

# Ein Großes Solares Minimum kommt

[Titel des Originals: [The Forthcoming Grand Minimum of Solar Activity](#)]

Journal of Cosmology, 2010, Vol 8, 1983-1999.

JournalofCosmology.com, June, 2010

S. Duhau, Ph.D.1, und C. de Jager, Ph.D.2,

<sup>1</sup>Departamento de Física, Facultad de Ingeniería,  
Universidad de Buenos Aires, 1428, Bs. As. Argentina.

<sup>2</sup>Royal Netherlands Institute for Sea Research;  
P.O. Box 59, 1790 AB Den Burg, The Netherlands.

## Zusammenfassung

Wir fassen jüngste Erkenntnisse über Periodizitäten in der solaren Tachocline-Region und deren physikalische Erklärung zusammen. Wir kommen zu der Schlussfolgerung, dass die Variabilität der Sonne gegenwärtig am Beginn eines langen Großen Minimums steht, einer Episode mit sehr geringer Sonnentätigkeit mit einer Dauer von mindestens einem Jahrhundert. Als Konsequenz ergibt sich eine Verbesserung unserer Vorhersage der maximalen Stärke des jetzigen Schwabe-Zyklus (#24). Das Maximum wird spät erreicht (2013,5), wobei die Anzahl an Sonnenflecken bis auf 55 heruntergeht.

---

## 1. Einführung

Nach allgemeiner Ansicht sind Änderungen der Sonnenaktivität eng mit Klimaänderungen verknüpft (de Jager and Duhau, 2009; de Jager et al., 2010; Miyahara et al., 2010). Die Sonnenflecken-Aktivität kann in den beiden solaren Hemisphären konzentriert sein, und sie schwankt anscheinend in einem 11-jährigen Zyklus. Ausgedehnte Episoden verminderter Sonnenflecken-Aktivität aber, wie zum Beispiel das Maunder-Minimum (benannt nach dem Sonnen-Astronom Edward W. Maunder), waren deutlich mit einer Periode extremer Abkühlung und bitterkalter Winter in Europa und Nordamerika verbunden, die als „Kleine Eiszeit“ bekannt ist.

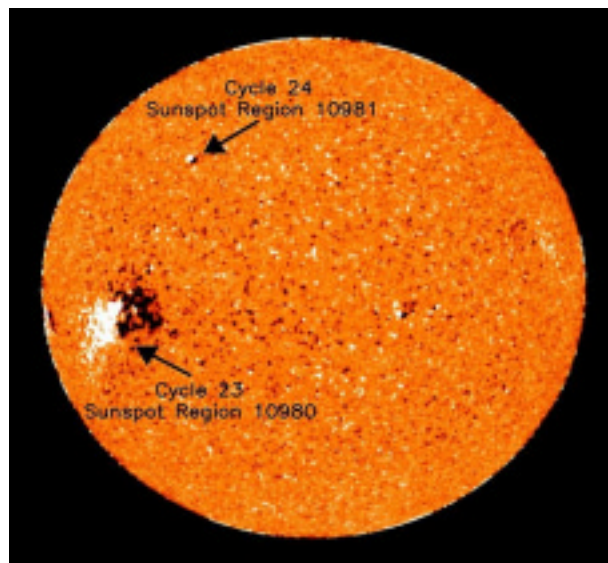


Abbildung 1. Ein Sonnenfleck des Zyklus Nr. 23 (am Äquator) und der erste Sonnenfleck des Zyklus Nr. 24 (oben) (4. Januar 2008)

Vorhersagen der maximalen Sonnenfleckenanzahl ( $R_{max}$ ) für den aktuellen Zyklus Nr. 24 reichen von sehr hohen über mittlere bis zu sehr kleinen Werten (siehe de Jager and Duhau, 2009). Letztere Vorhersagen [sehr niedrig] können wieder zur Episode eines Großen Minimums führen (Miyahara et al., 2010). Die Ursache für die widersprüchlichen Vorhersagen könnte in der Möglichkeit zu suchen sein, dass sich im Dynamosystem der Sonne derzeit ein chaotischer Übergang [Transition] vom Großen Maximum des 20. Jahrhunderts in ein anderes Regime vollzieht (Duhau, 2003; de Jager und Duhau, 2009).

Der Sonnen-Dynamo erzeugt das Sonnenmagnetfeld durch einen kreisförmigen elektrischen Fluss tief im Inneren des Gestirns. Die genauen Mechanismen sind unbekannt. Das Sonnenplasma weist eine sehr hohe Leitfähigkeit auf. In der Tachocline-Region, einer Schicht etwa 200 000 km unter der Sonnenoberfläche, werden in Anwesenheit eines [magnetischen] Saatfeldes Ströme in denjenigen Schichten erzeugt, wo die unterschiedlichen Breitenbänder der Sonne mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten rotieren, wo die Ströme mit tief liegenden Konvektiv-Bewegungen interagieren und auf diese Weise die starken Magnetfelder noch weiter verstärken (wie in den Gesetzen der Magnethydrodynamik beschrieben). Wie der Sonnenflecken-Zyklus kehrt sich auch der solare Dynamo alle 11 Jahre um und löst die Bildung von Sonnenflecken aus. Man nimmt an, dass sich während des Maunder-Minimums die Rotation der Sonne verlangsamt haben könnte. Demzufolge hinge das Verhalten künftiger Sonnenflecken zum großen Teil vom Zustand des Dynamos während des Übergangs ab (Lorenz, 1993).

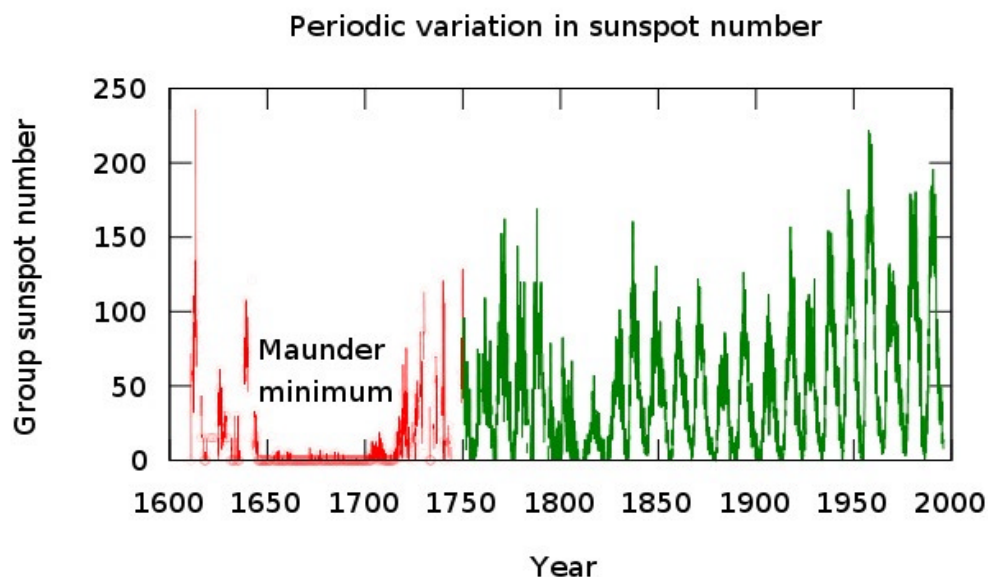


Abbildung 2. Änderungen der Sonnenfleckenaktivität mit Verdeutlichung des Maunder-Minimums.

De Jager und Duhau (2009) haben eine Methode zur Vorhersage der nächsten Großen Episode eingeführt, die auf früherem Oszillationsverhalten des solaren Dynamos basiert (zusammengefasst von de Jager und Duhau, 2010). Eines der Ergebnisse war die Entdeckung eines Übergangs vom Großen Maximum des 20. Jahrhunderts in eine andere Große Episode. Dieser Übergang begann im Jahre 2000 und wird voraussichtlich im Jahre 2013 enden.

Aufgrund der oben erwähnten Methode und mit Hilfe neuer Daten des geomagnetischen aa-Indexes sehen wir voraus, dass ein Großes Minimum unmittelbar bevorsteht. Als Folge wird eine längere Periode globaler Abkühlung vorhergesagt. Die relevanten Mechanismen werden beschrieben.

## 2. Solare Variabilität und das Phasendiagramm

Die Solare Variabilität wird hauptsächlich durch die zwei Hauptkomponenten des Sonnen-Magnetfeldes bestimmt: durch die toroidalen und die poloidalen Magnetfeldkomponenten der Tachoclinen Region\*, einer etwa 30 000 km dicken Schicht, die sich etwa 200 000 km unter der Sonnenoberfläche befindet. Da diese inneren Felder nicht direkt beobachtet werden können und direkte Beobachtungen der äquatorialen und polaren Felder nur für einen begrenzten Zeiträume bekannt sind, braucht man „Proxies“ [Stellvertreter] für diese magnetischen Feldkomponenten.

Ein solcher Proxy für die toroidale Feldstärke ist  $R_{max}$ , die maximale Anzahl von Sonnenflecken in aufeinander folgenden Schwabe-Zyklen (Nagovytshin, 2005); vgl. Abb. 3a. Unter Berücksichtigung der poloidalen Feldkomponente wurde von Russell (1975), Russell und Mulligan (1995), sowie Duhan und Chen (2002) vorgeschlagen, als Proxy für die maximale poloidale Feldstärke  $a_{amin}$  zu nutzen, den kleinsten Wert der aa-magnetischen Komponente. Die aa-Daten basieren auf zeitgleichen Messungen in Greenwich (UK) und Adelaide (Australien). Die erste Serie dieser Daten seit 1868 (Mayaud, 1975) wurde bis zum Jahre 1844 zurück gerechnet (Nevalinna und Kataja, 1993), während verbesserte Daten seit 1868 von Lockwood (priv.com.) zur Verfügung gestellt wurden, vgl. Abb. 3b.

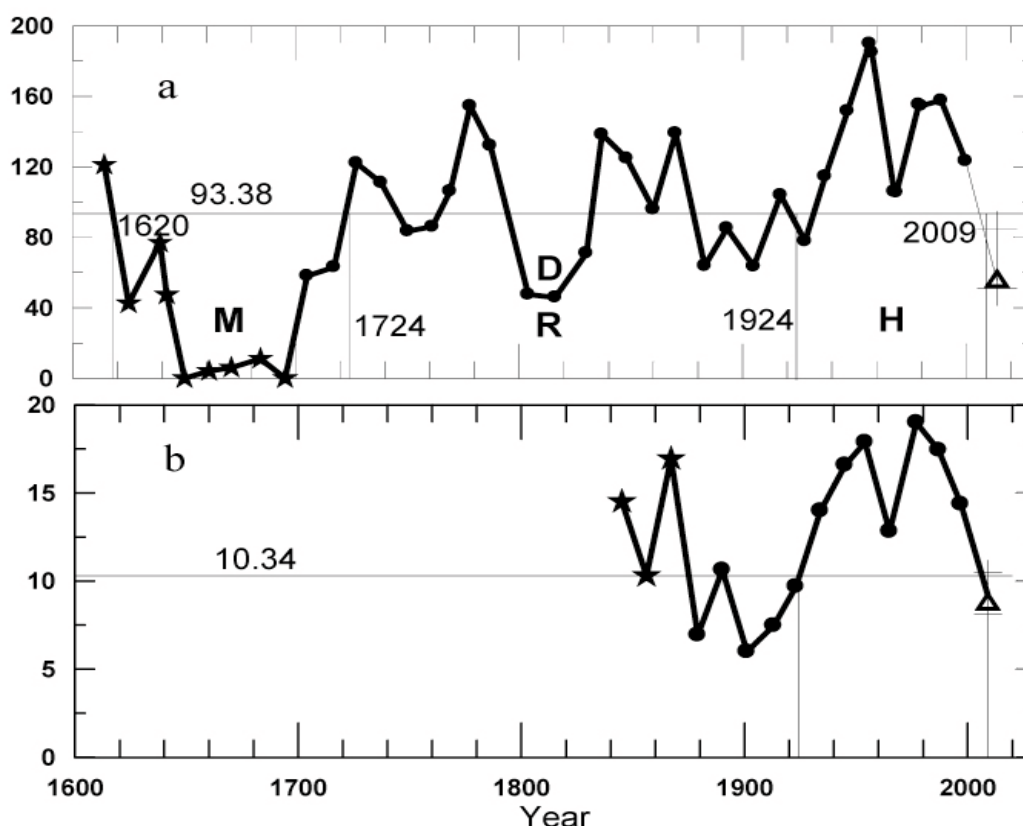


Abbildung 3. Werte von  $R_{max}$  seit 1610 (a) und  $a_{amin}$  seit 1844 (b).

Die  $R_{max}$  – Daten vor und nach 1705 sind die jeweiligen Wolf und Group Sonnenflecken-Anzahlen (Hoyt und Schatten, 1998), während die aa – Daten von Nevalinna und Kataja (1993) und Lockwood (priv. com.) stammen. Die horizontalen Linien sind die Koordinaten der Übergangspunkte (siehe Text).

Die Kreuze [über den Dreiecken] repräsentieren (a): die vorhergesagten Werte für die

\* Tachocline Region: Die Tachocline Region, befindet sich in der Nähe der Grenzfläche zwischen [Strahlungszone](#) und [Konvektionszone](#), die bei  $r_t = 0,713 \pm 0,003 R$  liegt.

Zu den Fachbegriffen „toroidal“ und „poloidal“ siehe: [http://en.wikipedia.org/wiki/Toroidal\\_and\\_poloidal](http://en.wikipedia.org/wiki/Toroidal_and_poloidal)

Sonnenfleckenanzahl zur Zeit des Maximums von Zyklus 24 ( $67 \pm 17$ ) und (b): den vorangehenden geomagnetischen Index  $a_{\min}$  ( $9.8 \pm 1.2$ ) nT (Vorhersage von de Jager und Duhau 2009). Die Dreiecke in (a) und (b) sind der neue vorhergesagte Wert für  $R_{\max}$  im Zyklus 24 (siehe Abschnitt 4) und der beobachtete Mittelwert von  $a_{\min}$  um das Jahr 2009,5 (8,7 nT). Die Punkte M, R und H beziehen sich auf die Typen der Großen Episode, die es zwischen den Jahren gab, die durch die vertikalen Linien gekennzeichnet sind. Der Punkt D bezieht sich auf das Dalton-Minimum.

Für die Betrachtung der Geschichte der solaren Tachocline ist es sinnvoll, die gleichzeitige Variation und die gegenseitige Abhängigkeit der beiden Proxies zu untersuchen. Dazu haben Duhau und Chen (2002) ein Phasendiagramm eingeführt, in dem  $R_{\max}$  als eine Funktion von  $a_{\min}$  geplottet ist. Diese Betrachtung führt zu einer interessanten Schlussfolgerung: Es scheint so (Duhau and Chen, 2002; Duhau and de Jager, 2008), dass zum Zeitpunkt des Übergangs von einer Großen Episode zur nächsten die beiden Proxies wohldefinierte Werte annehmen, die wir *Übergangspunkt* [„transition point“] nennen. Dieser Punkt ergibt sich aus dem Verhalten (siehe Abb. 3a und 4) einer lang-periodischen Komponente, die definiert ist als die Summe des linearen Trends und der kurzwelligen Komponenten-Periodizitäten im oberen Gleissberg-Band und den Süss (de Vries)-Bändern.

Abb. 3a zeigt eine vollständige Sequenz der drei Arten von Großen Episoden, die sich während des vergangenen Jahrtausends abgewechselt haben (Duhau und de Jager, 2008). Bei diesen Episoden handelt es sich um das Große Minimum (M: 1620 – 1724), die Regulären Oszillationen (R: 1724 – 1924) und das Große Maximum (H: 1924 – 2009). In diesen drei Perioden lagen die Werte von  $R_{\max}$  und  $a_{\min}$  unter, bzw. schwankten um das Niveau des Übergangspunktes herum, oder lagen darüber. Wie man im Phasendiagramm (Abb. 4) erkennt, setzt sich die langzeitliche Variation aus einer Abfolge geschlossener Ellipsen um den Übergangspunkt zusammen. Diesen Jahrhundertzyklus nennen wir den „Gleissberg-Zyklus“.

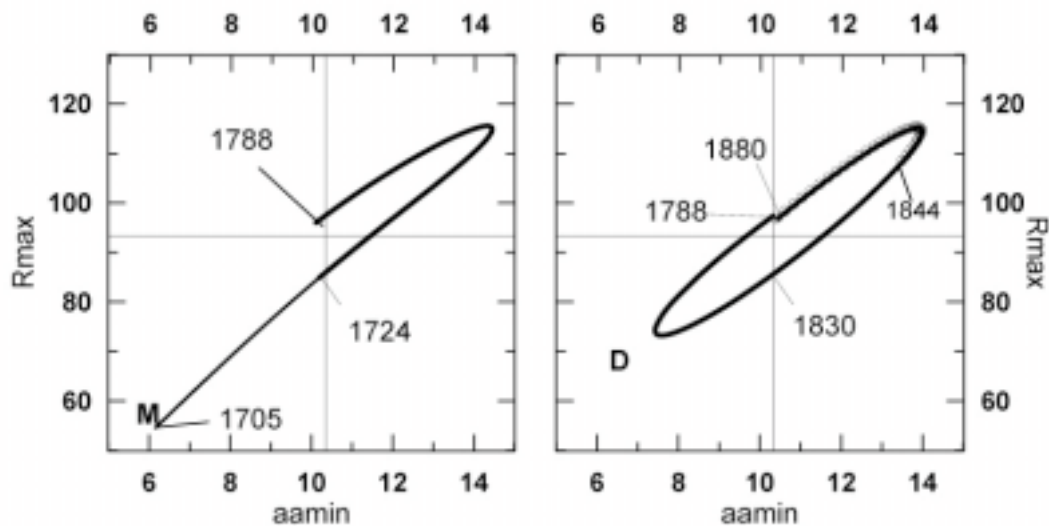


Abbildung 4. Phasendiagramm für den Langzeittrend der Periode 1705 bis 1880. Die vertikalen und horizontalen Linien kreuzen die Koordinaten des Übergangspunkts (10.34, 93.38). Die dünne Linie im linken Diagramm korrespondiert mit dem ansteigenden Zweig des Maunder-Minimums. Die dicken Linien in beiden Diagrammen zeigen die Reguläre Episode von 1724 bis 1924. Die Linien laufen immer gegen den Uhrzeigersinn. Die Daten des  $a_{\min}$  vor 1844 sind extrapoliert von Nagovitsyn (2006).

### 3. Sonnenzyklen; physikalische Ursache der Periodizitäten über den Hale-Zyklus hinaus.

Bei der solaren Variabilität gibt es charakteristische Periodizitäten. Als wichtigste davon für diese Untersuchung werden definiert: die Hale-Periodizität (17 – 32 Jahre), die Untere Gleissberg-Periodizität (34 bis 68 Jahre), die Obere Gleissberg-Periodizität (72 – 118 Jahre) und die Süß (de Vries)-Periodizität  $\approx 205$  Jahre (siehe de Jager, 2005). Diese bedürfen einer physikalischen Interpretation. Wir weisen darauf hin, dass das kurze Minimum vom Dalton-Typ um das Jahr 1810 herum nicht im Gleissberg-Zyklus erscheint (Abb. 4). Diese Beobachtung legt unterschiedliche physikalische Ursachen für Minima vom Maunder- oder Dalton-Typ nahe.

Deshalb kommen wir zu einer näheren Betrachtung der solaren Periodizitäten. Dabei wollen wir den Unterschied von Periodizitäten in geschlossenen und offenen Systemen betonen, in linearen und nichtlinearen Systemen. Diese Unterschiede zu beschreiben, ist die Voraussetzung für eine physikalische Interpretation der Beobachtungen. Die Oszillationen von linearen und geschlossenen Systemen sind harmonische Funktionen; deswegen wird jede Oszillation in diesen Systemen gut durch die Fourier Grundfunktion abgebildet. Dies gilt jedoch nicht in nicht-linearen Systemen mit nicht-stationären Grenzen. Hier ändern sich die Oszillationen über der Zeit in Frequenz und Amplitude. Für die Beschreibung von Oszillationen in solchen Systemen braucht man eine grundlegende kompakte Funktion. Im Falle der solaren Variabilität sind die wichtigsten Ereignisse diejenigen, in denen sich vorherrschende Periodizitäten kurzfristig ändern, wie es während eines chaotischen Übergangs geschieht. Dies deutet darauf hin, dass es zur Zeit eines Übergangs zu abrupten Zustandsänderungen an der Grenzschicht kommt. In der Folge sind die Amplituden-Modulationen im Sonnenfleckenzyklus eine Abfolge von „quasi-harmonischen Episoden“. Das sind diejenigen Episoden, in denen die Modulation einer Sonnenfleckenzyklus-Amplitude eine Überlagerung einer Oszillation ist, die hohe Variabilität in den Amplituden bei nahezu konstanten Längen aufweist. Solche Oszillationen nennen wir „quasi – harmonisch“.

Die Amplitudenmodulation des Hale-Zyklus kann in einen Zyklus und zwei quasi-harmonische Zustände aufgeteilt werden. Diese sind der Gleissberg-Zyklus wie in Abschnitt 2 definiert, eine Halbjahrhundert-Oszillation und ihre erste Quasi-harmonische, die zwanzigjährige Oszillation (siehe Abb. 5), welche die zeitlich variablen Periodizitäten jeweils im Unteren Gleissberg- und im Hale-Band enthält. Diese Zustände können verbunden sein mit den bezüglich des Sonnenäquators symmetrischen und antisymmetrischen Teilen eines identischen Phänomens, möglicherweise den torsionalen Oszillationen in der Tachocline-Region. Tatsächlich wurden in helioseismischen Daten solche torsionalen Oszillationen in der Konvektionsschicht beobachtet (siehe Howe, 2009). Wegen der Erhaltung der Masse und des Winkelgeschwindigkeitsmoments müssen sie auch im meridionalen Fluß sichtbar sein (Shibahashi, 2006).

Eine physikalische Interpretation des – variablen – Gleissberg-Zyklus ist noch schwieriger, aber höchstwahrscheinlich ist dieser Zyklus ein Trägheits-Spin-Zyklus, falls sich herausstellen sollte, dass er seine Basis in Oszillationen zwischen dem Spin des inneren Kerns und der konvektiven Hülle hat (wegen der Trägheit der Winkelgeschwindigkeit bei den Referenzkoordinaten).

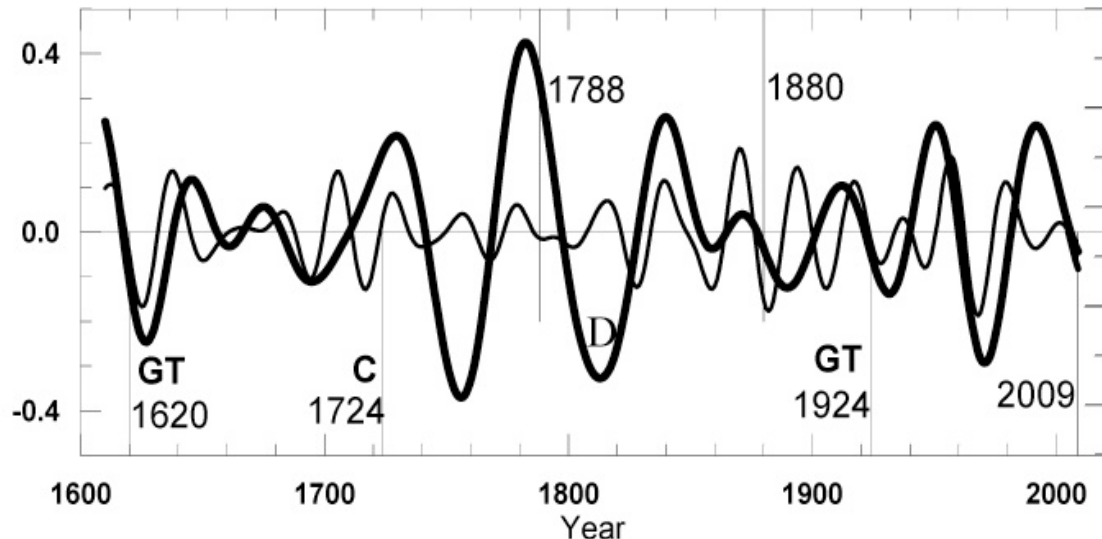


Abbildung 5: Die symmetrischen und antisymmetrischen Anteile der torsionalen Tachocline-Oszillationen, wie sie sich auch in den fünfzigjährigen (dicke Linie) und den zwanzigjährigen Oszillationen (dünne Linie) zeigen. Sie wurden aus den Daten von Abbildung 5a [?] ermittelt [5a gibt es nicht, vermutlich 3a]. In den Jahren 1620, 1788, 1880 und 1924 verlief der Graph des Gleissberg-Zyklus im Phasendiagramm nahe dem Ursprung (Duhau und de Jager, 2008). Beispiele sind in Abbildung 3 gezeigt. Im Jahre 1724 gab es eine plötzliche Abnahme der Amplitude des Gleissberg-Zyklus zu Beginn einer Regulären Episode (vgl. Abb.en 3b und 6a).

In den Jahren 1620 und 1924 verlief der Gleissberg-Zyklus dicht am Ursprung, dies taten die fünfzigjährige und die zwanzigjährige Oszillation beide zusammen auch. Zu diesen Zeitpunkten nahmen Wellenlänge und Amplitude des Gleissberg-Zyklus plötzlich zu, offensichtlich in Verbindung mit den Großen Episoden vom Typ M und H. Im Gegensatz dazu war der fünfzigjährige Zyklus in den Jahren 1788 und 1880 stark und positiv. Zu diesen Zeitpunkten wies der Gleissberg-Zyklus immer noch die geringere Amplitude auf, was für eine Reguläre Episode charakteristisch ist (vgl. Abb. 3b, 5, 6a)

Im Rahmen der von uns vorgeschlagenen Interpretation der drei Zustände des Sonnen-Dynamos schließen wir, dass torsionale Oszillationen die tachocline Konvektionsschicht stabilisieren, was zur Übertragung eines Drehmoments in latitudinaler Richtung von der inneren Umdrehung des Kerns zur Tachocline-Region führt.

Der oben beschriebene Vorschlag führt uns zu der Schlussfolgerung, dass nach einem erfolgten Übergang die Amplitude und die Wellenlänge des Gleissberg-Zyklus stark von der Phase der torsionalen Oszillationen abhängen. Dieser Umstand bestimmt den scheinbar zufälligen Zustand des Sonnen-Dynamos. Jedoch wird der Zustand des Sonnen-Dynamos von einer regelmäßigen Abfolge von drei wohldefinierten quasi-harmonischen Episoden bestimmt, die jeweils durch sehr kurze chaotische Übergangsphasen getrennt sind.

#### 4. Vorhersage der nächsten Großen Episode

Kürzlich haben wir (Duhau und de Jager, 2009) eine Vorhersage der solaren Aktivität während des Schwabe-Zyklus #24 gemacht, der gerade begonnen hat. Wir erwarteten ein spätes (2013.5) und schwaches ( $R_{\max} = 67$ ) Sonnenmaximum. Angesichts dieser bemerkenswert niedrigen solaren Aktivität erhebt sich die Frage nach dem erwarteten längerfristigen Verhalten der Sonnenaktivität. Um diese Frage zu beantworten, benutzen wir das diagnostische Phasendiagramm wie in Abschnitt 2 beschrieben. Zur Verbesserung unserer jüngsten Studie (de Jager und Duhau, 2009) haben wir die verbesserten aa-Daten benutzt, um verbesserte Phasendiagramme des Gleissberg-Zyklus abzuleiten. Das ist in Abb. 4 (links) dargestellt, und beim Vergleich mit früheren Perioden zeigt sie auch ein bemerkenswertes

Verhalten, wie das Diagramm der Abb. 4 zeigt. Sie repräsentiert eine perfekte Korrelation zwischen den langfristigen Komponenten von  $R_{\max}$  und  $a_{\min}$ . Wir sehen, dass der Graph des Gleissberg–Zyklus im Jahre 2009 genau durch den Koordinatenursprung verläuft. In unserer früheren Studie meinten wir noch, dass das nicht der Fall wäre (siehe Abb. 1 in de Jager und Duhau, 2009). Daraus ergab sich die Vorhersage einer Regulären Episode, beginnend mit einem kurzen (fünfzigjährigen) Dalton–artigen Minimum. Die neuen Daten lassen aber ein Großes Minimum erwarten. Bestärkt wird diese Erwartung durch die Tatsache, dass die Graphen sowohl der fünfzigjährigen als auch der zwanzigjährigen Oszillation im Jahre 2009 nahe dem Koordinatenursprung verliefen. Mehr noch, wie während des Übergangs im Jahre 1924, verlief der fünfzigjährige Zyklus exakt durch den gleichen Punkt:  $(-0,045; 0,0)$ , drei Jahre vor dem Zeitpunkt des damit einhergehenden Übergangs (Abb. 6 links).

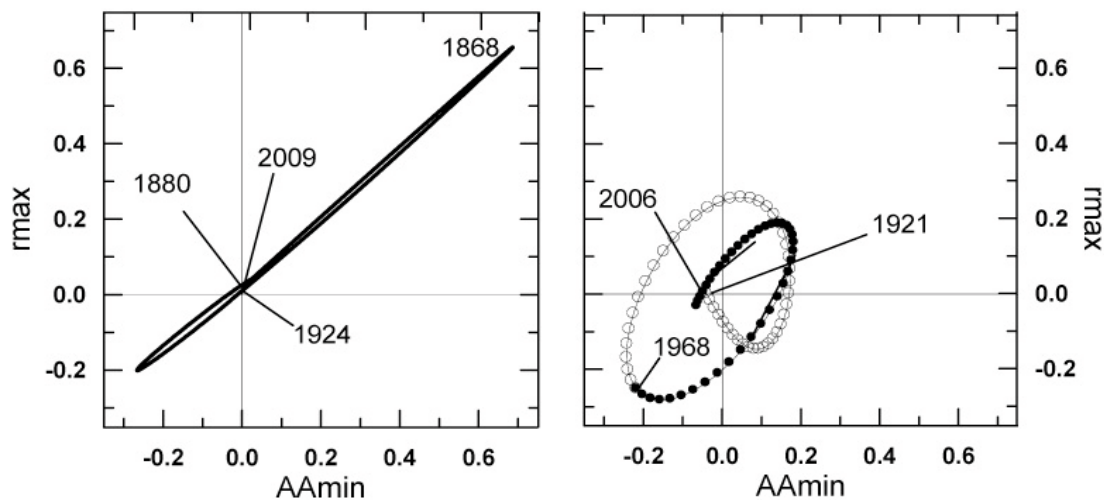


Abbildung 6: Das bemerkenswerte Phasendiagramm des Gleissberg–Zyklus in der Periode 1880 bis 2009 (links) und die fünfzigjährige Oszillation im Zeitraum 1921 bis 2009 (rechts), wie sie sich aus den neuen homogenisierten Zeitreihen des geomagnetischen Index' aac (Lockwood et al., priv.com., 2009) ergeben. Die Werte der Kordinaten des Übergangspunktes wurden von den normalisierten Daten subtrahiert.

Unterstützung für die oben genannten Schlussfolgerungen eines zu erwartenden Großen Minimums findet man in Makarov et al., 2010. Sie zeigten, dass die verbliebenen Breiten der Sonnenfleckebänder allmählich während der letzten Jahrzehnte zur Abnahme tendierten (vgl. Abb. 16 in de Jager und Duhau, 2010). Dieses Phänomen wurde von den Autoren als Indiz dafür gewertet, dass ein Großes Minimum etwa in den Jahren 2020 bis 2030 beginnen könnte. Die gegenwärtige Lage kann mit der um das Jahr 1620 verglichen werden, als dem Maunder–Minimum zunehmend schwächere Schwabe–Zyklen vorangingen (vgl. Abb. 2).

Die Tatsache, dass der symmetrische Anteil der torsionalen Oszillationen, wie in der fünfzigjährigen Oszillation (Abb. 5) sichtbar ist, eine immer noch erkennbare polare Komponente ( $-0,045$  nT) zeigt, verweist auf ein in der Tachocline–Schicht vorhandenes südwärts ausgerichtetes Seed-Feld während dieser Übergänge.

Das Ausmaß des Sonnenfleckensmaximums am Ende eines chaotischen Übergangs hängt ab vom Typ der Episode, die sich danach entwickelt (de Jager und Duhau 2009). Nach dem 2009er Übergang wird eine Typ-M-Episode erwartet anstelle einer vom Typ R. Daher wird die Amplitude des Gleissberg–Zyklus fast dreimal so hoch sein wie ursprünglich angenommen. Daraus folgend erwarten wir, dass das Maximum des Sonnenfleckenzklus #24 eher noch geringer ausfallen dürfte als vorher prognostiziert mit  $R_{\max} = 55$ .

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Dynamo-System [der Sonne] entwickelt sich über drei Arten von quasi-harmonischen Episoden, jeweils unterbrochen von kurzen chaotischen Übergängen. Diese Episoden treten deutlich hervor durch die Überlagerung eines Zyklus mit zwei quasi-harmonischen Zuständen: dem Gleissberg-Zyklus mit der fünfzigjährigen und ihrer ersten quasi-harmonischen, der zwanzigjährigen Oszillationen (Duhau und de Jager, 2008; de Jager und Duhau, 2009). Ein Übergang zu einer Großen (M oder H) Episode erfolgt nur, wenn alle drei Graphen gleichzeitig durch den Nullpunkt verlaufen. Zu einem solchen Zeitpunkt durchläuft die Bewegung der tachoclinen Konvektionsschicht eine Nord-/Süd-Symmetrie. Belegt wird diese Tatsache durch die Beobachtung von Mursula und Zeiger (2001), dass sich das Sonnenmagnetfeld um das Jahr 1930 von einer nordwärts in eine südwärts gerichtete Symmetrie änderte, was zum Endzeitpunkt der Transition von 1924 erfolgte.

Die Sonnenaktivität durchläuft derzeit eine Übergangsperiode (2000 bis 2013). Ein bemerkenswert schwacher Schwabe-Zyklus wird folgen, er hat gerade begonnen. Das wiederum ist Vorbote eines heraufziehenden Großen Minimums von langer Dauer.

Modelle der Transportflüsse im Dynamo (siehe Dikpati und Gilman, 2009) scheinen alle Zutaten für realistische Simulationen der Tätigkeit des Sonnen-Dynamos zu enthalten. Jedoch sagen sie einen starken Zyklus 24 voraus (Dikpati et al., 2006), vergleichbar mit denen des jüngsten Großen Maximums. Die Beobachtungen deuten aber darauf hin, dass diese Episode zu Ende gegangen ist (siehe de Jager und Duhau, 2010). Die Modelle nehmen eine konstante poloidale Quelle in der Konvektionsschicht der Tachocline-Region an. Unsere Ergebnisse zeigen, dass dieses Modell gescheitert ist wegen der Tatsache, dass sich die Bedingungen an der Grenze zur tachoclinen Konvektionsschicht während der Übergänge plötzlich verändern. Diese Möglichkeit ist in den Modellen des Fluß-Transports nicht enthalten.

Diese sich ändernden Grenzschichtbedingungen während eines chaotischen Übergangs sind vermutlich zurückzuführen auf eine plötzliche Richtungsänderung der tachoclinen konvektiven Bewegungen, bezogen auf das im Kern befindliche restliche Feld. Um die Dynamo-schleife auszulösen, brauchen die Modelle zur Berechnung der Flusstransporte tatsächlich ein Seed-Feld in der tachoclinen konvektiven Grenzschicht. Auch scheint ein restliches Feld unabdingbar notwendig zu sein, um das strahlende Innere wie einen festen Körper rotieren zu lassen. Beweise, dass dieses Feld südwärts ausgerichtet ist wurden geliefert, seit Cowling (1945) die Existenz dieses Feldes vermutet hat. (siehe de Jager und Duhau, 2010; vgl. auch Mursula et al., 2001). Das Bestehen einer negativen polaren Feldkomponente zur Zeit des Übergangs, wie hier gefunden, belegt des weiteren diese Ergebnisse.

Eine weitere Studie zu den physikalischen Gegebenheiten, die den Gleissberg-Zyklus anregen, und zu den beobachteten konvektiven torsionalen Oszillationen (siehe Howe, 2009) wäre ein bedeutender Schritt, die Vorhersagemodelle der Sonnenaktivität zu verbessern.



## Literatur

- Cowling, T. G., (1945). On the Sun's General Magnetic Field. *Monthly Not. R. Astron. Soc.*, 105,167.
- de Jager, C., (2005). Solar activity and its Influence on Climate. *Space Sci. Rev.*, 120, 197.
- de Jager, C., Duhau, S., (2009). Forecasting Parameters of Sunspot Cycle 24 and Beyond. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.*, 71, 239, 245.
- de Jager, C. Duhau, S., (2010). The Variable Solar Dynamo and the Forecast of Solar Activity; Influence on Terrestrial Surface Temperatures. In 'Global Warming in the 21th Century', NOVA Science Publishers, Hauppauge, NY., in the press.
- de Jager, C., Duhau, S., van Geel, B., (2010). Quantifying and Specifying the Solar Influence on Terrestrial Surface Temperatures. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.*, in the press.
- Dikpati, M, G. Gilman, (2009). Flux Transport Solar Dynamos. *Space Sci. Rev.*, 144, 67.
- Dikpati, M , Toma, G. Gilman, P. A., (2006). Predicting the Strength of Solar Cycle 24 using Flux-Transport Dynamo-Based Tool. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L05102, doi:10.1029/2005GL025221.
- Duhau, S., (2003). An Early Prediction of Maximum Sunspot Number in Solar cycle 24. *Solar Phys.*, 213, 203.
- Duhau, S., Chen C., (2002). The Sudden Increases of Solar and Geomagnetic activity after 1923 as the Manifestation of a Non-Linear Solar Dynamo. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 6.
- Duhau, S., de Jager, C., (2008). The Solar Dynamo and its Phase Transitions During the last Millennium, *Solar Phys.* 250. 1.
- Hoyt , D. V., Schatten, K. H., (1998). Group Sunspot Numbers: A New Solar Activity Reconstruction. *Solar Phys.* 179, 189.
- Howe, R., (2009). Solar Interior Rotation and its Variations. *Living Rev. in Solar Phys.* 6, 1.
- Lorentz, E., (1993). *The Essence of Chaos.* University of Washington Press, Seattle.
- Mayaud , P. N., (1972). The aa Indices: A 100-year Series Characterizing the Magnetic Activity. *J. Geophys. Res.*, 67, 6870.
- Mursula K and Zieger, B., (2001). Long-Term North-South Asymmetry in Solar Wind Speed: Evidence for a New Type of Century-Scale Solar Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 95.
- Mursula, K., Usoskin, I. G., Kovaltsov, G. A., (2001). Persistence 22-Year Cycle in Sunspot Activity , Evidence for a Relic Solar Magnetic Field. *Solar Phys.*, 198, 51.
- Makarov, V. I., Makarova, V. V., Callebaut, D., (2010). Links Between Polar and Sunspot Activities. Preprint, *Solar Phys.*
- Miyahara, H., et al., (2010). Is the Sun Heading for another Maunder Minimum? Precursors of the Grand Solar Minima. *J. of Cosmology*, 8, in the press
- Nagovitsyn, Yu. A., (2005). To the Description of Long-term Variation of Solar Magnetic Flux; the Sunspot Area. *Astron. Lett.*, 31, 557.
- Nagovitsyn, Yu. A., (2006). Solar and Geomagnetic Activity on a Long Time Scale: Reconstruction and Possibility of Prediction. *Astron. Lett.*, 32, 344.
- Nevanlinna, H., Kataja, E., (1993). An Extension of the Geomagnetic Index Series aa for Two Solar Cycles (1844-1868). *Geophys. Res. Lett.*, 20, 2703.
- Russell, C.T., (1975). On the Possibility of Deducing Interplanetary and Solar Parameters from Geomagnetic Records. *Solar Phys.*, 42, 259.
- Russell, C.T., Mulligan, T., (1995). The 22-Year Variation in Solar Activity, Implications for the Polar Magnetic Field of the Sun. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3287.