

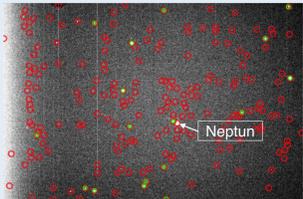
FORSCHUNGSORIENTIERTES LEHREN UND LERNEN (FOLL)

Lukas Melzig, Luca Schwartz, David Pilz, Konrad Göllinger, Theo Richter und Hannah Sundermann  
mit Unterstützung von Prof. Ansgar Reiners und Dr. Tim-Oliver Husser

## Messungen

Die **Planetenpositionen** von Jupiter, Neptun und Uranus werden für 3-4 Zeitpunkte pro Planet bestimmt:

- Bilder von den Planeten und Hintergrundsterne werden mit dem Teleskop aufgenommen
- Astrometry erkennt die Hintergrundsterne und gibt mithilfe von Sternenkatalogen ein genaues Koordinatensystem zurück
- Bestimmung des Planetenzentrums mit Programm DS9, indem per Hand Kreise um die Planeten gezogen werden



Von Astrometry erkannten möglichen Objekte (rot) und die mit dem Katalog übereinstimmenden identifizierten Objekte (grün) in einem Messbild des Neptuns vom 22.11.2021, der hier nachträglich markiert wurde.

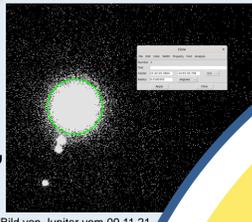


Bild von Jupiter vom 09.11.21. Durch das Legen einer Region (grün) und dem Auslesen deren Mittelpunktes wird die Planetenposition im ICRS bestimmt. Die Kreislinie wurde zur besseren Sichtbarkeit dicker gemacht.

# Beobachtung und Simulation von Planetenbewegungen

Erreichen wir eine bessere Vorhersagegenauigkeit als Kepler?

## Berechnungen

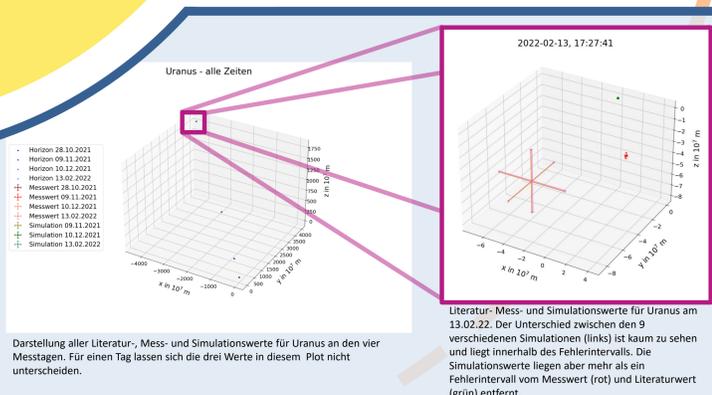
- **Simulation** der Planetenbewegung aufgrund der Gravitationskraft mit numerischer Integration für:
  - 2 Körper (Sonne + beobachteter Planet)
  - 9 Körper (Sonne + alle Planeten des Sonnensystems)
  - 5 Integrationsalgorithmen (Euler, Verlet, Runge-Kutta-4, Runge-Kutta-4/5, Gauß-Radau-15)
- Für 2 Körper: Verwendung der **analytischen Lösung** der Differenzialgleichung
- Vergleich einfacher **geometrischer Bahnkurven** durch:
  - Fitten der Parametergleichungen für 3 Messpunkte (Kreis mit Erde/Sonne im Mittelpunkt, Ellipse mit Sonne im Brennpunkt)
  - Vergleich mit dem vierten Messpunkt

## Ergebnisse

- Mess-, Literatur- und Simulationsdaten stimmen gut überein, obwohl die Fehlerintervalle nicht überlappen
- Unsere Mess- und Vorhersagegenauigkeit **übertrifft die von Kepler bzw. Brahe:**

	Kepler/Brahe	Wir
Max. Messgenauigkeit in $10^{-4}$ Grad	334-420	32
Vorhersagegenauigkeit in $10^{-4}$ Grad	334	51

- **Ellipse mit Sonne im Brennpunkt** beschreibt Uranusbahn besser als Kreis mit Sonne oder Erde im Mittelpunkt
- Vermutlich relevanteste **Fehlerursachen:**
  - Messung: Händische Bildauswertung, Auslassen der Flatfield-Korrektur
  - Berechnung: Ermittlung der Startgeschwindigkeit der Planeten



Darstellung aller Literatur-, Mess- und Simulationswerte für Uranus an den vier Messtagen. Für einen Tag lassen sich die drei Werte in diesem Plot nicht unterscheiden.

Literatur-, Mess- und Simulationswerte für Uranus am 13.02.22. Der Unterschied zwischen den 9 verschiedenen Simulationen (links) ist kaum zu sehen und liegt innerhalb des Fehlerintervalls. Die Simulationswerte liegen aber mehr als ein Fehlerintervall vom Messwert (rot) und Literaturwert (grün) entfernt.



Ausführlicher Bericht zu unserem Projekt