

Veränderliches Sonnenlicht – Sonnenbewegung und -rotation

geschrieben von Chris Frey | 1. März 2026

Richard Willoughby

Summary

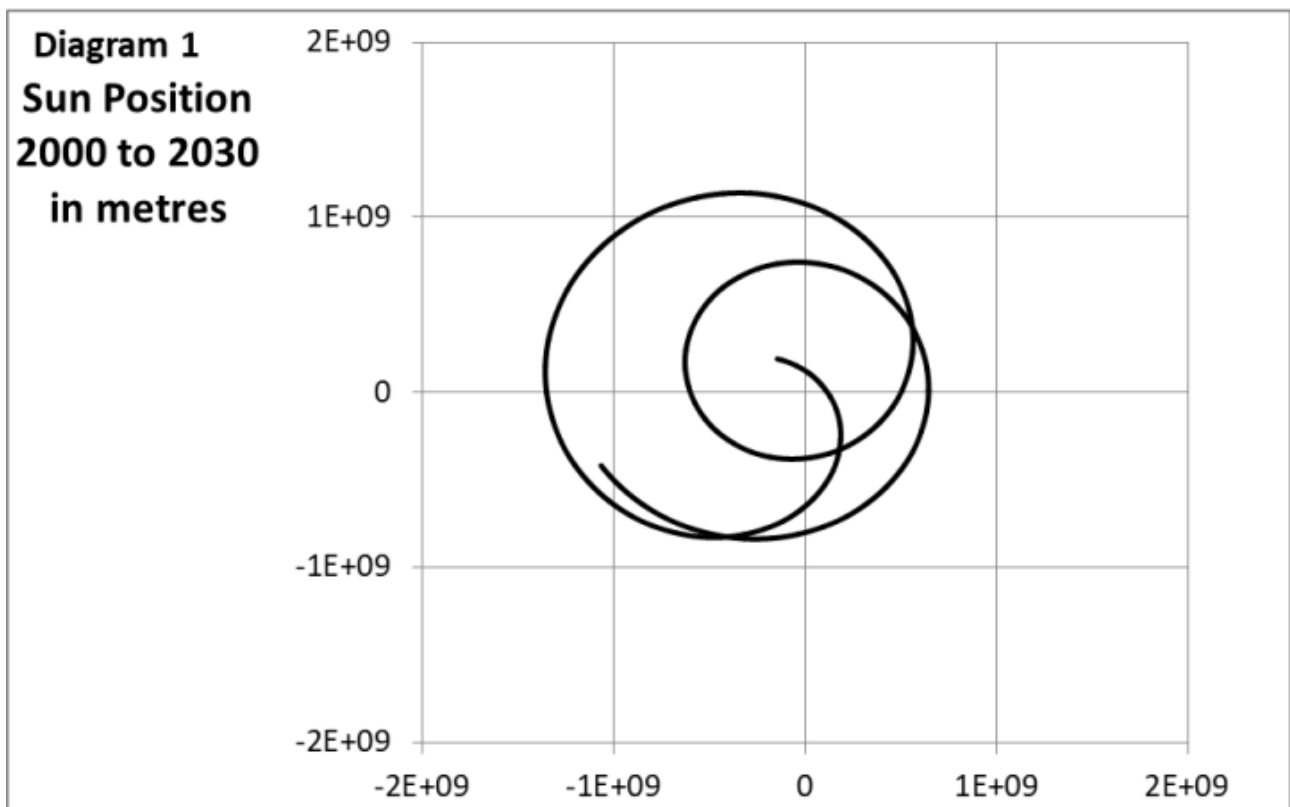
Dieser Artikel knüpft an einen früheren Artikel an, in dem untersucht worden war, wie die Bewegung der Sonne relativ zur Erde sowie die Sonnenaktivität das Klima der Erde verändern.

Die Bewegung der Sonne im Laufe dieses Jahrhunderts wird detailliert analysiert und gibt Aufschluss darüber, wie die verschiedenen Planeten zur Bewegung der Sonne beitragen. Die Ursache für die täglichen Abweichungen der Entfernung zwischen Erde und Sonne wird ebenfalls untersucht und für jeweils den gleichen Tag des Jahres über einen Zeitraum von 30 Jahren quantifiziert.

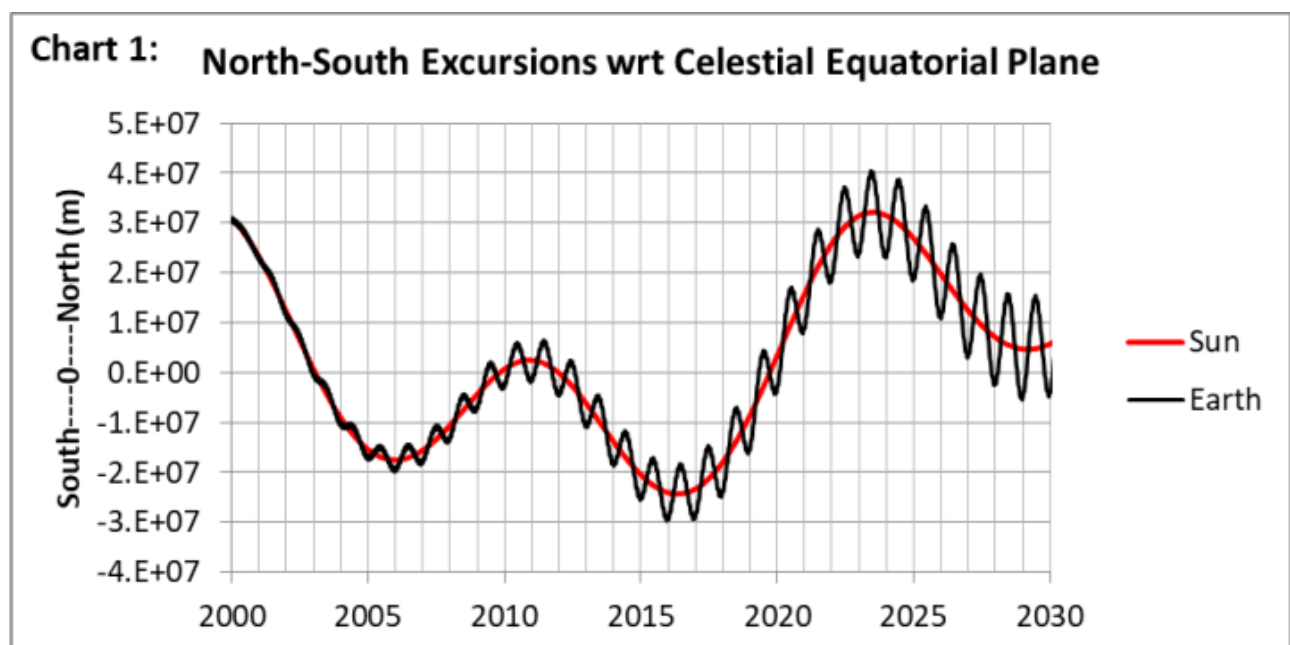
Die für diese Analyse verwendeten ursprünglichen Bewegungsdaten der Sonne wurden direkt aus der NASA Horizons Application [extrahiert](#) und für die freie Dynamikanalyse verwendet. Das JPL-Freikörpermodell des Sonnensystems behandelt jedes Himmelsobjekt als Punktmasse, die sich im Schwerpunkt konzentriert. Die Freikörperanalyse der Sonne erstreckt sich hier auf eine Punktmasse, die elastisch mit dem Schwerpunkt der Sonne verbunden ist und um den Schwerpunkt rotiert, um das auf die rotierende Masse wirkende Gravitationsmoment zu bestimmen.

Sonnenbewegung

Die Umlaufbahn der Sonne ist etwas unregelmäßig, wobei jede Umdrehung sich von der vorherigen und den folgenden unterscheidet. Diagramm 1 zeigt den Weg der Sonne unter Verwendung des Internationalen Himmelsbezugssystems (ICRF) für den Zeitraum von 2000 bis 2030 in der himmlischen Äquatorialebene. Im ICRF ist der Punkt (0,0,0) der Schwerpunkt des Sonnensystems. Die dynamische Analyse in diesem Artikel geht davon aus, dass die Nord-Süd-Bewegung der Sonne außerhalb der Äquatorialebene vernachlässigbar gering ist.

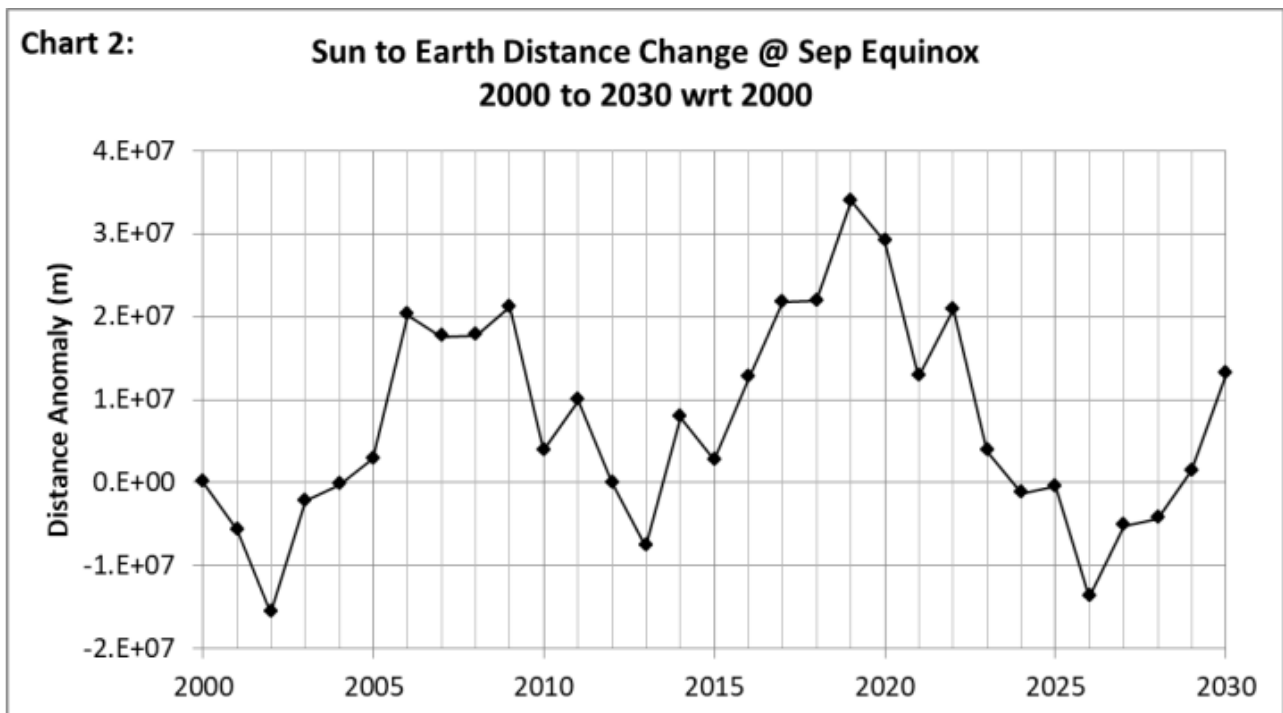


Um jedoch ein vollständiges Bild der Sonnenbewegung zu erhalten, zeigt Graphik 1 die Nord-Süd-Abweichungen von der Himmelsäquatorialebene im gleichen Zeitraum wie Diagramm 1.



Die Umlaufbahn des Jupiter dominiert die Bewegung der Sonne, und die Umlaufbahnebene des Jupiter weist eine Neigung von 1,3 Grad zur Himmelsäquatorialebene auf. Die Nord-Süd-Auslenkung der Sonne in Bezug auf das ICRF ist darauf zurückzuführen, dass sich die Sonne im Wesentlichen in der Umlaufbahnebene des Jupiter bewegt. Wie in Grafik 1 zu sehen ist, folgt die Erde tendenziell der Sonne in ihrer Nord-Süd-Auslenkung. Der direkte Einfluss des Jupiter auf die Erde ist in der

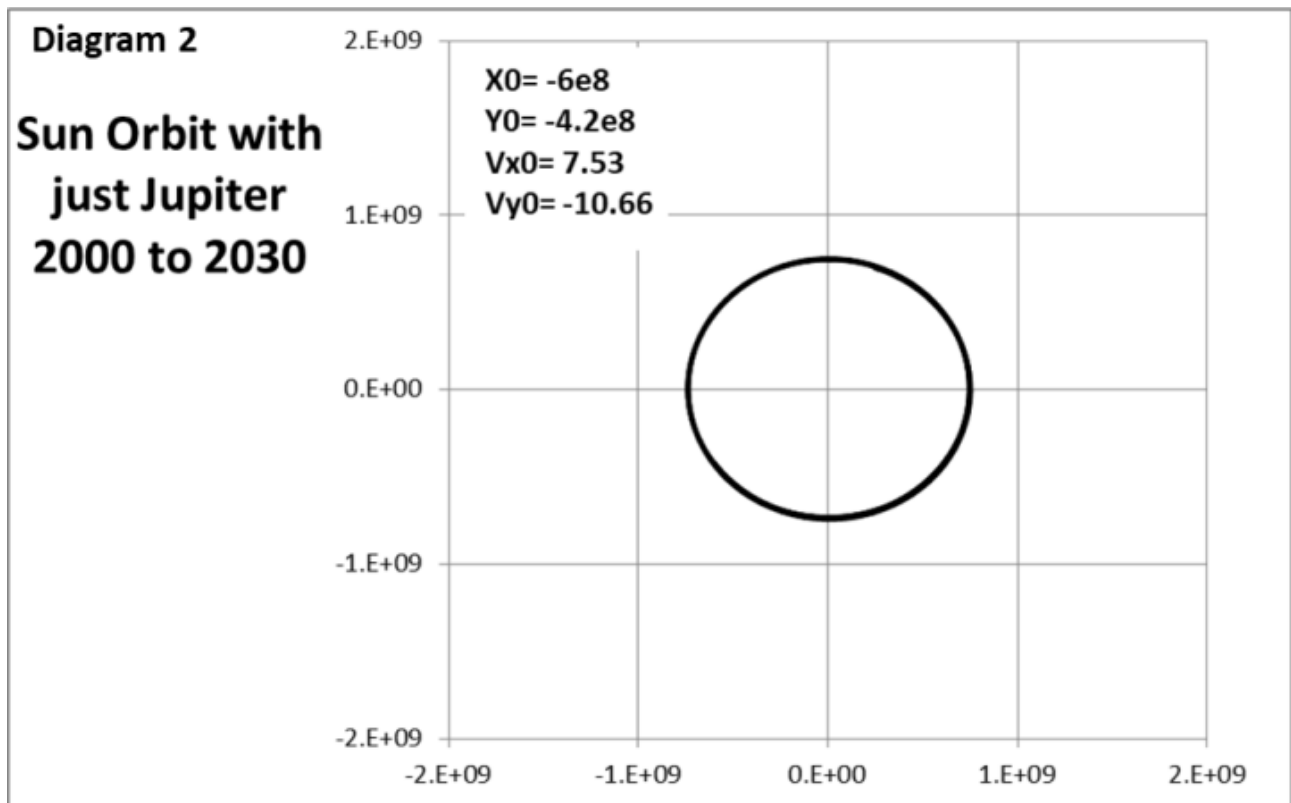
Äquatorialebene deutlicher zu erkennen, wie in Grafik 2 dargestellt, welche die Anomalie der Entfernung zwischen Sonne und Erde im Vergleich zu 2000 für die September-Tagundnachtgleiche über einen Zeitraum von 30 Jahren zeigt.



Der in Grafik 2 dargestellte Bereich der anomalen Entfernung reicht aus, um die maximale Sonnenintensität für den ausgewählten Tag um 1 W/m^2 zu verändern. Der Tag wurde aufgrund der einfachen jährlichen Ausrichtung in der Äquatorialebene ausgewählt und nicht aufgrund der maximalen Differenz für einen bestimmten Tag des Jahres.

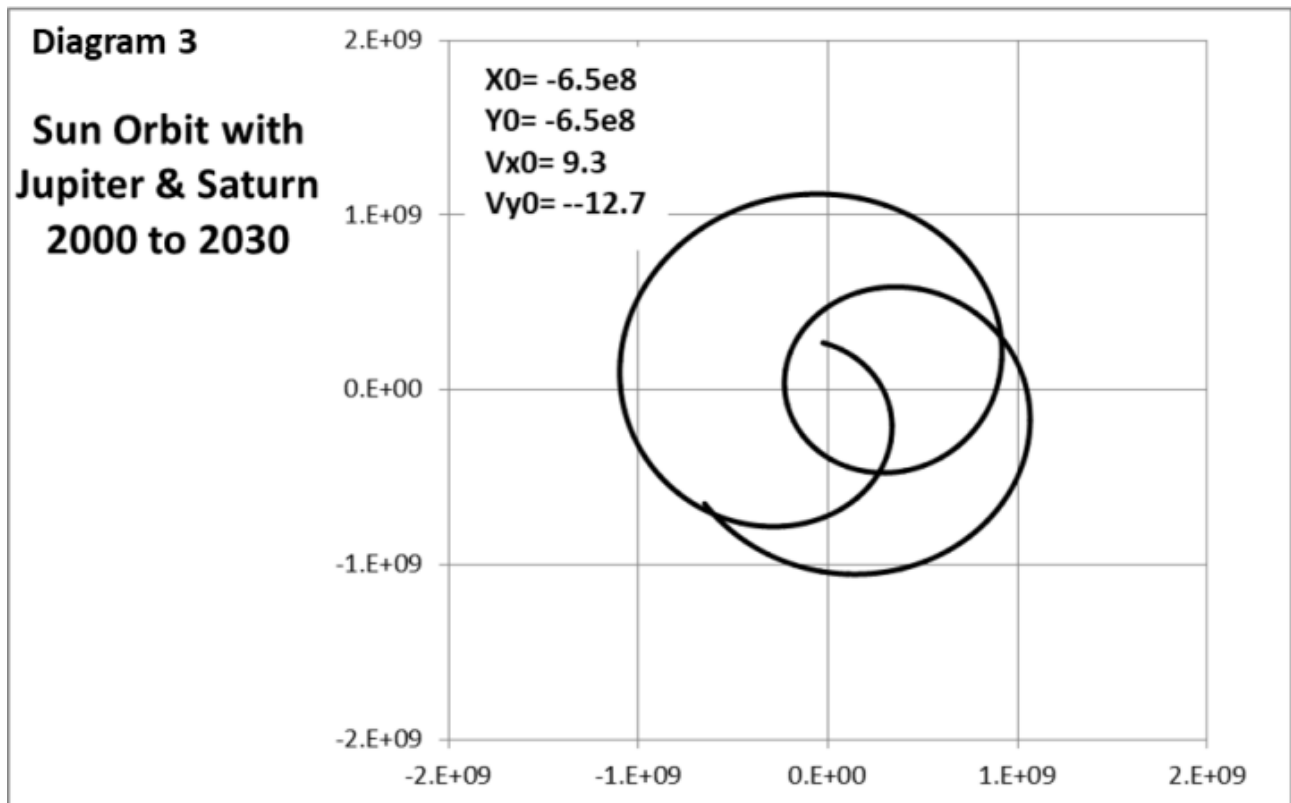
Einfluss einzelner Planeten auf die Umlaufbahn der Sonne

Die Sonnenbahn steht weitgehend in Opposition zu Jupiter, so als wäre die Sonne der Hammerwerfer und Jupiter der Hammer. Die Sonne ist 1050 Mal massereicher als Jupiter, daher muss die Sonnenbahn $1/1050$ der Jupiterbahn betragen, um die Bahnen stabil zu halten. Diagramm 2 zeigt die 2-D-Freikörperbahn der Sonne, die von der tatsächlichen Jupiterbahn angetrieben wird.



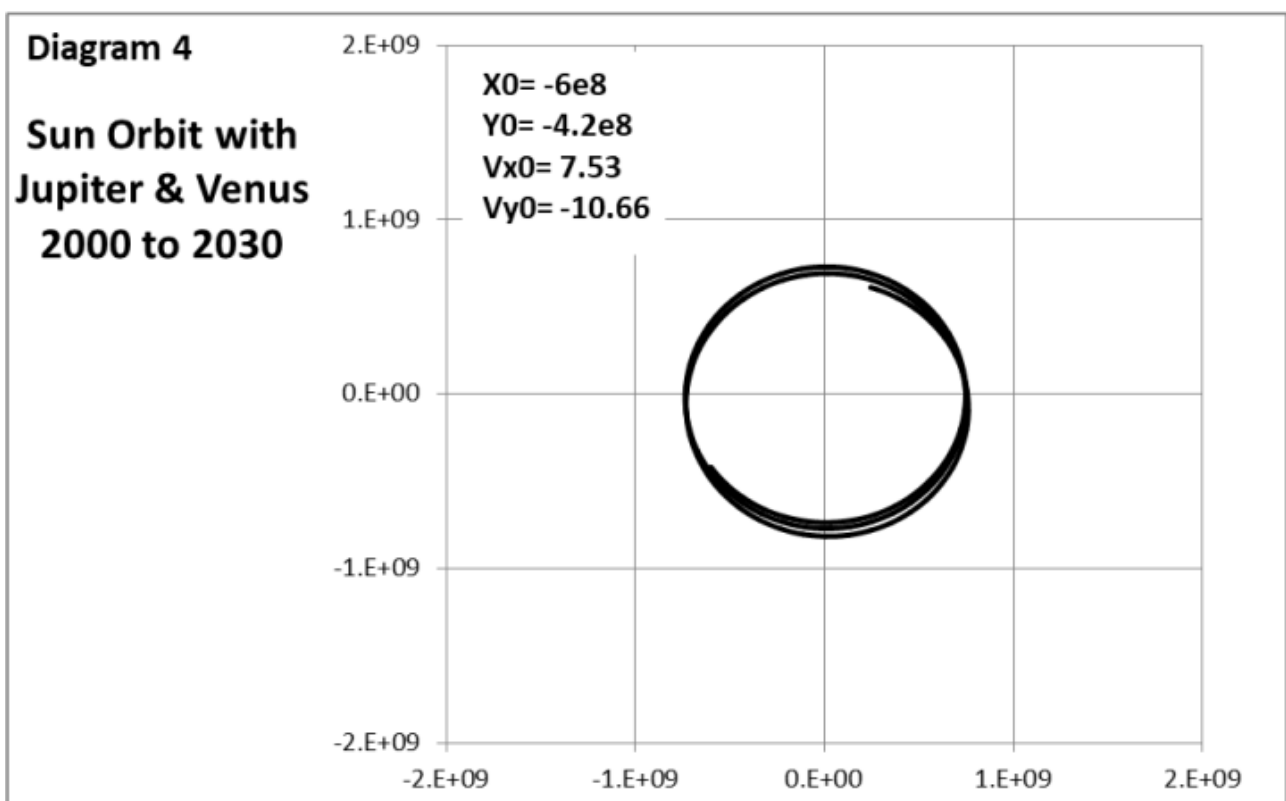
Zur Verdeutlichung: Die hier dargestellte Bewegung der Sonne ist das Ergebnis der alleinigen Beeinflussung der Sonne durch Jupiter, während Jupiter unter dem Einfluss aller anderen Himmelskörper, die eine Gravitationswirkung auf das Sonnensystem ausüben, seiner vorgegebenen Bahn folgt. Die in Diagramm 2 dargestellten Anfangsbedingungen für Position und Geschwindigkeit der Sonne unterscheiden sich von dem Gesamtsystem, das die in Diagramm 1 oben dargestellte tatsächliche Umlaufbahn erzeugt.

Diagramm 3 zeigt, wie sich die Sonne bewegen würde, wenn sowohl Jupiter als auch Saturn vorhanden sind. Saturn hat einen ausreichenden Einfluss, um eine Neufestlegung der Anfangsbedingungen zu erfordern, damit die Umlaufbahn der Sonne stabil bleibt.

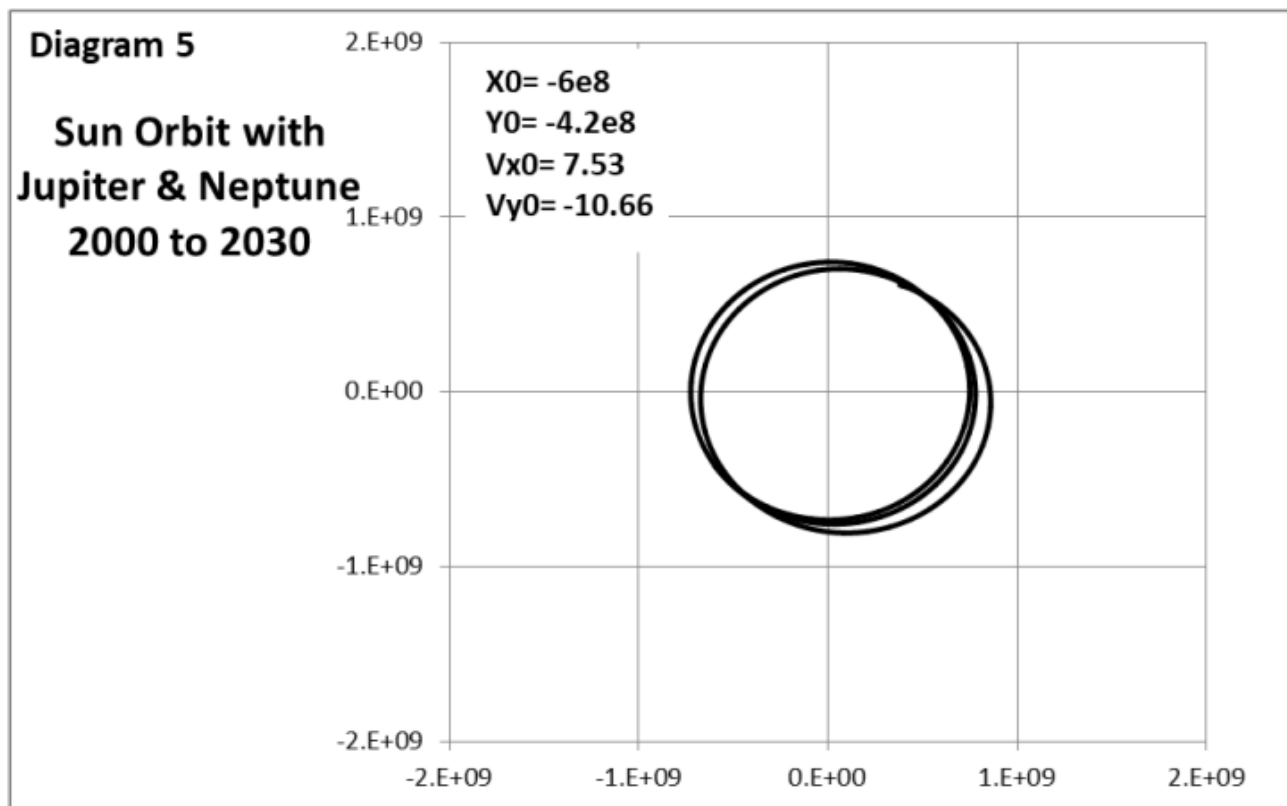


Durch die Einbeziehung von Saturn weist die Umlaufbahn der Sonne eine gewisse Ähnlichkeit mit der vollständigen Systemumlaufbahn aus Diagramm 1 auf.

Obwohl Jupiter 390 Mal massereicher ist als Venus, befindet sich Venus in einer Entfernung von 1/7 zur Sonne, sodass Venus einen nachweisbaren Einfluss auf die Bewegung der Sonne hat, wie in Diagramm 4 dargestellt.



Neptun ist der am weitesten von der Sonne entfernte Planet, aber seine Masse beträgt etwas mehr als die Hälfte der Masse von Jupiter, sodass er aufgrund der doppelten Integration der Zeit von Kraft zu Entfernung einen gravitativen Einfluss hat, wie in Diagramm 5 dargestellt.



Der in Diagramm 5 dargestellte Zeitraum von 30 Jahren ist etwas zu kurz, um den Einfluss von Neptun auf die Bewegung der Sonne vollständig zu erfassen, da sich der Planet in dieser Zeit nur um 65 Grad bewegt hat. Neptun ist der Langsamste bei der Bewegung der Sonne; langsam und stetig.

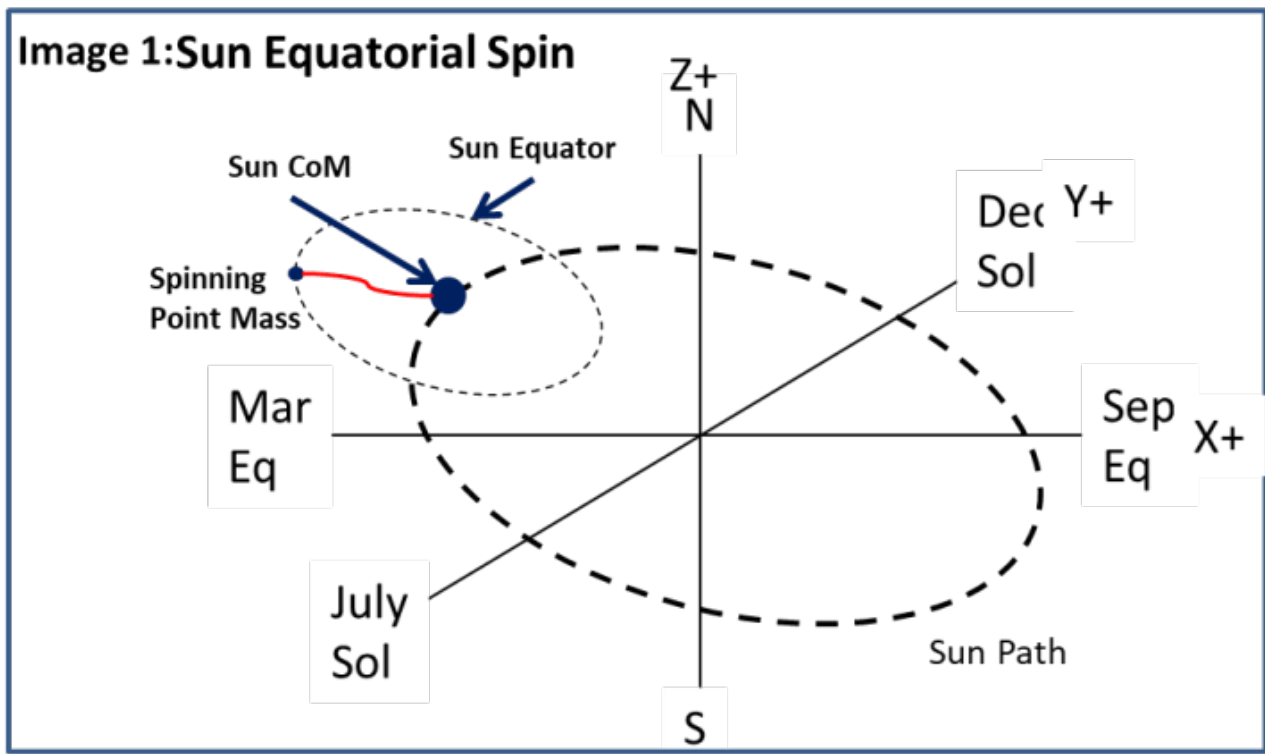
Verteilung der Masse der Sonne

Der Radius der Sonne von $6,96E8$ m ist im Verhältnis zu ihrer Umlaufbahn von $7,31E8$ m unter dem Einfluss von nur Jupiter signifikant. Angesichts der unregelmäßigen Umlaufbahn der Sonne unter dem Einfluss aller Objekte des Sonnensystems gibt es Zeiten, in denen sich der Schwerpunkt innerhalb der Sphäre der Sonne befindet. Tatsächlich gibt es einige Umlaufbahnen, bei denen der Massenschwerpunkt (CoM) der Sonne den Schwerpunkt nicht umkreist.

Eine weitere Besonderheit der Sonne ist, dass ihre Masse in Form von Plasma vorliegt. Daher ist sie eher flüssig als fest. Unter dem Einfluss ihrer Rotation bewirken die Zentrifugalkräfte auf das Plasma, dass sich die gesamte Sonne abflacht, wobei der Durchmesser am Äquator im Verhältnis zum Durchmesser von Pol zu Pol zunimmt.

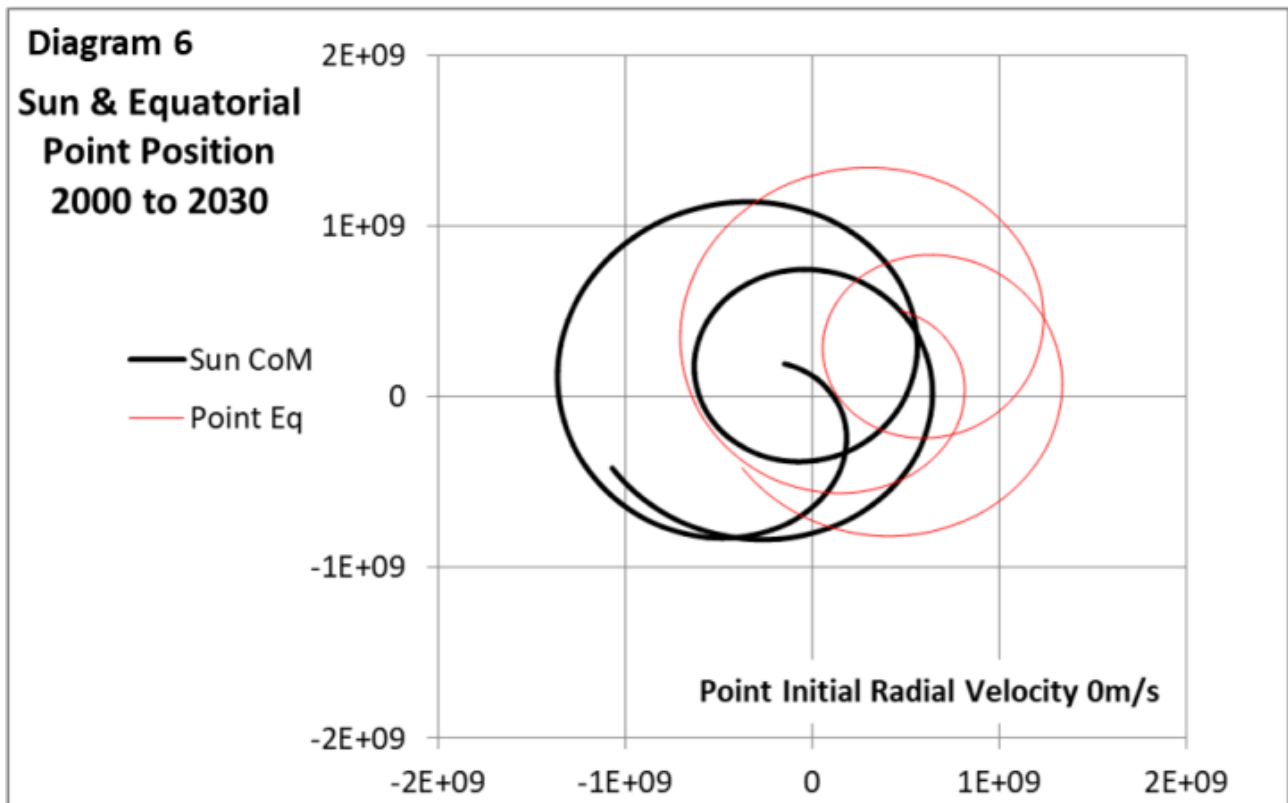
Die einfachste Methode zur Analyse der freien Körperbewegung der Sonnenoberfläche besteht darin, sie auf einen einzigen Punkt im Raum zu

reduzieren, der an den CoM gebunden ist. Dies ist in Bild 1 schematisch dargestellt.



Das Seil ist elastisch, um das Verhalten der Plasmaablösung unter Zentrifugalbeschleunigung darzustellen.

Die erste Analyse, dargestellt in Diagramm 6, zeigt die vom JPL bestimmte Position der Sonne als schwarzen Ort für den Schwerpunkt (CoM) und als roten Ort für den Äquatorialpunkt (EP) unter dem Einfluss der gleichen Gravitationsbeschleunigungen, die den Schwerpunkt bewegen. Der EP wird in X-Richtung vom Schwerpunkt aus festgelegt.



Der EP behält im Wesentlichen seine Position in X-Richtung bei und beschreibt eine ähnliche, aber verschobene Umlaufbahn. Graphik 2 zeigt die Geschwindigkeit des EP, wenn die Sonne keine Rotation hätte. Sie entspricht der Geschwindigkeit der Sonne. Venus trägt am meisten zu den kleinen Schwankungen in der Geschwindigkeit bei.

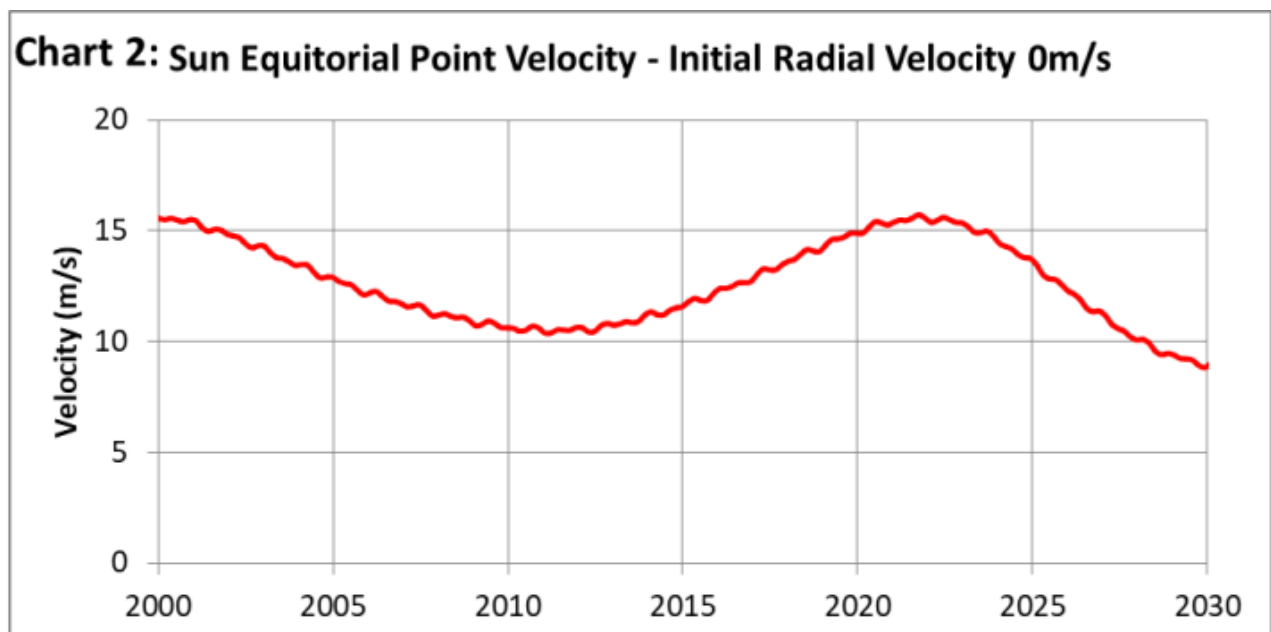
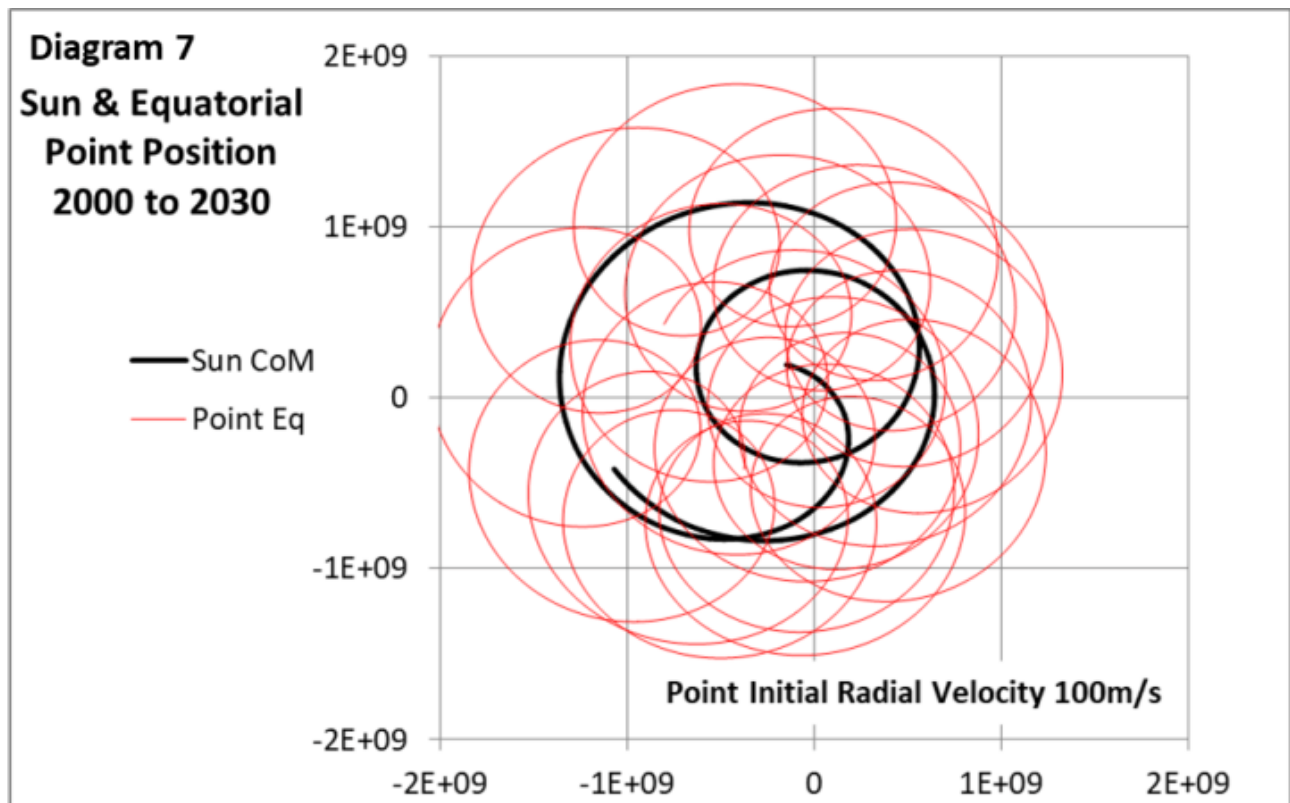
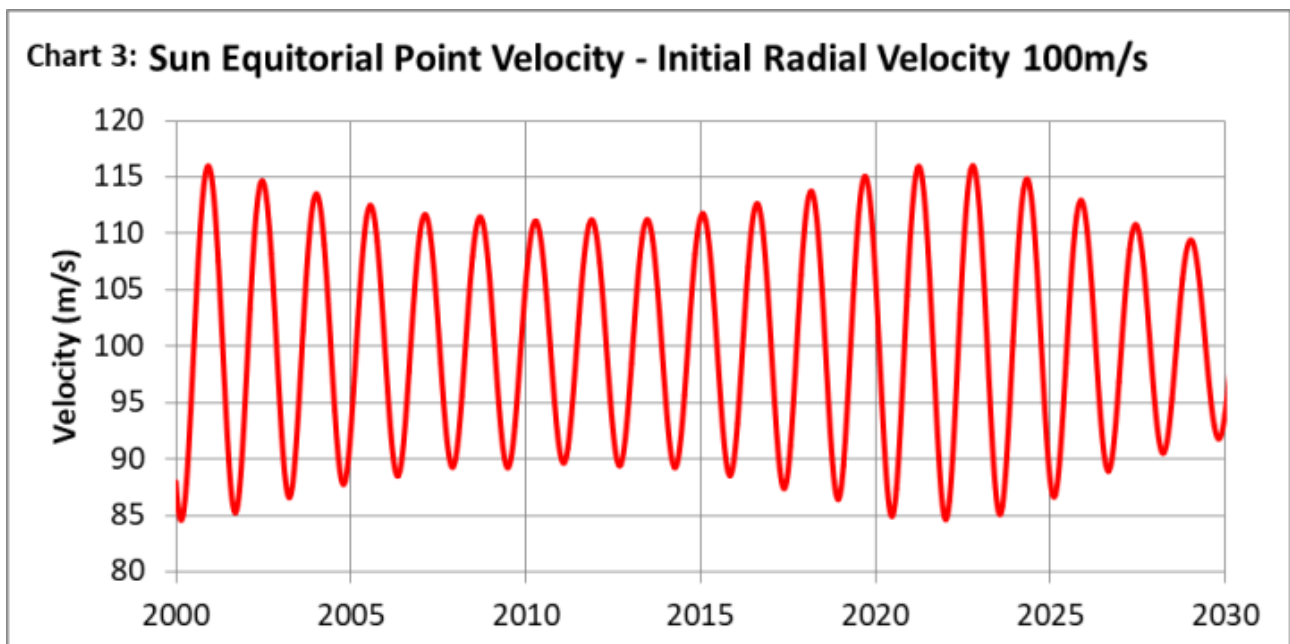


Diagramm 7 zeigt die Ortskurven des CoM und des EP, nachdem dem EP eine Anfangsbewegung in Y-Richtung von 100 m/s relativ zum CoM gegeben wurde.

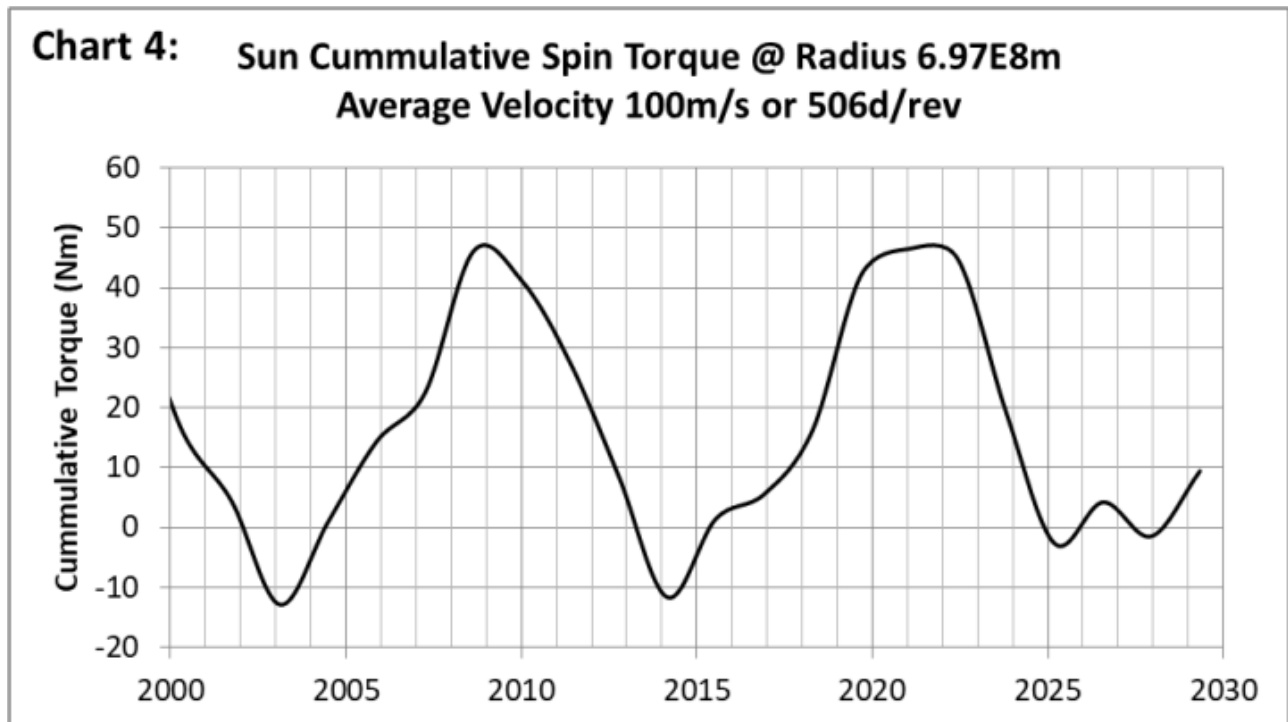


Die Anfangsrotation von 100 m/s ergibt eine Rotationsperiode von 506 Tagen, so dass der EP den CoM in einem Zeitraum von 30 Jahren 22 Mal umkreist, abzüglich der fast 3 Umläufe, die der CoM in der gleichen Zeit absolviert hat. Dies ist in Graphik 3 zu sehen, welche die Geschwindigkeit des EP über den Zeitraum mit einem Durchschnitt von 100 m/s und 19 Auslenkungen zeigt.



Die Geschwindigkeit des EP liegt in einem Bereich um den Durchschnittswert, der durch die Geschwindigkeit des CoM bestimmt wird. Das EP muss im Verlauf jeder Umdrehung beschleunigt und abgebremst werden, was dazu führt, dass sich das Seil bei jeder Umdrehung dehnt und

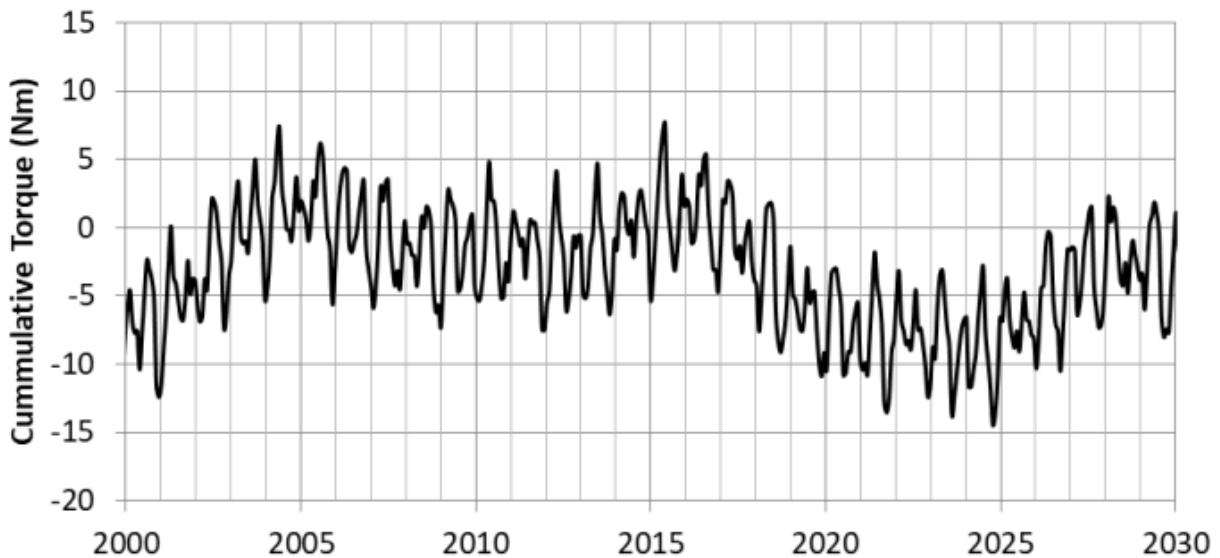
wieder entspannt. Würde das EP nicht durch das Gravitationsfeld beeinflusst, würden sich das Beschleunigungsmoment und das Bremsmoment gegenseitig aufheben. Die auf den EP wirkende Gravitationskraft ist um Größenordnungen kleiner als die Kraft des Seiles, aber die Gravitationskraft erzeugt ein Nettodrehmoment wie in Graphik 4 dargestellt. Das berechnete Drehmoment basiert auf einem EP mit einer Masse von 1 kg.



Über einen Zeitraum von 30 Jahren steigt die durchschnittliche Rotationsgeschwindigkeit um 0,04 m/s, aber es gibt auch Phasen, in denen sich die Rotation verlangsamt.

Die äquatoriale Rotation der Sonne beträgt etwa 25 Tage, was einer Geschwindigkeit von 2000 m/s entspricht. Graphik 5 zeigt das kumulative Drehmoment auf den EP unter diesen Bedingungen.

Chart 5: Sun Cumulative Spin Torque @ Radius 6.97E8m
Average Velocity 2000m/s or 25.3d/rev



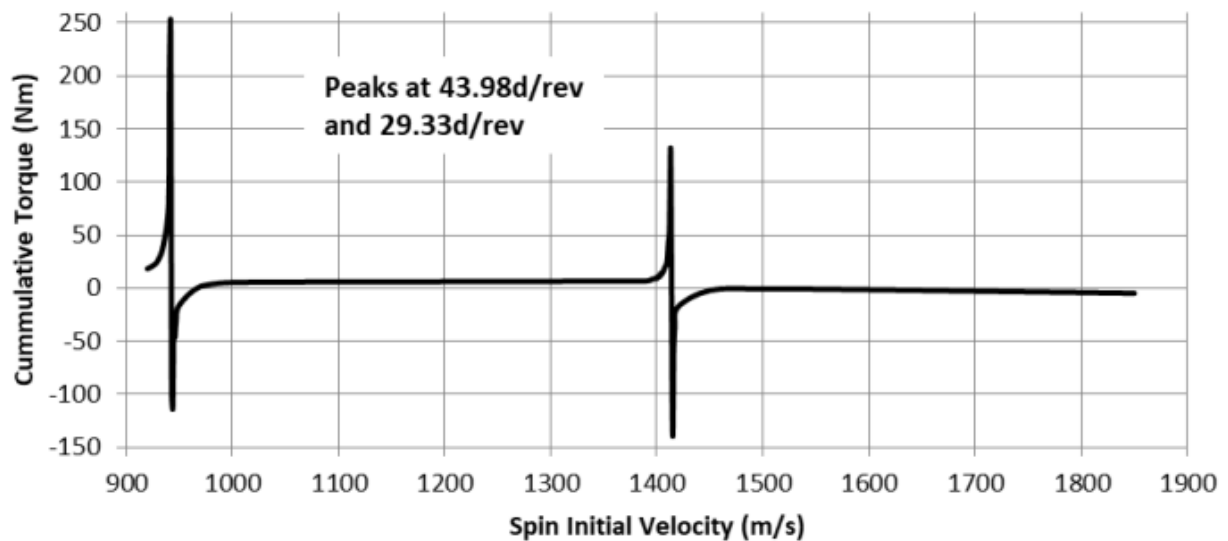
Das durchschnittliche Drehmoment für eine Rotationsperiode von 25 Tagen ist leicht negativ.

Drehmoment zwischen 100 m/s und 2000 m/s

Die beiden bisher betrachteten Beispiele ergaben sowohl ein positives als auch ein negatives kumulatives Drehmoment über den betrachteten Zeitraum von 30 Jahren. Dies wirft die Frage auf, was zwischen diesen Extremen geschieht.

Falls die Drehung der Sonne durch Gravitationseffekte verursacht würde, wären diese in dem Bereich am stärksten ausgeprägt, der das höchste Drehmoment erzeugen könnte. Betrachtet man die Sonne als eine Reihe konzentrischer Zylinder, welche die Rotationsachse umgeben, und geht man von einer konstanten Dichte aus, würde das höchste Drehmoment bei $5,7 \times 10^8$ m erreicht werden, was einer Breite von 35 Grad entspricht. Dementsprechend zeigt Graphik 6 das kumulative Drehmoment für einen Bereich von Anfangsrotationsgeschwindigkeiten bei $5,7 \times 10^8$ m von 900 m/s bis zu 1850 m/s.

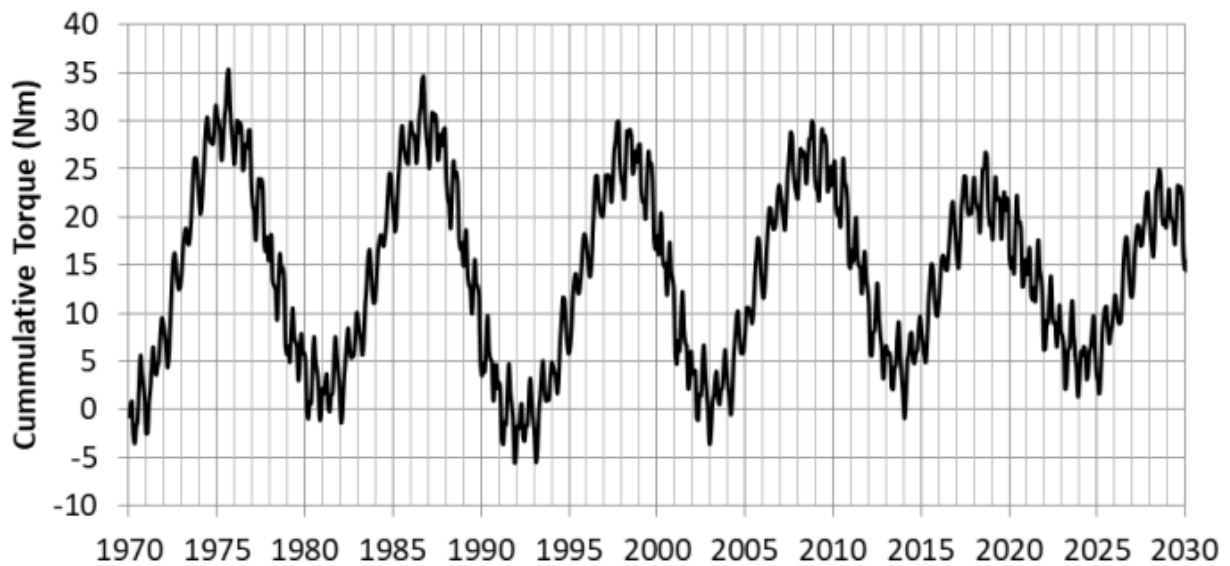
**Chart 6: Sun Cumulative Spin Torque with Spin Average Velocity
@ Radius 5.7E8**



Es gibt zwei interessante Spitzen, die auf Resonanzen hindeuten. Die erste tritt bei Perioden von 44 Tagen auf, die zweite bei 29,3 Tagen. Beide Spitzen zeigen einen starken Anstieg des Drehmoments, gefolgt von einem raschen Abfall auf ein negatives Drehmoment. Bei 970 m/s kommt es zu einer Erholung auf ein positives Drehmoment mit einem allmählichen Anstieg auf 1400 m/s vor der nächsten Spitze und einem plötzlichen Abfall.

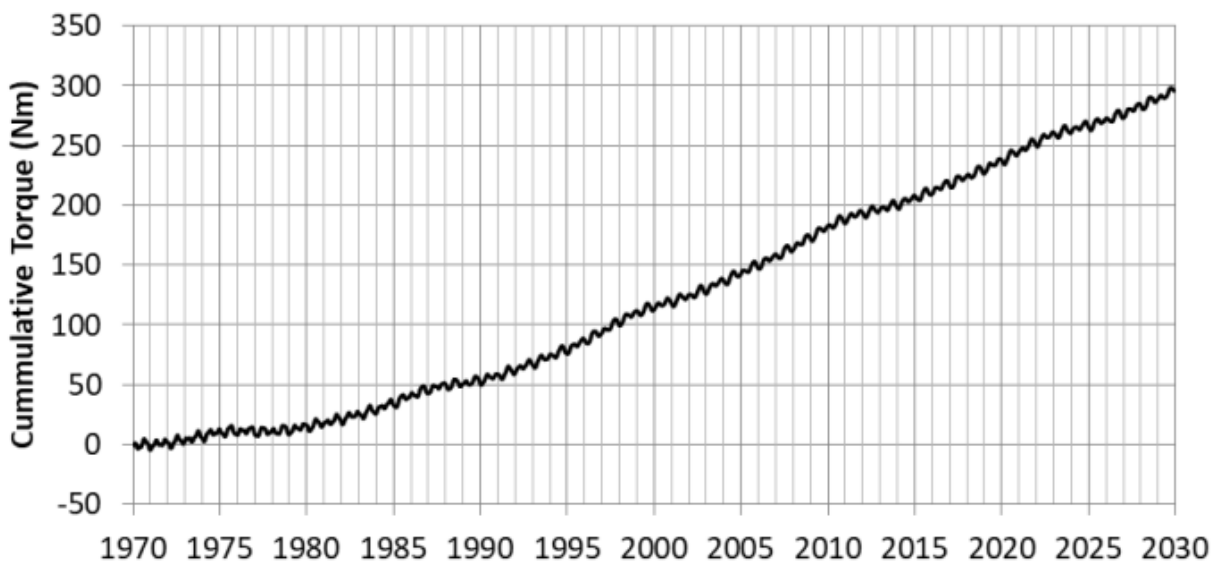
Das kumulative Drehmoment durchläuft eine Phasenfolge, wenn sich die Anfangsgeschwindigkeit der Resonanz nähert. Graphik 7 zeigt das kumulative Drehmoment bei 5,7E8 m für 1403,7 m/s, das ausgewählt wurde, weil die Zyklen eine gute negative Korrelation mit der Sonnenaktivität über einen Zeitraum von 60 Jahren aufweisen.

Chart 7: Sun Cumulative Spin Torque @ Radius 5.7E8m
Average Velocity 1403.7m/s or 29.52d/rev



Die kumulativen Drehmomentzyklen nehmen ab, wenn sich die Anfangsgeschwindigkeit 1413 m/s nähert, wo sie gemäß Graphik 8 zu einem stetigen Aufwärtstrend wird.

Chart 8: Sun Cumulative Spin Torque @ Radius 5.7E8m
Average Velocity 1413m/s or 29.33d/rev



Obwohl das Drehmoment während des gesamten Zeitraums steigt, erhöht es die EP-Geschwindigkeit in diesem Zeitraum nur um 0,05 m/s. Das Drehmoment fällt oberhalb von 1413 m/s steil ab und ist bei 1414 m/s negativ. Somit befindet sich jeder Teil der Sonne, der sich mit einer Periode von 29,33 Tagen dreht, kurz vor dem Wechsel zwischen Drehbeschleunigung und Drehbremsung.

Diskussion

Die Periode der beiden Resonanzen zeigt, dass Merkur einen Gezeiteneinfluss auf die Sonne hat. Tatsächlich könnte diese Analyse den Einfluss von Merkur unterschätzen, weil die einzelnen planetarischen Beiträge summiert und als eine einzige variable Gravitationskraft sowohl auf den Schwerpunkt als auch auf den Epizentrumspunkt angewendet werden. Angesichts der Nähe von Merkur zur Sonne und des großen Durchmessers der Sonne könnten auch die lokalen Gezeiteneffekte von Merkur auf die angrenzende Sonnenoberfläche erheblich sein. Der Beitrag des Merkur zur Bewegung des Sonnen-CoM ist zwar verschwindend gering, scheint jedoch eine Schlüsselrolle für die Rotation der Sonne zu spielen, was sich auf die Entwicklung der Sonnenaktivität auswirkt.

Wäre das Drehmoment immer positiv, würde sich die Sonne immer schneller drehen. Die Tatsache, dass das Drehmoment einen Auslösepunkt erreicht, der eine scharfe Drehmomentumkehr verursacht, steht im Einklang mit der Erzeugung lokaler Turbulenzen und hoher Scherung in jedem Bereich, der sich mit einer Periode von 29,33 Tagen dreht. Dies stimmt mit der beobachteten dominanten Periode der Sonne gemäß dem Titelbild oben aus dem [Max Planck Solar System Research](#) überein.

Die Berechnungen des Drehmoments erklären weder die Rotationsperiode des Sonnenäquators noch warum die Rotationsgeschwindigkeit bei kleineren Radien langsamer als 29,33 Tage ist.

Schlussfolgerungen

Die Bewegung der Sonne unterscheidet sich deutlich von der Bewegung der Planeten. Die Sonne folgt einer unregelmäßigen Bahn und erreicht dabei eine zweifache Schwankungsbreite ihrer Umlaufgeschwindigkeit. Das Plasma der Sonne hat die Fähigkeit, sich unter der Zentrifugalbeschleunigung durch die axiale Drehung abzuflachen. Diese Fähigkeit teilen auch die Gasriesen Jupiter und Saturn, die sich mit einer noch höheren Äquatorialgeschwindigkeit als die Sonne drehen.

Die Analyse der Bewegung von Himmelskörpern als Punktmassen ist eine Vereinfachung, die das Verständnis ihres Verhaltens einschränkt. Die Verteilung der Masse und ihr physikalischer Zustand sind wichtige Faktoren für die Beurteilung der Gravitationskräfte, die über Geschwindigkeit und Position hinausgehen.

Autor: *Richard Willoughby is a retired electrical engineer having worked in the Australian mining and mineral processing industry for 30 years with roles in large scale operations, corporate R&D and mine development. A further ten years was spent in the global insurance industry as an engineering risk consultant where he developed an enduring interest in natural catastrophes and changing climate.*

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2026/02/22/changing-sunlight-sun-movement-and-spin/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE