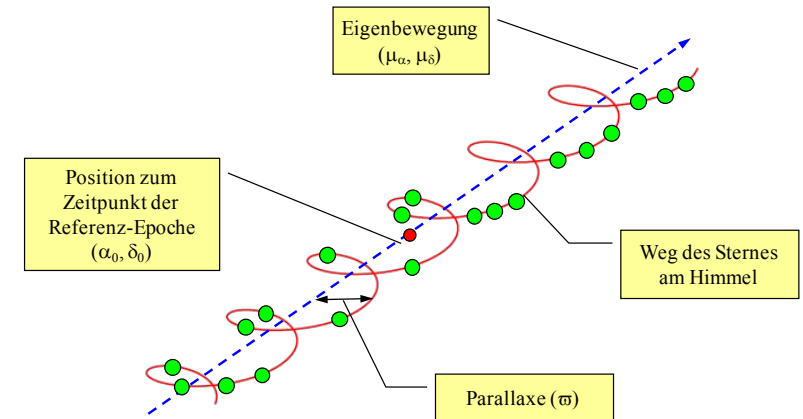
wie

- **die Optik und die Detektoren angeordnet sind**

und ob Einstein recht hat!!



Die Bewegung eines Sternes



Astrometrische Datenreduktion

- 10^{12} individuelle Positionsmessungen
- Viele sind miteinander eng verknüpft
- Schwieriges mathematisches Problem

AGIS (Astrometric Global Iterative Solution)

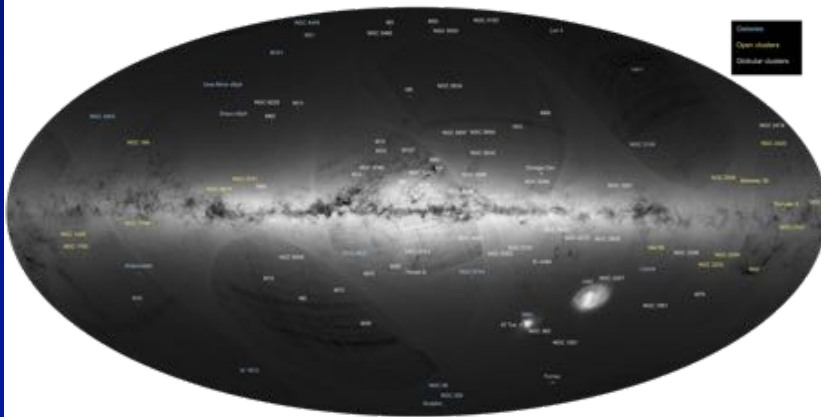
- 5000 Millionen Stern-Unbekannte
- 150 Million Unbekannte, die die Satellitenausrichtung beschreiben
- 10-50 Million andere Kalibrations-Unbekannte

Gaia DR1

- Positionen und Helligkeiten (G-Magnituden) für 1 142 679 769 Sterne

Gaia DR1 – Dichteverteilung der Gaia-Quellen

ESA/Gaia/DPAC, André Moutinho & Márcia Barros

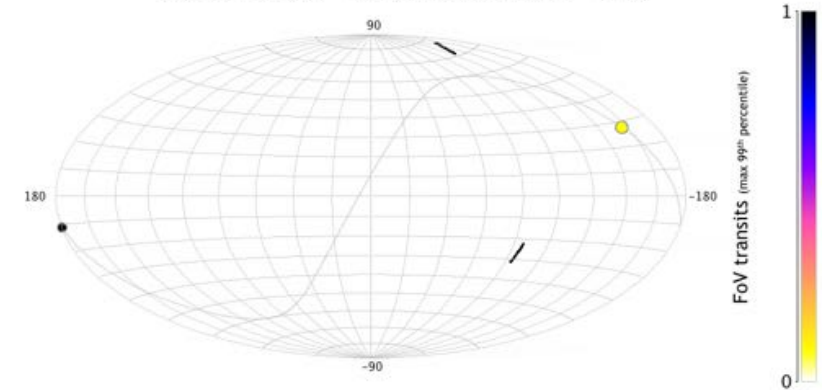


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia DR1- Himmelsüberdeckung

Gaia DR1 (Galactic): 0.2 hours 2014-07-25 (EPSL)



- 14 (effektiv 11) Monate Gaia-Daten
- $\sim 2.3 \times 10^{10}$ Fokalebene-Transits
- Nur Einzelsternlösungen

DPAC-CU3 Team, Berry Holl

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

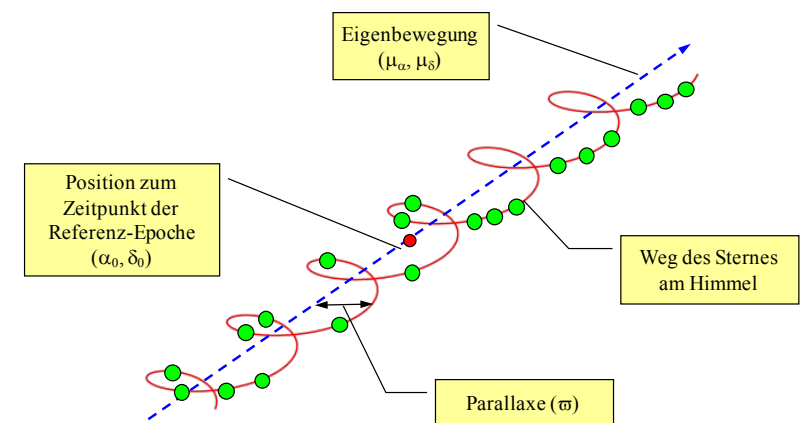
Gaia DR1

- Positionen und Helligkeiten (G-Magnituden) für 1 142 679 769 Sterne
- TGAS: Positionen, Parallaxen (Entfernungsmessungen) und Eigenbewegungen von 2 057 050 Sternen.

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Die Bewegung eines Sternes

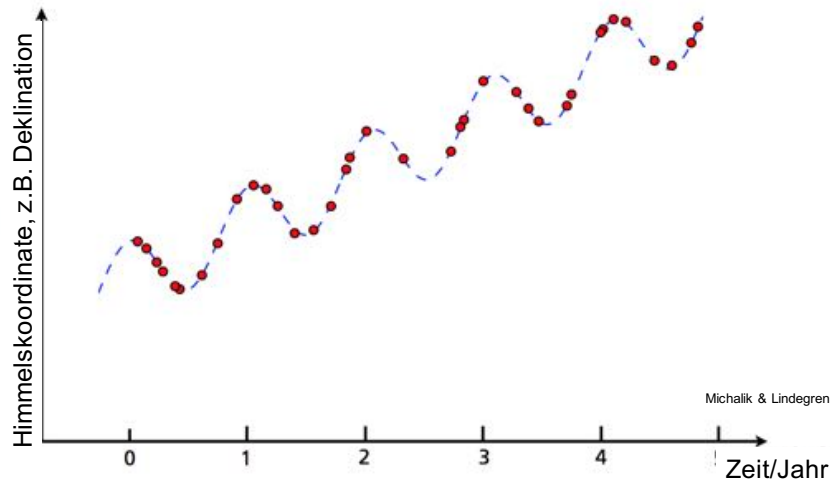


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Beobachtung einer Himmelskoordinate über 5 Jahre

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

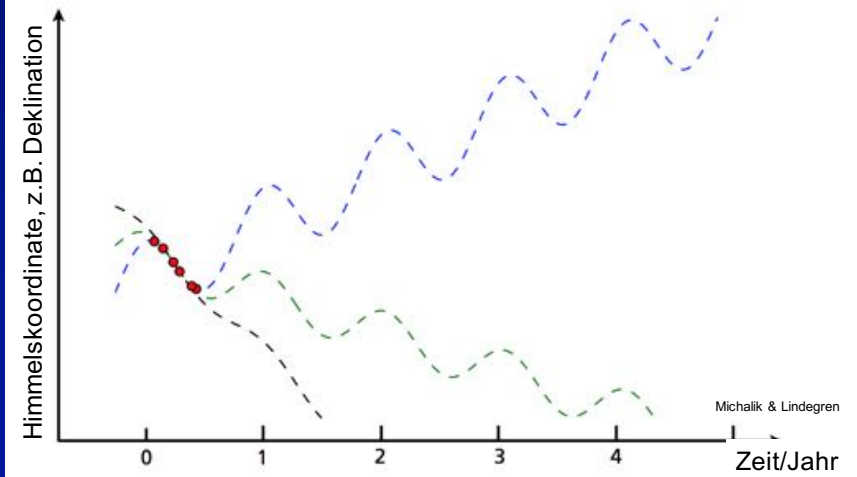


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Beobachtungen von weniger als einem Jahr

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

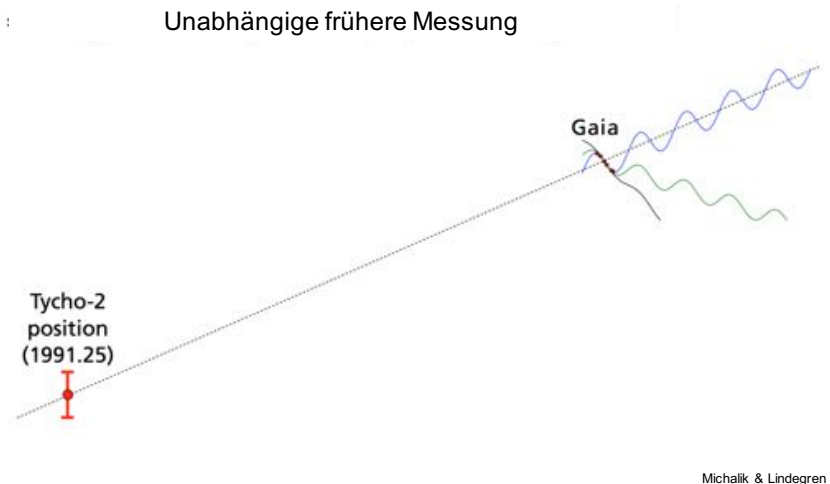


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Beobachtungen von weniger als einem Jahr plus frühere Beobachtung

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

TGAS

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

- Tycho-Gaia-Astrometrische-Lösung
- Kombination von Tycho-2 (1991) mit den Gaia-Messungen (2015)
- Für 2 057 050 Parallaxen und Eigenbewegungen
- Genauigkeit meist besser als bei Hipparcos für Sterne heller als $G < 11.5$.
- Davon 600 000 mit einem Parallaxenfehler unter 12,5%

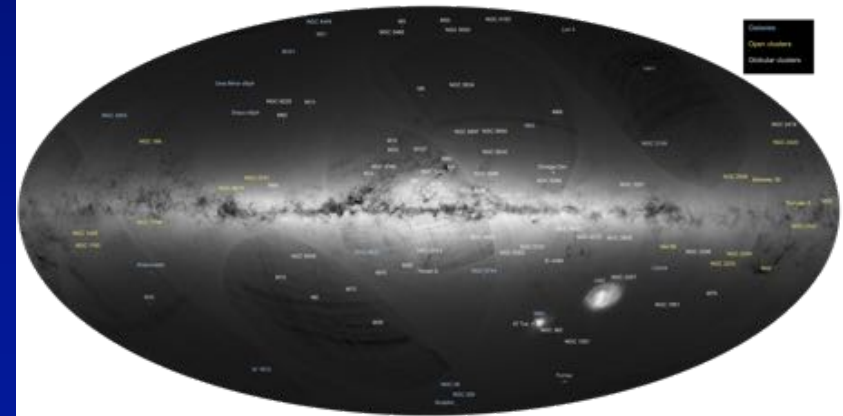
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia-Sky-Flug Aldebaran-Hyaden-Plejaden

Gaia DR1 – Dichteverteilung der Gaia-Quellen

ESA/Gaia/DPAC, André Moutinho & Márcia Barros



Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia DR1

- Positionen und Helligkeiten (G-Magnituden) für 1 142 679 769 Sterne
- TGAS: Positionen, Parallaxen (Entfernungsmessungen) und Eigenbewegungen von 2 057 050 Sternen.

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

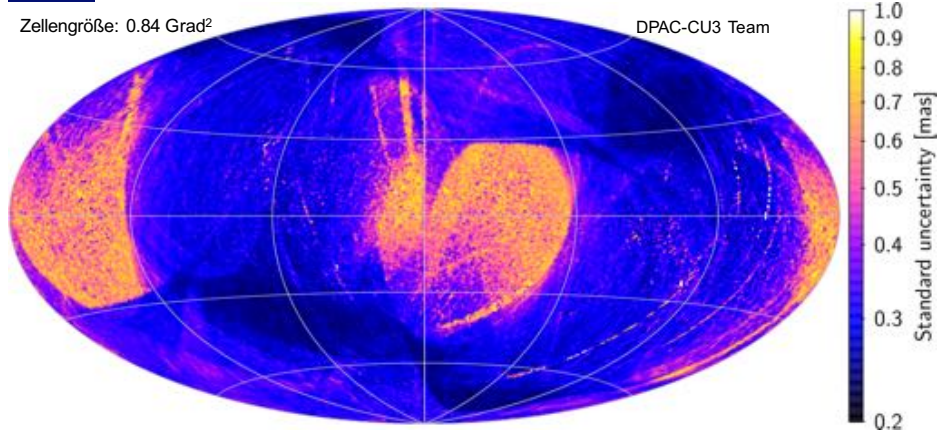
Erster Gaia-Katalog „Gaia DR1“

- Positionen und Helligkeiten (G-Magnituden) für 1 142 679 769 Sterne
- TGAS: Positionen, Parallaxen (Entfernungsmessungen) und Eigenbewegungen von 2 057 050 Sternen.
- Angaben über die Genauigkeit und die Korrelationen zwischen den einzelnen Sternparametern.
- Lichtkurven für Veränderliche Sterne vom Typ RR Lyrae (2595 Sterne) und Delta Cephei (599 Sterne) am südlichen ekliptikalen Pol (10% neu!)
- Positionen und G-Magnituden von 2152 ICRF-Quasaren
- Informationen aus anderen Katalogen: Hipparcos-2, Tycho-2, 2MASS PSC, GSC2.3, PPM-XL, UCAC-4, SDSS DR10 / DR12, AllWISE und URAT-1.

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

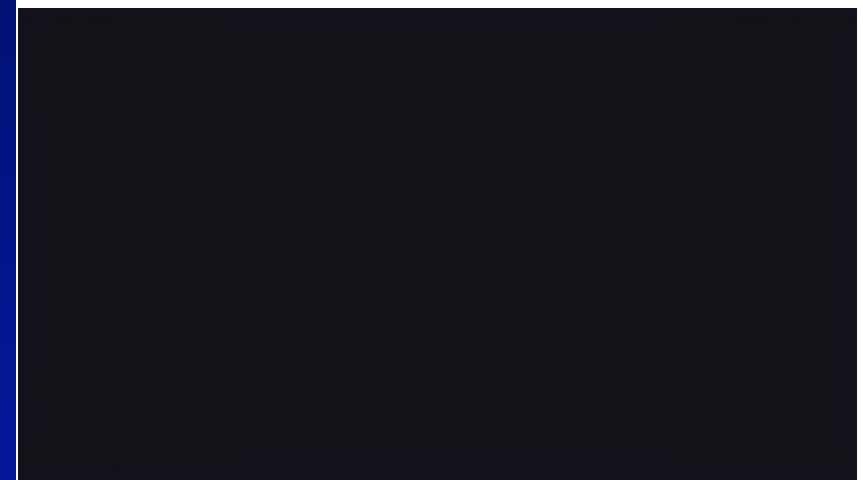


Mitglie

- Median der Unsicherheit der Parallaxen: ~ 0.3 Millibogensekunden
- Systematische Fehler: ~ 0.3 Millibogensekunden

Stefan Jordan

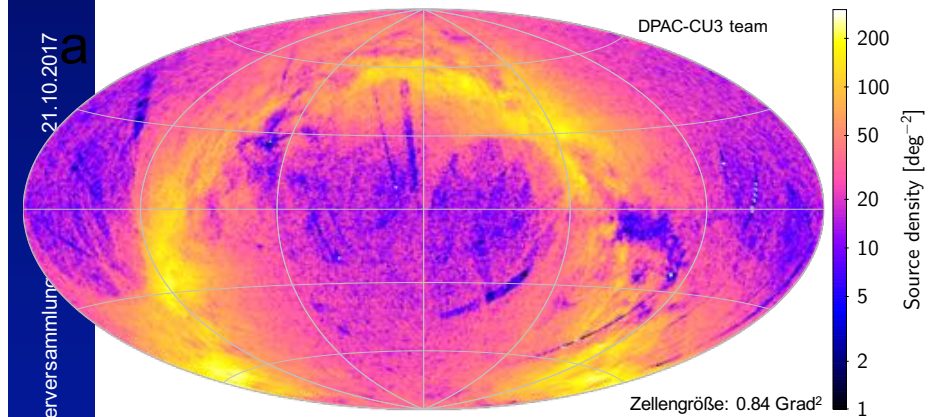
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



450,000 Jahre in die Zukunft (Gaia DR1 + Hipparcos-Katalog)

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



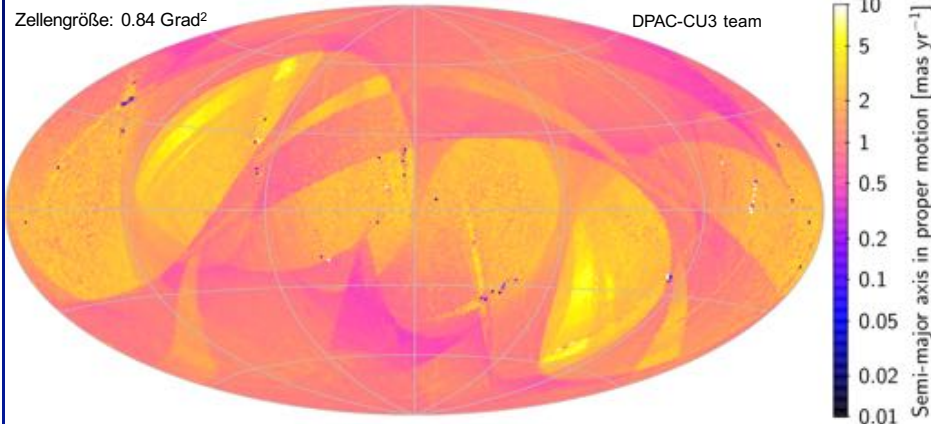
Mitgliederversammlung 21.10.2017

- Parallaxen und Eigenbewegungen für ca. 2 Millionen TGAS-Quellen
- Realistische Fehlerangaben durch Vergleich mit Hipparcos-Messungen

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia DR1- Genauigkeit der TGAS-Eigenbewegungen



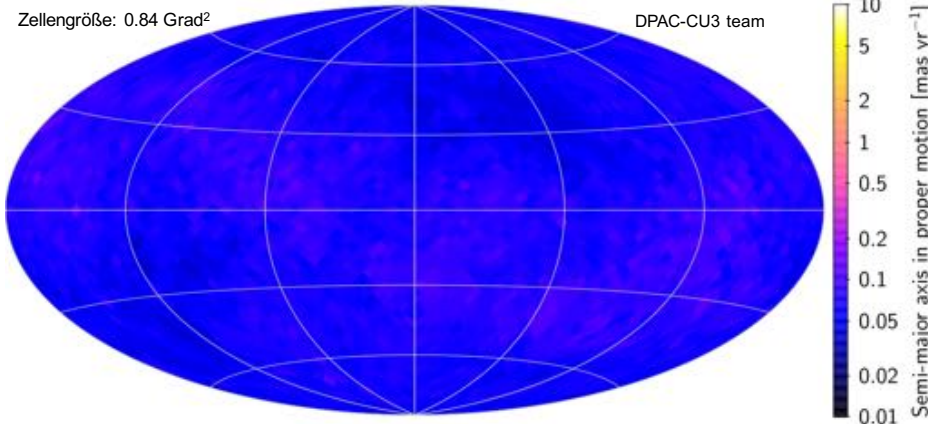
Mitglied

- Median der Eigenbewegungsunsicherheit: $\approx 1.3 \text{ mas Jahr}^{-1}$
- Systematischer Fehler: $0.3 \text{ mas Jahr}^{-1}$

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia DR1- Genauigkeit der TGAS-Eigenbewegungen (Hipparcos-Sterne)



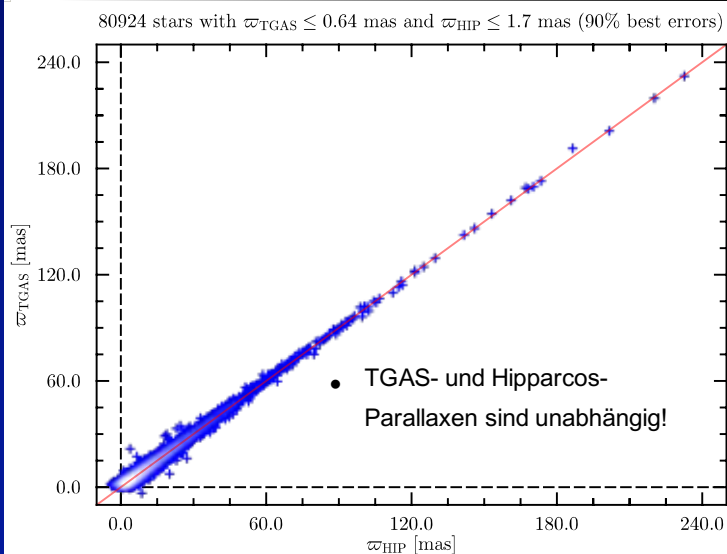
Mitglied

- Median der Eigenbewegungsunsicherheit: $\approx 0.07 \text{ mas Jahr}^{-1}$
- Systematischer Fehler: $0.3 \text{ mas Jahr}^{-1}$

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Vergleich der TGAS- und Hipparcos-Parallaxen

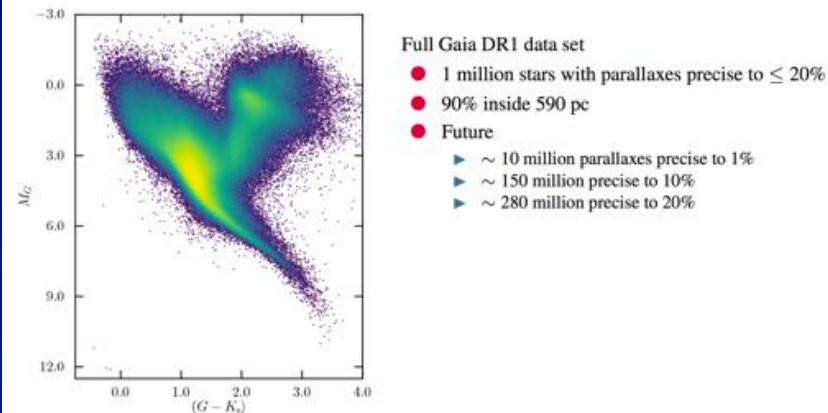


Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

HR diagram from TGAS stars



Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

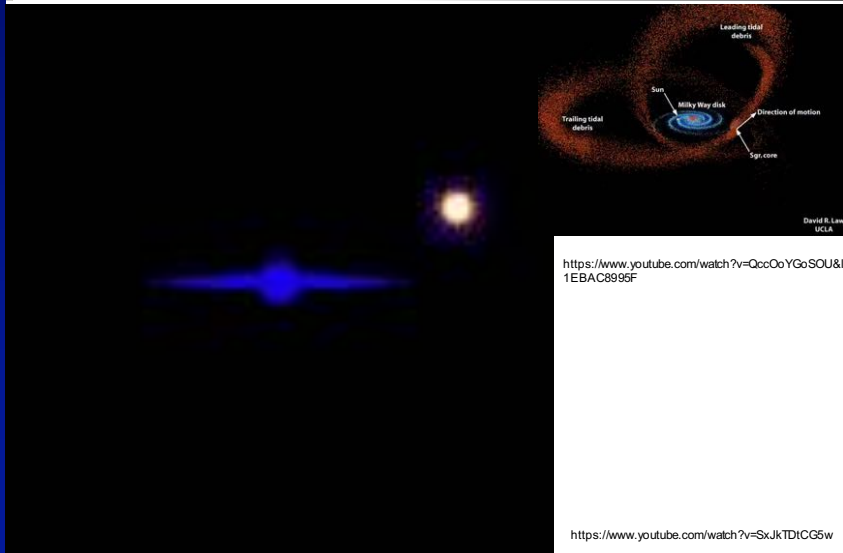
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

A. Brown

Verschmelzung von Galaxien

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

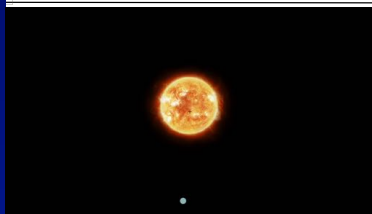


Stefan Jordan

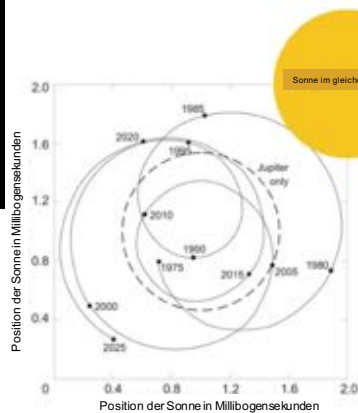
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Exoplaneten

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Sterne mit Planeten wackeln
(Animation: ESA)



So wackelt die Sonne,
betrachtet aus 30 Lichtjahren Entfernung

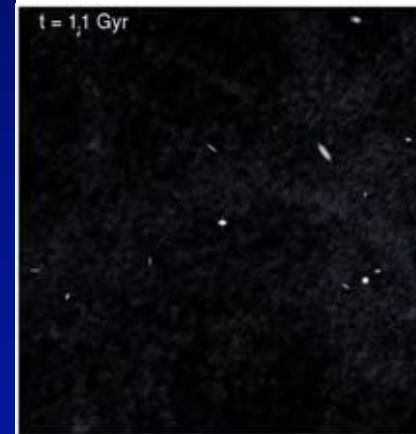
<http://innumerableworlds.files.wordpress.com/2009/04/sunwobble.jpg?w=460&h=431>

Stefan Jordan

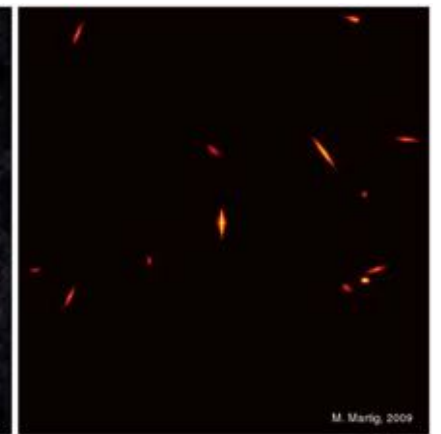
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Ist unsere Milchstraße so entstanden?

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Staub



Sterne

Stefan Jordan

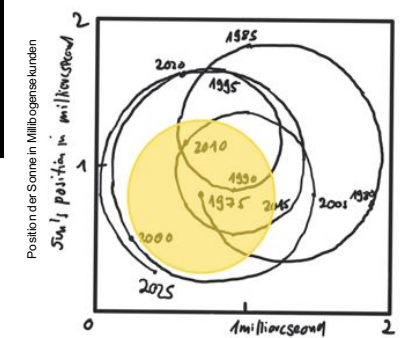
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Exoplaneten

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Sterne mit Planeten wackeln
(Animation: ESA)



So wackelt die Sonne,
betrachtet aus 30 Lichtjahren Entfernung

<http://innumerableworlds.files.wordpress.com/2009/04/sunwobble.jpg?w=460&h=431>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Exoplaneten

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

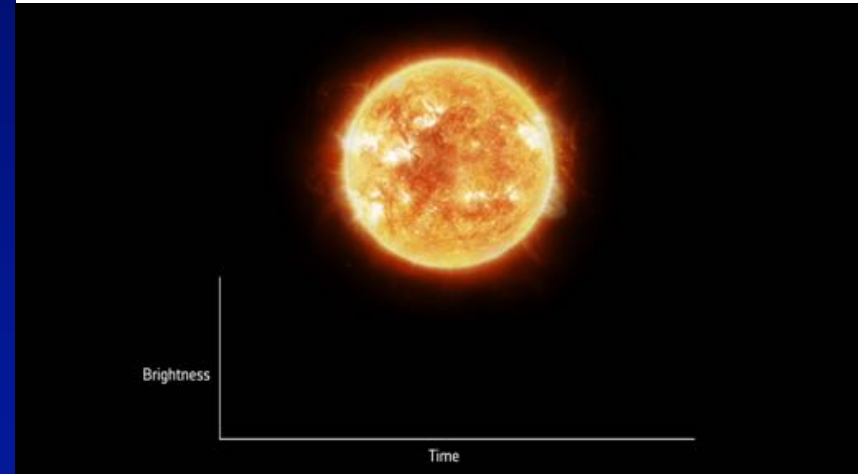


Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Transit eines Exoplaneten

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia: Transits

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

KNOWN EXOPLANETARY TRANSITS IN GAIA DATA

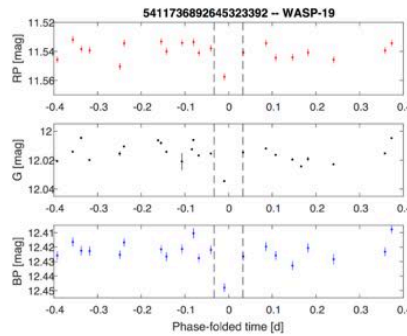


Figure 1: Gaia folded light-curve of WASP-19b in the bands RP, G and BP. The light-curves are shifted to zero transit phase, and folded by the known period. The vertical dashed lines mark the times of transit ingress and egress. (Image credit: ESA/Gaia/DPAC/CU7) https://www.cosmos.esa.int/web/gaiaflow_20170209

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia: Transits

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

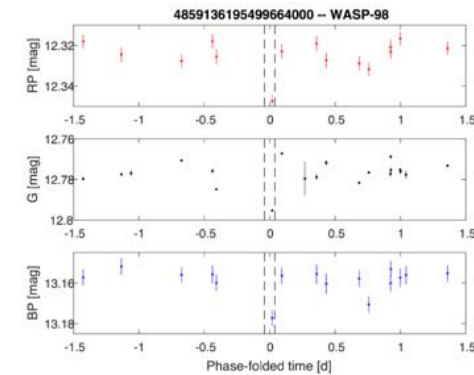


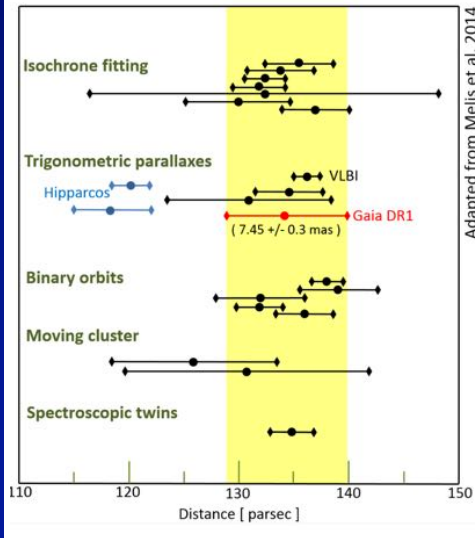
Figure 2: Gaia folded light-curve of WASP-98b in the bands RP, G and BP. The light-curves are shifted to zero transit phase, and folded by the known period. The vertical dashed lines mark the times of transit ingress and egress. (Image credit: ESA/Gaia/DPAC/CU7) [aiaflow_20170209](https://www.cosmos.esa.int/web/gaiaflow_20170209)

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Entfernung der Plejaden

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



- Vorläufige Entfernungsschätzung: 134 ± 6 pc
- Noch relativ ungenau
- Wesentlich besser in Gaia DR2!

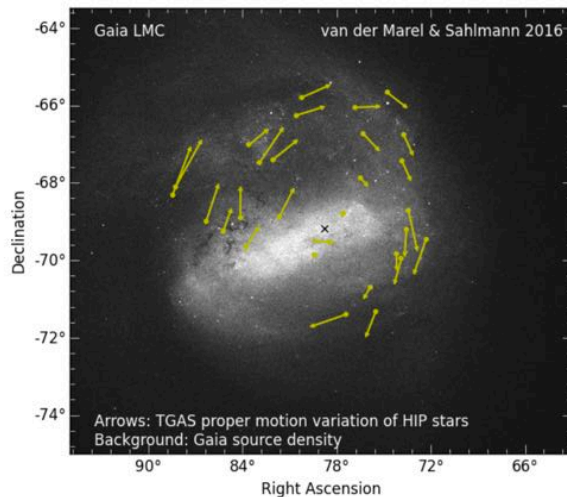
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Erste Wissenschaft mit Gaia-Daten

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



158.000
Lichtjahre
entfernt

A. Brown

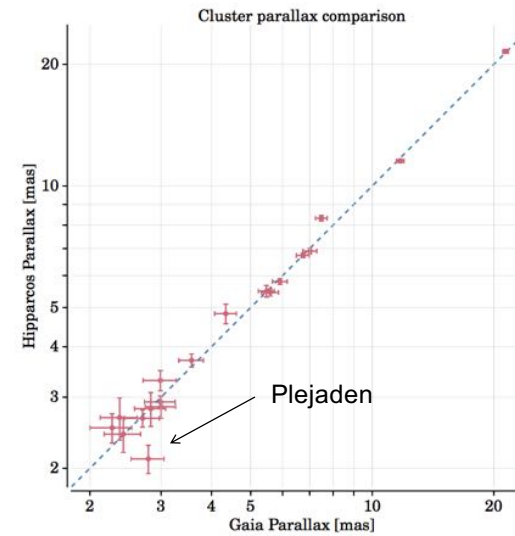
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Entfernung der Plejaden

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Gaia Collaboration, van Leeuwen, et al, 2017 A&A

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Veröffentlichungen aufgrund von Gaia DR1

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

- http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-abs_connect?library&libname=Gaia+DR1&libid=58e66b71f4

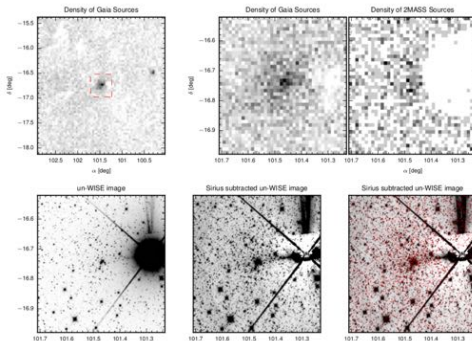
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Gaia 1: Ein Sternhaufen, der sich versteckt hat

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



- 14000 Sonnenmassen
- 10 Bogenminuten vom hellsten Stern am Himmel entfernt.
- ca. 3 Milliarden Jahren alt (Simpson et al., 2017, arXiv:1703.03823)

Sternhaufen nahe bei Sirius

Koposov et al., 2017, arXiv:1702.01122

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Sternenbrücke zwischen den Magellanschen Wolken

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Vasily Belokurov et al. 2017, MNRA 466, 4711

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Sternenbrücke zwischen den Magellanschen Wolken

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



- Gaia DR1 Positionen
- RR-Lyrae-Veränderliche (0,1-1,2 Tage)
- Sterne, die im Innern Helium fusionieren
- Alte und „metallarme“ Sterne

- Halo von 20 Grad um Große Magellansche Wolke
- Sternenbrücke zwischen beiden Zwerggalaxien
- Bisher bekannt: Brücke aus Gas
- Gezeitenkräfte, dichte Annäherung vor ca. 200 Millionen Jahren
- Gaskorona der Milchstraße führt zur Aufspaltung zwischen Gas und Sternen

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Gaia entdeckt Hochgeschwindigkeitssterne

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

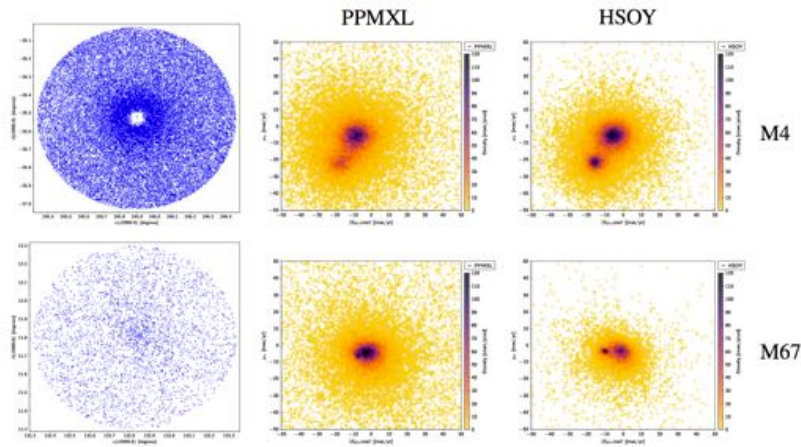


Bewegung der Sterne über 1 Million Jahre

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg





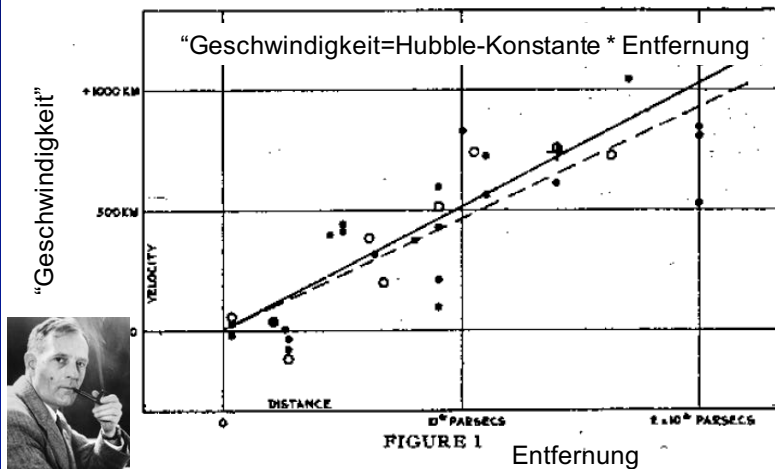
583 Millionen Eigenbewegungen
Kombination von Gaia DR1 und PPMXL
Altmann et al., 2017, A&A 600, L4 (arXiv:1701.02629)

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

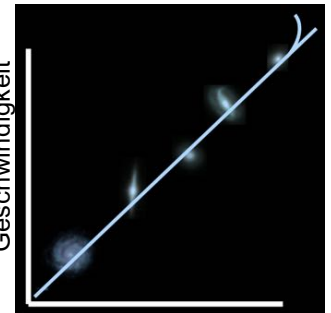
Friedmann-Gleichung

Cosmic expansion

Space, not galaxies

„Geschwindigkeit“

Entfernung



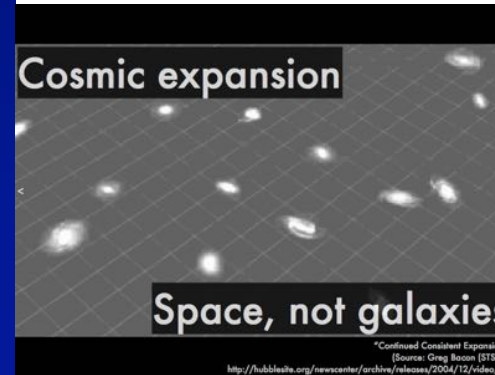
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Friedmann-Gleichung



$a(t)$ =Skalenfaktor
 G =Gravitationskonstante
 k =Krümmungsparameter (0,-1,+1)
 H =Hubble-Parameter
 ρ =Massedichte
 Λ =Kosmologische Konstante („Dunkle Energie“)

$1+z=\lambda(t)/\lambda(t_0)=a(t)/a(t_0)$
„Rotverschiebung“

D =Entfernung= $t \cdot c$
 t =Entfernung/ c

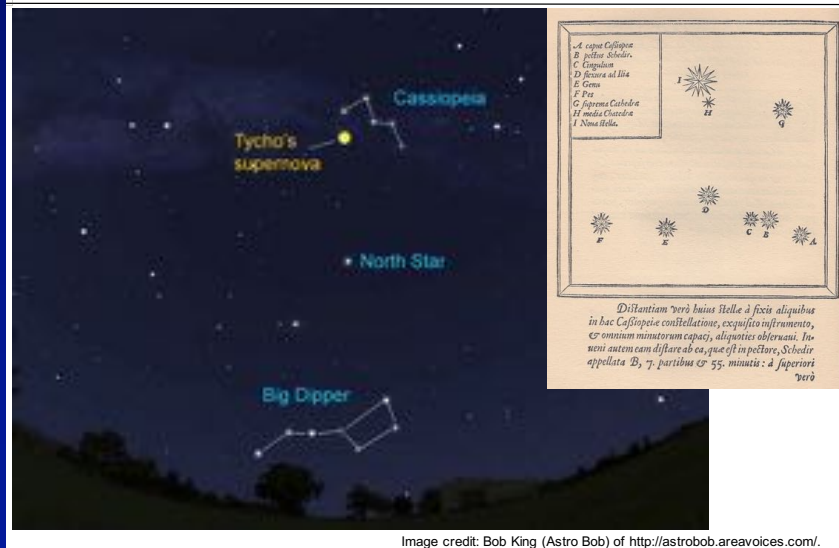
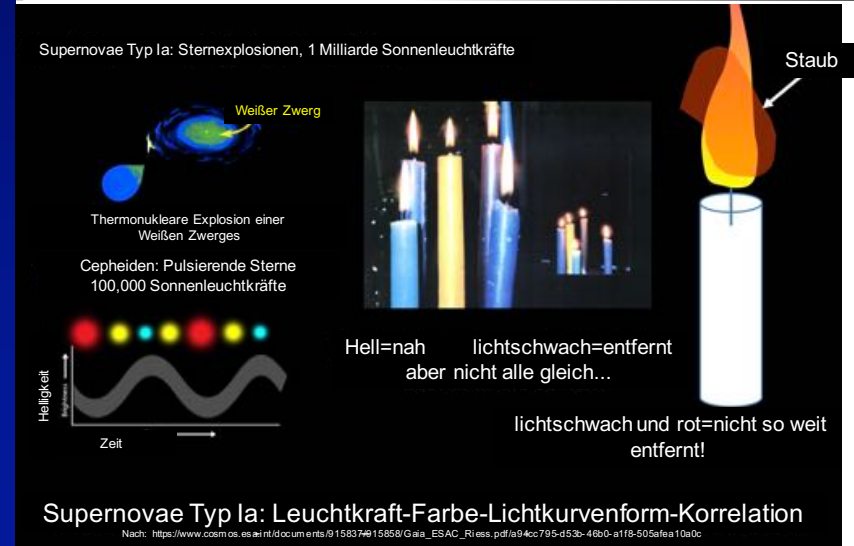
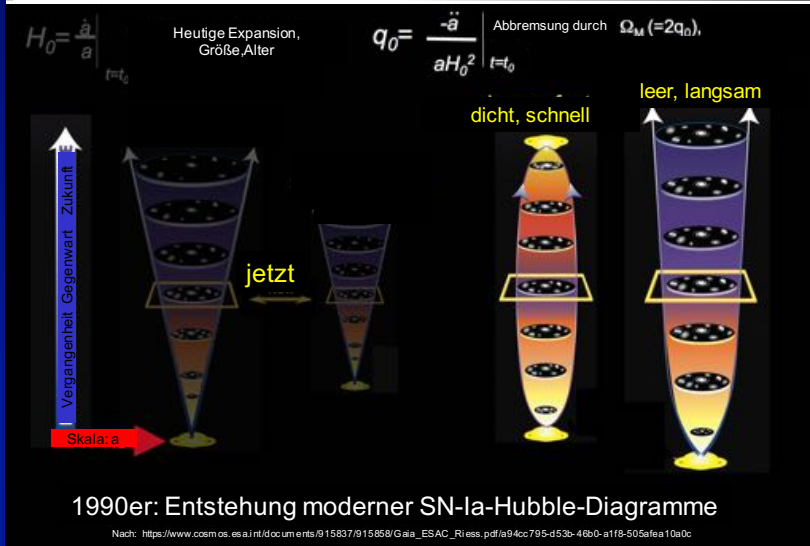
c =Lichtgeschwindigkeit

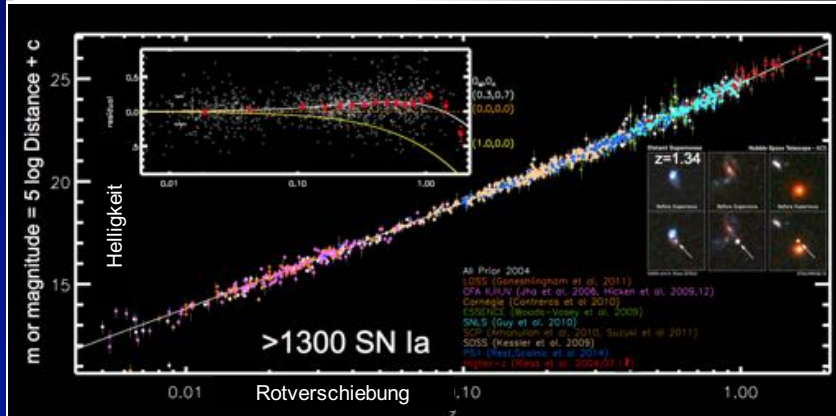
$$\frac{\dot{D}}{D} = \frac{v}{D} = \frac{\dot{a}}{a} = H \rightarrow v = HD$$

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

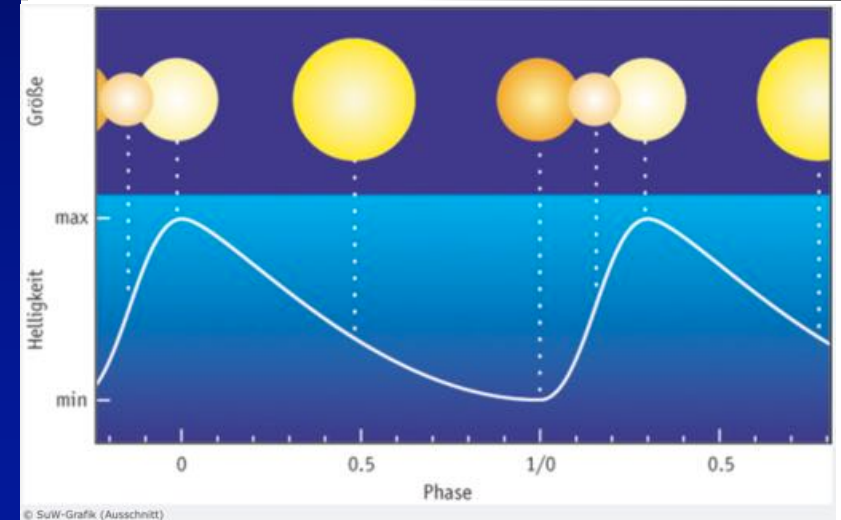






Stefan Jordan

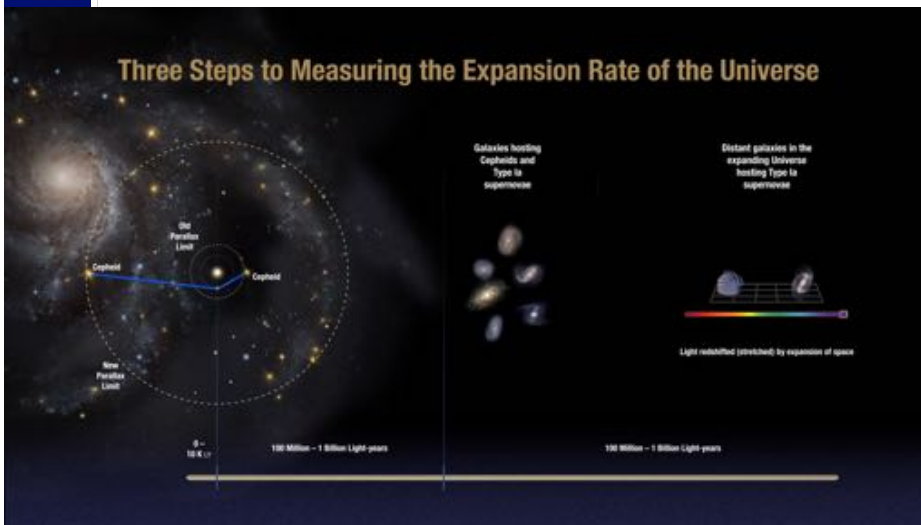
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



<http://www.spektrum.de/news/ein-cepheid-stoppt-seine-pulsation/1060891>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



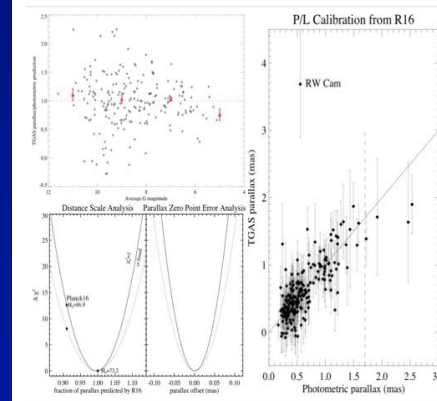
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



A test of Gaia Data Release 1 parallaxes: implications for the local distance scale

Stefano Casertano, Adam G. Riess, Beatrice Bucciarelli, Mario G. Lattanzi
Astronomy & Astrophysics, Volume 599, id.A67, 6 pp.

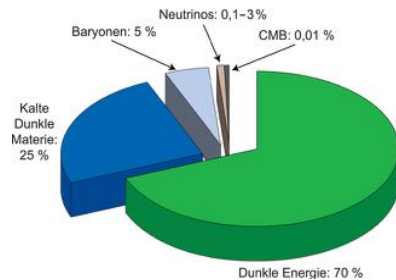


- Vergleich von 212 Cepheiden-Entfernungen mit bisheriger Kalibration mit Gaia-DR1-Parallaxen.
- DR1-Parallaxen passen extrem gut.
- Gaia-Fehler ca. 20% überschätzt.
- Wenn man Gaia-Parallaxen exakt vertraut: Hubble-Konstante 0.3% kleiner als bisher angenommen.
- Gaia-Parallaxen-Nullpunkt besser als ~20 μ as.
- Volle Mission erlaubt unabhängige Messung der Hubble besser als 1%

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



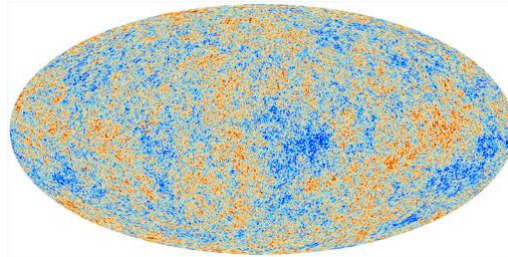


$H_0 = 73.0 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
(Gaia DR1)

The Planck Collaboration (2016):
value of $66.9 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

Abweichung von $2.5\text{--}3.5\sigma$

Temperaturverteilung in der kosmischen Hintergrundstrahlung – alle Vordergrundquellen und Störeffekte wurden herausgerechnet. Blaue Bereiche liegen etwas unterhalb der Temperatur von 2,725 Kelvin und rote Bereiche geringfügig darüber. (Credit: PLANCK-Kollaboration, ESA)



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



- Positionen, Eigenbewegungen und Parallaxen für alle Objekte mit akzeptablen Fehlern: >mehr als eine Milliarde erwartet
- Positionen für solche Objekte, für die Eigenbewegungen und Parallaxen nicht bestimmt werden können: ca. 500 Millionen erwartet
- (G-)Helligkeiten für alle Objekte
- Integrierte Helligkeiten vom blauen und roten Photometer (Farben): für die meisten Objekte
- Median der Radialgeschwindigkeiten für helle Objekte (heller als 12. Größe)
- Für Sterne heller als 17. Größe Effektivtemperaturen
- Photometrische Daten und Lichtkurven für einige Veränderliche Sterne
- Gaia-Beobachtungen von mehr als 13,000 Kleinplaneten

Stefan Jordan

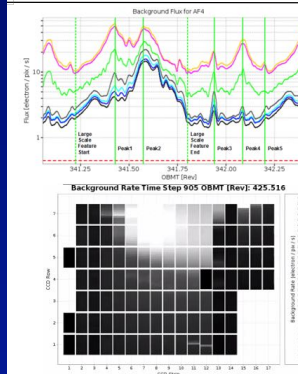
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



- Streulicht
- Kontamination durch Eis
- Variation des Basiswinkels
- Mikro-Sprünge (Microclanks)

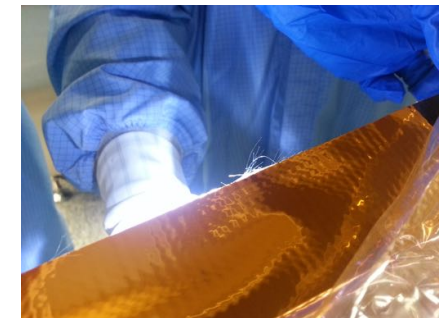
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



- Gestreutes Sonnenlicht
- Milchstraße
- Helle Punktquellen

1. Sonnenschild
2. Unzureichende Blenden



- Reserveschild, von hinten mit einer Taschenlampe beleuchtet.
- Streulicht durch Fasern am Rand.

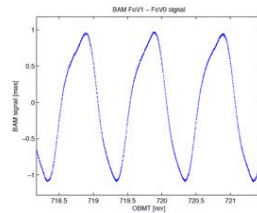
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Variation des Basiswinkels

- Der Basiswinkel variiert mit einer Periode von 6 Stunden
- Amplitude: 1 Millibogensekunde
- Spezifikation: 4 Mikrobogensekunden
- Wahrscheinlich thermische Ursache (ein paar Millikelvin)
- Oder mechanische Verschiebungen um einige Nanometer
- Außerdem Tag-zu-Tag-Variation



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Probleme/Herausforderungen

- Streulicht
- Kontamination durch Eis
- Variation des Basiswinkels
- Mikro-Sprünge (Microclanks)

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Teamwork

Teamwork to deliver the promise of Gaia

- 10+ years of effort
- 450 scientists and engineers
- 160 institutes
- 24 countries and ESA
- Six data processing centres



A. Brown

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia Sky Flight APOD 26.9.2016: Here comes the Sun



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Astronomy Picture of the Day

Discover the cosmos! Each day a different image or photograph of our fascinating universe is featured, along with a brief explanation written by a professional astronomer.

2015 September 26



Gaia: Here Comes the Sun
Image Credit: Galaxy Illustration: Nick Wainwright (astronomyart), Star Data: Gaia Mission, ESA, Arianespace, ESA, (L. Heideberg) et al.

Explanation: What would it look like to return home from outside our galaxy? Although designed to answer *astronomical questions*, recent data from ESA's robotic *Gaia mission* is helping to provide a uniquely *modern perspective* on humanity's place in the universe. Gaia *orbits* the *Sun* near the *Earth* and resolves *star's positions* so precisely that it can determine a *drift* from its changing vantage point over the course of a year, a drift that is proportionally smaller for more *distant stars* — and so *determines distance*. In the first sequence of the video, an illustration of the *Milky Way* is shown that was *recreated* into a three-dimensional *visualization* of *Gaia star data*. A few notable stars are labelled with their *common names*, while others stars are labelled with numbers from *Gaia's catalog*. Eventually the *camera arrives* at our home star *Sol* (the *Sun*), thus revealing the reflective glow of its third planet, *Earth*. The *feature video* is based on just over 100,000 stars, but *Gaia* is on track to measure the *precise* distances to *over one billion stars* over its planned *five-year mission*.

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Zugriff auf die Gaia-Daten

How can you access the Gaia catalogue?



Credit: ESA/ATG medialab; background image: ESO/S. Brunner

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=1mwAb3z-Onw&t=179s>

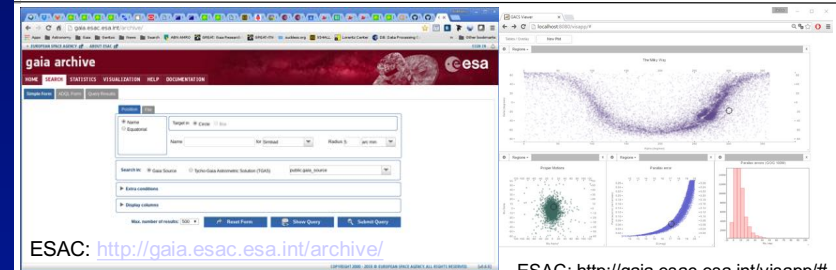
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



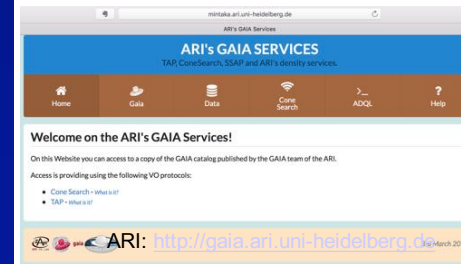
Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

Zugriff auf die Gaia-Daten



ESAC: <http://gaia.esac.esa.int/archive/>

ESAC: <http://gaia.esac.esa.int/visapp/#>



Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS): <http://cds.unistra.fr/gaia>
ASI Science Data Center (ASDC): <http://gaiaportal.asdc.asi.it>
Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP): <http://gaia.aip.de>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Zugriff auf die Gaia-Daten

Ende des Vortrages

- während dieses Vortrags wurden ca. 1 Million Sterne von Gaia gemessen,
- etwa 10 Millionen astrometrische Messungen durchgeführt
- und etwa 300.000 Sternspektren von 100.000 Sternen aufgenommen.

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg



Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Gaia - First Data Release: 14.9.16
https://www.youtube.com/watch?v=2Z_O66Z4l6Y

Gaia - Teamwork For A Billion Stars, 20.4.16
<https://www.youtube.com/watch?v=E9GYLcesPp0>

Gaia – with impressions from the AGIS Meeting in Heidelberg, 5.6.15
<https://www.youtube.com/watch?v=IBIV7NSIUg0>



Stefan Jordan
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Weitere Infos über DR1

Video:
Gaia - First Data Release
 Veröffentlichung 14.9.2016
https://www.youtube.com/watch?v=2Z_O66Z4l6Y

Kostenloser Download auf
<http://www.spektrum.de/magazin/erster-sterne-katalog-der-gaia-mission-veroeffentlicht/1420516>

Weitere Gaia-SuW-Artikel:

- Bastian, U.: Projekt Gaia: die sechsdimensionale Milchstraße. Teil 1: Warum und wozu Gaia gebaut wird. In: Sterne und Weltraum 5/2013, S. 36 – 44
- Bastian, U.: Projekt Gaia: die sechs-dimensionale Milchstraße. Teil 2: Wo, wann und wie Gaia arbeiten soll. In: Sterne und Weltraum 6/2013, S. 48 – 55
- Bastian, U.: Ein Sternhaufen wird zerlegt. Gaia sieht erste Einzelsterne der Milchstraße. In: Sterne und Weltraum 3/2016, S. 34 – 39
- Jordan, S.: Gaia in der Testphase. In: Sterne und Weltraum 5/2014, S. 26 – 28
- Jordan, S.: Gaia beginnt mit den wissenschaftlichen Messungen. In: Sterne und Weltraum 9/2014, S. 26 – 29
- Jordan, S.: Gaia – ein Jahr wissenschaftlicher Messungen. In: Sterne und Weltraum 11/2015, S. 20 – 22



Stefan Jordan
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Weitere Infos über DR1





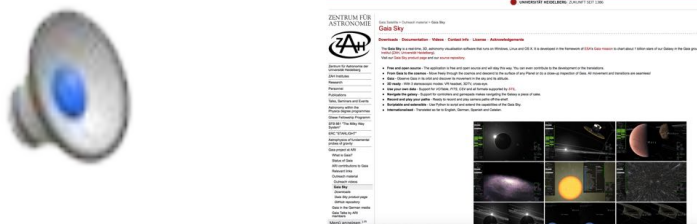
Stefan Jordan
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Mitgliederversammlung der VdS, HdA, 21.10.2017



Gaia Sky - Software zur Visualisierung der Gaia-Mission und des Gaia-Katalogs

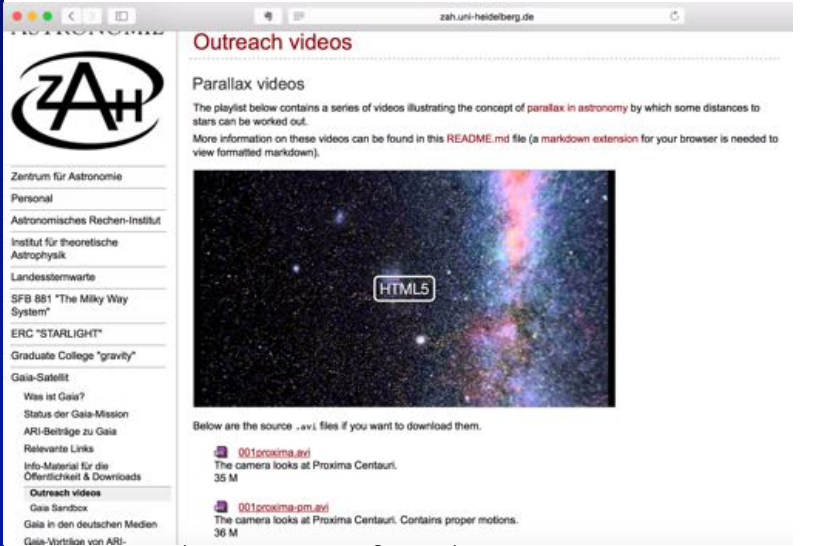
- Entwickelt von Toni Sagristà am ARI/ZAHA, Uni Heidelberg
- <https://zah.uni-heidelberg.de/gaia/outreach/gaiasky/>



Enthält 600,000 TGAS-Sterne mit Parallaxenfehlern < 12,5%

Stefan Jordan
ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Parallax videos



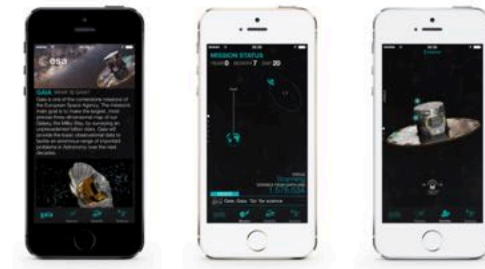
Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

DPAC: Gaia App by Barcelona

→ GAIA IN YOUR POCKET – MAPPING THE GALAXY WITH THE NEW GAIA APP

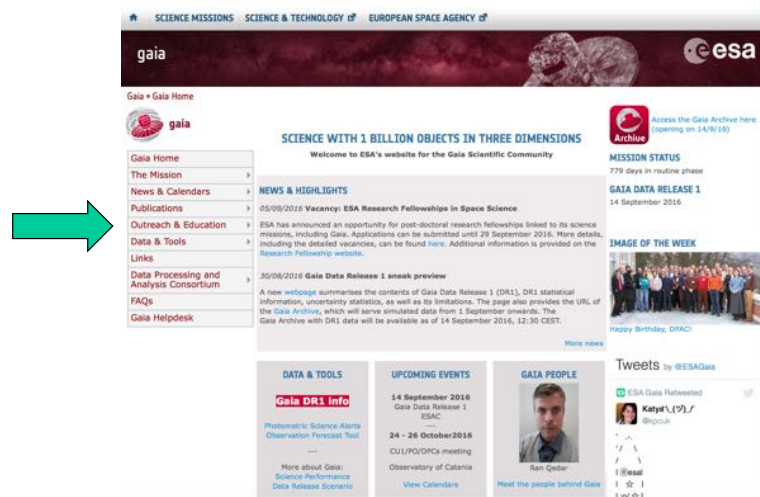
Mapping one billion stars in our Galaxy may seem like an impossible feat, but that's exactly what ESA's Gaia mission aims to do, with the ultimate goal of creating the largest, most precise 3D map of our Galaxy ever made. And now you can follow the mission's progress with a new app created by the University of Barcelona. Being able to track the progress of this groundbreaking mission via your iPhone, iPad or iPod means the stars have never been closer!



Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaia Homepage der ESA

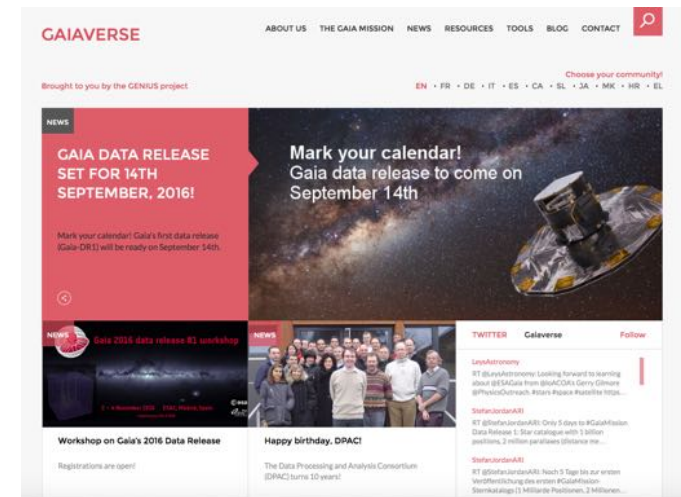


<http://www.cosmos.esa.int/web/gaia>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg

Gaiaverse (Genius-Projekt, multilingual)



<http://gaiaverse.eu>

Stefan Jordan

ARI, Zentrum für Astronomie, Uni Heidelberg