

Protokoll

γ Cephei, Gliese 581 und Exchange Orbits

γ Cephei

γ Cephei ist ein Doppelsternsystem mit einem K2-Unterriesen als Hauptstern und M1 Zwerg als Begleitstern. Weiters befindet sich in diesem System ein Riesenplanet, welche um den Hauptstern kreist.

Bezeichnung	Hauptstern	Riesenplanet	Begleitstern
Masse	1,59 M_{Sonne}	1,6 M_{Jupiter}	0,4 M_{Sonne}
große Halbachse	0 AE	2,044 AE	18,5 AE
Exzentrizität	0	0,115	0,361
ω	0°	49,6°	158,8°

Tabelle 1: verwendete Daten fürs System

Nun war die Aufgabe stabile Orbits für erdähnliche Planeten zu finden, welche als masselos angenommen werden können. Hierzu berechnete ich zahlreiche dieser hypothetischen Planeten mit unterschiedlichen großen Halbachsen über einen Zeitraum von einer Million Jahren. Dabei hatten diese Objekte eine Exzentrizität von 0 und begannen beim gleichen ω wie der Riesenplanet um somit eine maximale Störung durch diesen Planeten anzunehmen.

Da fast alle meine Testplaneten aus dem System geschleudert wurden, entschied ich mich die Zeit bis zur maximalen Exzentrizität gegen die anfängliche große Halbachse der hypothetischen Planeten aufzutragen. Es zeigte, sich dass nur 4 Orbits über eine Million Jahre stabilen war, und zwar zwischen 1 und 1,2 AE und bei 3,4 AE. Weiters zeigten sich die von mir berechneten Trojaner des Riesenplaneten für immerhin etwa 100000 Jahre stabil. Wenn man diese Ergebnisse mit dem letztes Semester gerechnet Simulationen zu den Jupiterresonanzen vergleicht, erkennt man deutlich, dass durch die zusätzliche Störung, welche vom Begleitstern verursacht wird, sich die Größe der stabilen Bereiche im System stark verkleinert hat.

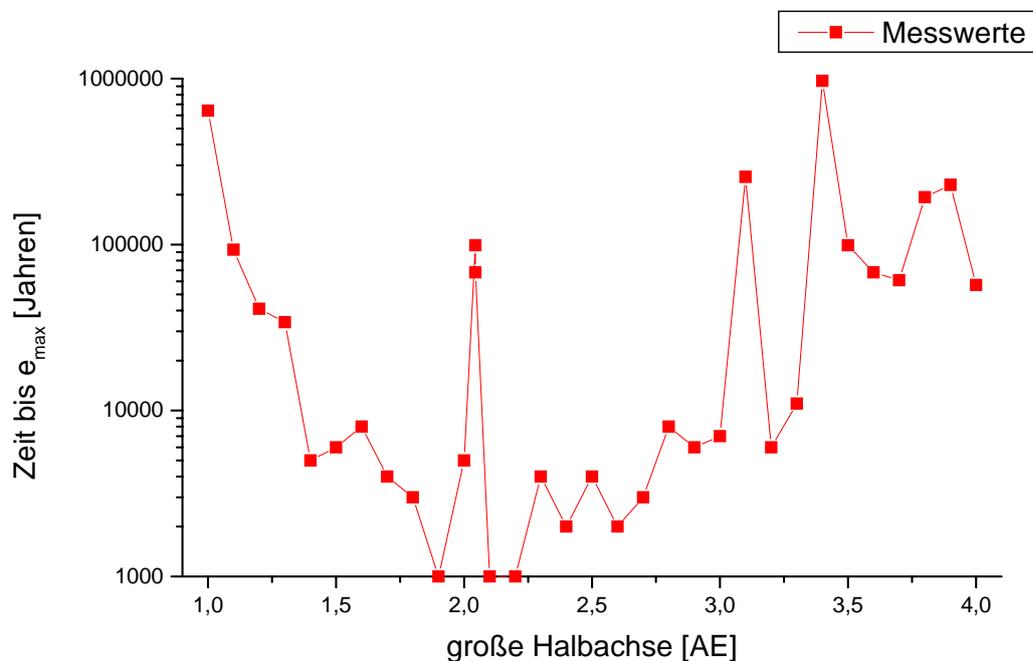


Abb. 1: Zeit bis e_{max} (\approx escape time) gegen die große Halbachse der hypothetischen Planeten.

Gliese 581

Bei Gliese 581 handelt es sich um einen M3 Zwerg, welcher von 3 Planeten umkreist wird. Davon ist einer der bislang masseärmste entdeckte Exoplanet, welcher auch als Supererde bezeichnet wird, da er auch noch in der habitablen Zone des Planeten liegt.

Bezeichnung	Gliese 581	Gliese 581 b	Gliese 581 c	Gliese 581 d
Masse	0,31 M_{Sonne}	0,0492 M_{Jupiter}	0,0158 M_{Jupiter}	0,0243 M_{Jupiter}
große Halbachse	0 AE	0,041 AE	0,073 AE	0,25 AE
Exzentrizität	0	0,02	0,16	0,2
ω	0°	273°	267°	295°

Tabelle2: verwendete Daten fürs System

Bei diesem System war zu untersuchen, wie stabil es gegen Änderungen seiner Parameter ist. Die oben in der Tabelle angegebenen Parameter sind alle mit einer gewissen Unsicherheit behaftet und um zu sehen, ob man manche Werte schon von vornherein ausschließen kann, muss man die Bahnen der Planeten über zahlreiche Umläufe berechnen. Ich entschied mich, dass es bei derartigen engen Orbits ausreicht etwa 50000 Jahre zu berechnen.

In der ersten Berechnung habe ich die unveränderten Werte aus der Tabelle benützt und mir für die Auswertung den Verlauf der Exzentrizität der Planeten über die Zeit geplottet. Es zeigt sich, dass das System bei diesen Werten stabil ist. Weiters erkennt man eine Kopplung zwischen dem Planeten b und c. Ein Minimum der Exzentrizität des Planeten b entspricht einem Maximum desselben Bahnelements des Planeten c und umgekehrt.

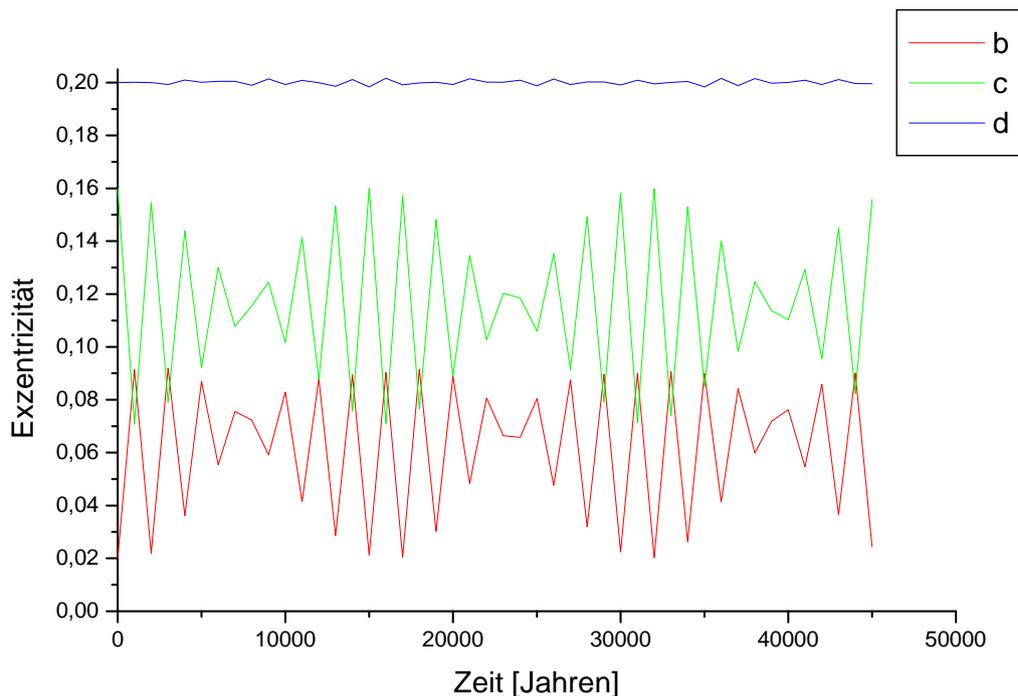


Abb.2: Verlauf der Exzentrizität der Planeten unter den Anfangsbedingungen der Tabelle2

In der nächsten Simulation habe ich die Exzentrizität vom Planeten d auf 0,1 verkleinert, das Resultat bleibt wenig überraschend dasselbe wie vorher.

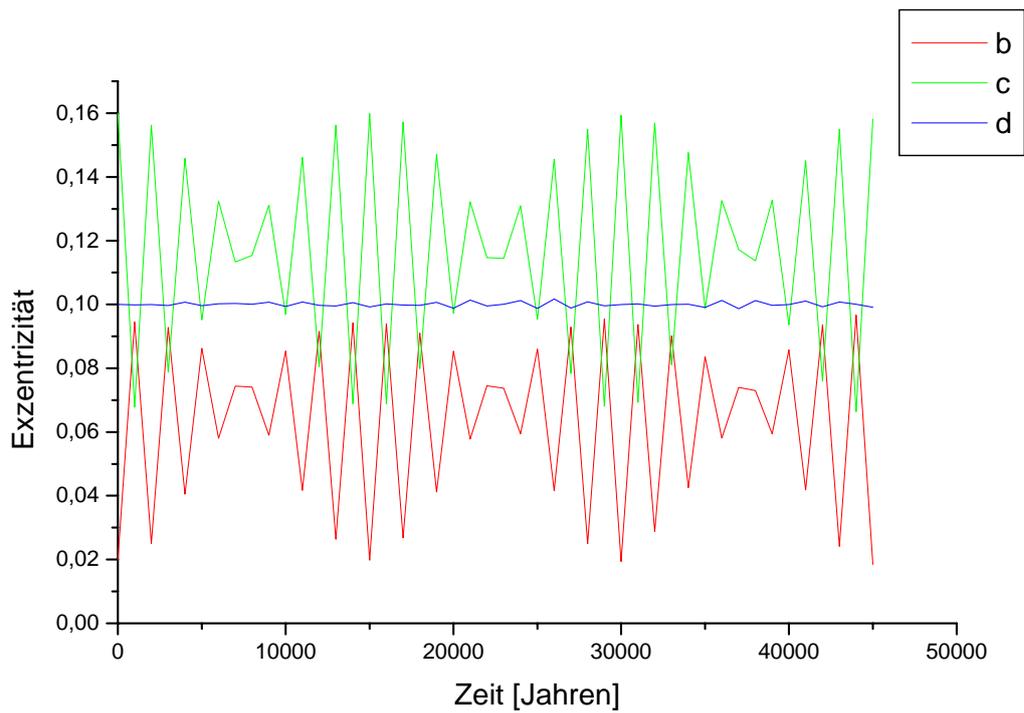


Abb.3: Verlauf der Exzentrizität der Planeten, wobei die Exzentrizität von Planet d = 0,1 gesetzt wurde, alle anderen Anfangsbedingungen sind dieselben.

Nun habe ich wieder die Anfangsbedingungen aus der Tabelle verwendet, jedoch mit einer Modifikation. Die Exzentrizität des Planeten c (alias Supererde) ist mit einer Unsicherheit von 0,07 behaftet. Somit ist der von mir nun verwendete Wert von 0,23 noch immer realistisch innerhalb der Messunsicherheit. Bei dieser Berechnung blieb das System auch weiterhin noch stabil, jedoch hat sich die Kopplung zwischen Planet b und c verändert. Anstatt des zuvor schwebungsähnlichen Musters, findet man nun eine sehr direkt Kopplung mit relativ konstanter Amplitude.

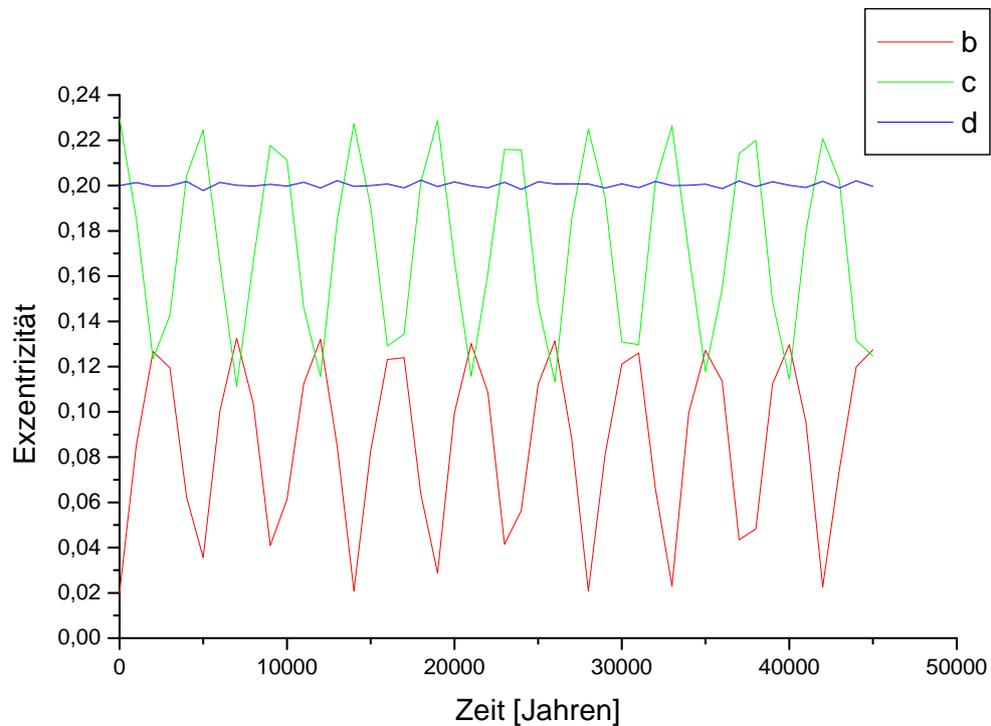


Abb.4: Verlauf der Exzentrizität der Planeten, wobei die Exzentrizität von Planet c auf ich, r innerhalb der Messunsicherheit liegendes, Maximum gesetzt wurde, alle anderen Anfangsbedingung sind dieselben.

Bei der nächsten Simulation habe ich die Massen aller Planeten um einen Faktor 2 erhöht. Dies ist auch sehr interessant, da es sich bei den angegebenen Massen nur um die Minimummassen handelt, also wenn die Bahnebene des Systems in unserer Sichtrichtung liegt ($i=90^\circ$). Dies ist jedoch eher unwahrscheinlich, da die Bahnebene vermutlich irgendwie im Raum orientiert liegt. Bei einem i von 30° müssten die Massen aller Planeten doppelt so groß, damit wir das gleiche Messsignal (in der Radialgeschwindigkeit) bekommen. Somit ist dies Simulation nicht unrealistisch. Es sei hier noch angemerkt, dass ich bei dieser Rechnung die Ausgabeschrittweite von 1000 auf 100 Jahre verkleinert habe. Das System ist auch bei diesen Anfangsbedingungen stabil, und das Verhalten (insbesondere die Kopplung zwischen Planet b und c) entspricht ziemlich genau, der mit den ursprünglichen Werten beobachteten.

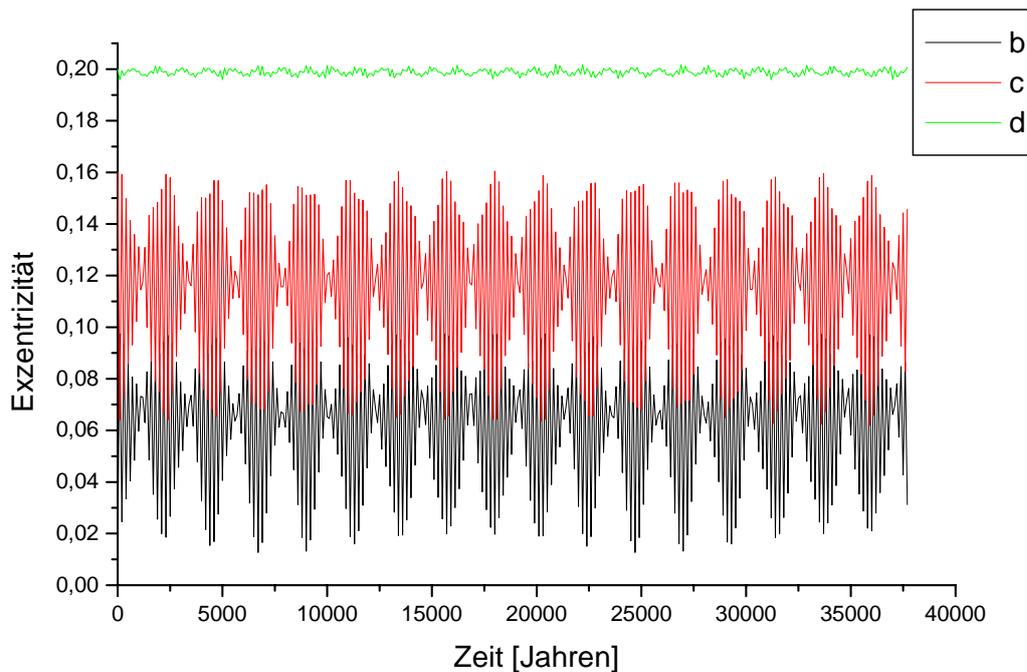


Abb.5: Verlauf der Exzentrizität der Planeten, wobei die Massen der Planeten doppelt so groß sind wie in Tabelle2 angegeben, alle andere Bahnelemente sind gleich.

Exchange Orbits

Es gibt stabile Systeme, bei denen 2 Planeten vergleichbarer Masse auf fast derselben Bahn befinden. Diese Planeten tauschen dann jedes Mal bei ihrer Begegnung die Orbits. Die Stabilität dieser Anordnung hängt von den Massen der Planeten ab und der kleinen Differenz in den Halbachsen ihrer Bahnen. Weiters sind derartige System sogar gegen den störenden Einfluss eines weiteren Planeten stabil, wenn dieser weit genug von der Bahn der anderen beiden Planeten entfernt ist.

Ich führte zu diesen Systemen mehrerer Simulationen durch. Ich nahm immer einen Stern von einer Sonnenmasse und rechnete stets über eine Million Jahre. Bei der ersten Simulation verwendete ich zwei Planeten mit je 10^{-4} Sonnenmassen und sie starten auf 0,99AE und 1,01AE um 180° versetzt. Diese Anordnung stellte sich als stabil heraus.

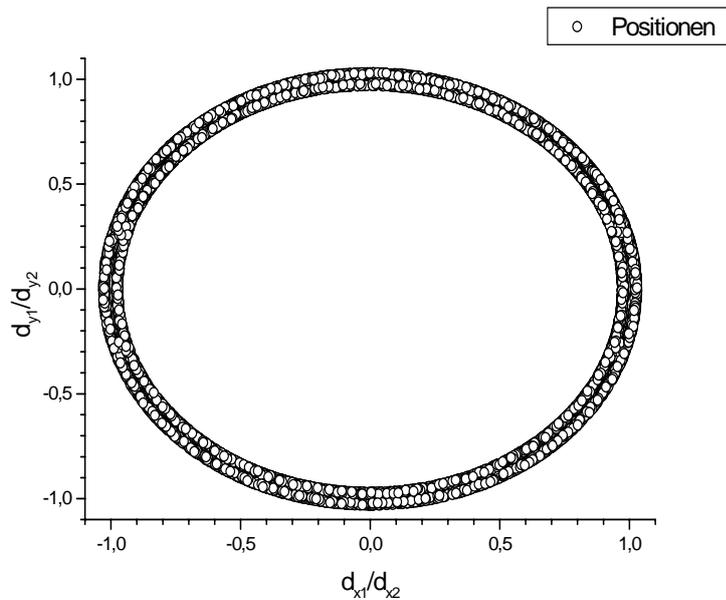


Abb.6: stabile Exchange Orbits mit 2 Planeten à je 10^{-4} Sonnenmassen und einen Bahnabstand von 0,02AE.

Dann führte ich dieselbe Berechnung mit 2 Planeten mit je 10^{-3} Sonnenmassen durch und das System löste sich jedoch nach 450000 Jahren auf indem der erste Planet hinausgeworfen wird.

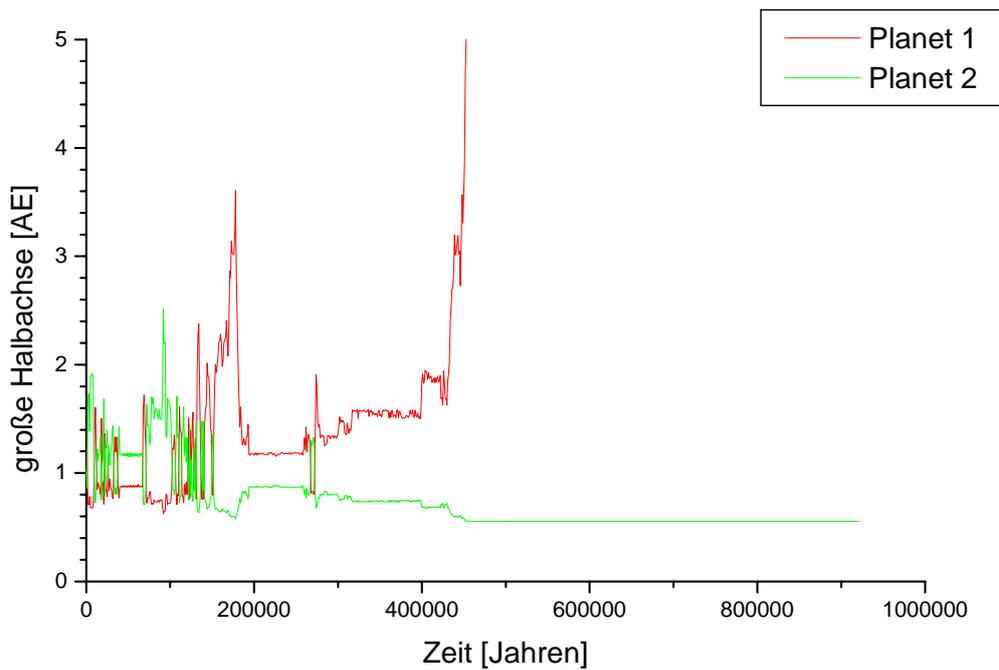


Abb.7: Zeitlicher Verlauf der großen Halbachse bei 2 Planeten mit jeweils 10^{-3} Sonnenmassen und anfänglichen Bahnabstand von 0,02AE.

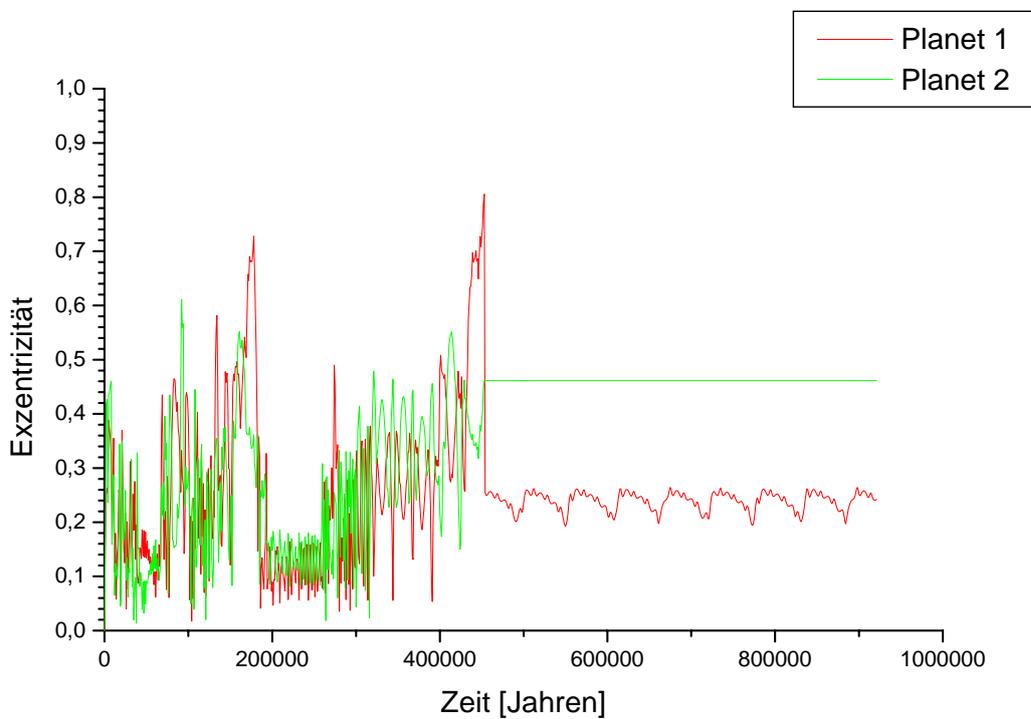


Abb.8: Zeitlicher Verlauf der Exzentrizität bei 2 Planeten mit jeweils 10^{-3} Sonnenmassen und anfänglichen Bahnabstand von 0,02AE.

Ich führte anschließend eine weitere Simulation mit den gleichen Bedingungen wie zuvor, nur dass ich die großen Halbachsen auf 0,95AE und 1,05AE versetzte. Dieses System driftet in den ersten 100000 Jahren auseinander und stabilisiert sich nahe der 11:4 Resonanz.

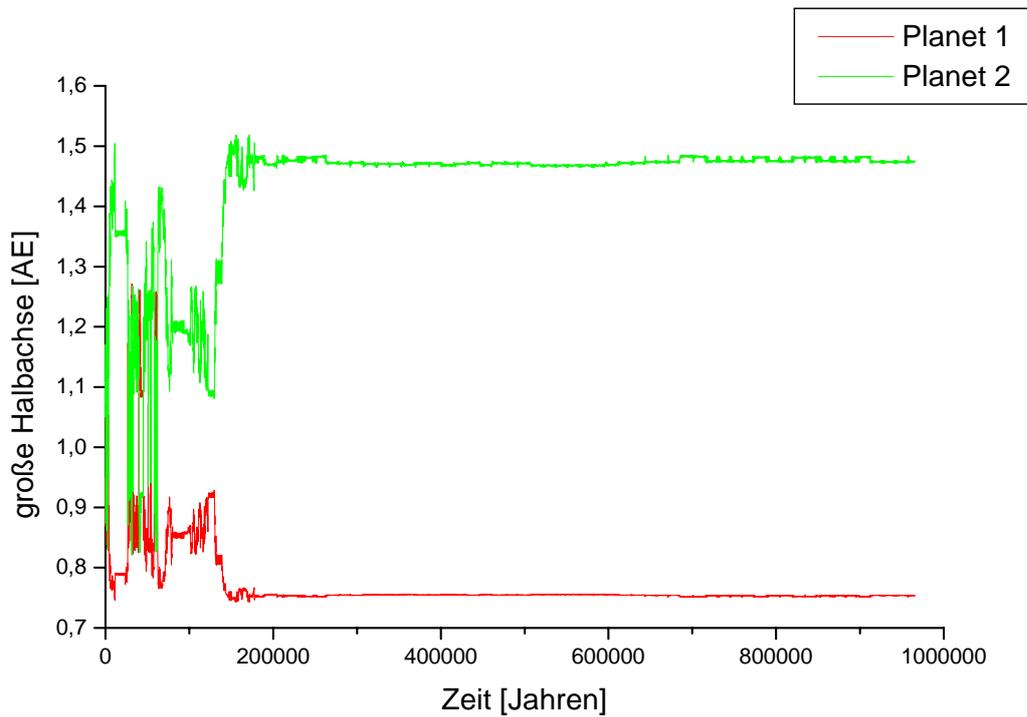


Abb.9: Zeitlicher Verlauf der großen Halbachse bei 2 Planeten mit jeweils 10^3 Sonnenmassen und anfänglichen Bahnabstand von 0,02AE.

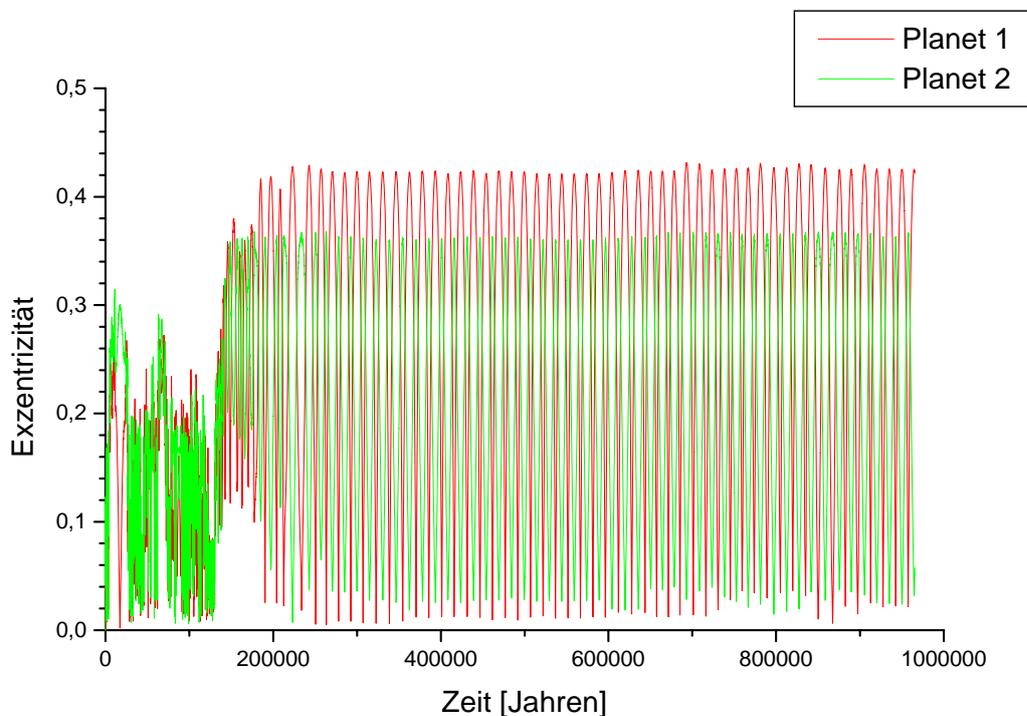


Abb.10: Zeitlicher Verlauf der Exzentrizität bei 2 Planeten mit jeweils 10^3 Sonnenmassen und anfänglichen Bahnabstand von 0,02AE.

Zu guter Letzt habe ich noch ein System behandelt, welches von einem weiteren innen laufenden Planeten gestört wurde. Hierbei lagen die Anfangswerte der beiden Exchange Planeten bei 0,99AE und 1,01AE, jeweils um 180° versetzt. Diese hatten eine Masse von 10^{-4} Sonnenmassen. Auf einer Bahn mit 0,5AE befand sich um 90° zu den beiden anderen versetzt ein Riesenplanet mit 10^{-3} Sonnenmassen. Auch dieses System erwies sich, trotz der störenden Wirkung des 3. Planeten als stabil.

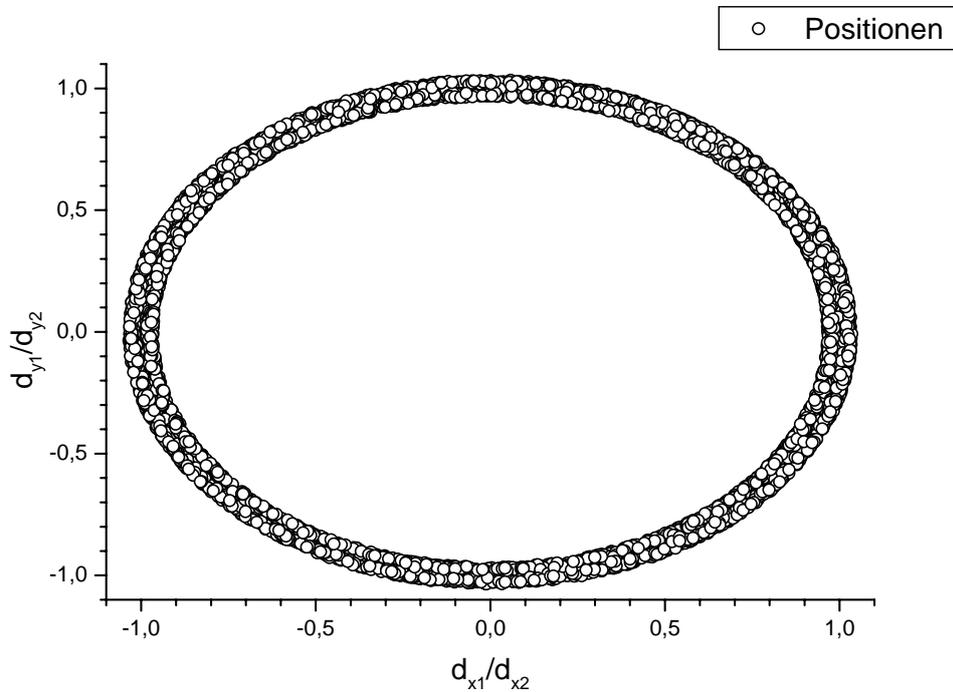


Abb.11: stabile Exchange Orbits mit 2 Planeten à je 10^{-4} Sonnenmassen und einen Bahnabstand von 0,02AE und noch einen zusätzlichen störenden Planeten auf 0,5AE mit 10^{-3} Sonnenmassen.