



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Solare Variabilität und geomagnetische Indizes“

Verfasserin

Barbara Kaschel Bakk.^a rer. nat.

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 861

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Astronomie

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Arnold Hanslmeier

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich einige der vielen Menschen erwähnen, denen ich aufgrund ihrer Unterstützung zu Dank verpflichtet bin.

Mein Dank gilt in erster Linie meinem Betreuer, Herrn Univ.-Prof. Dr. Arnold Hanslmeier, der durch seine hervorragenden Vorlesungen mein Interesse an der Sonnenphysik und dem Weltraumwetter geweckt hat und mich dazu veranlasste, mich tiefergehend mit dieser Thematik zu beschäftigen. Ich bedanke mich für die zahlreichen Hilfestellungen, die produktive Kritik und die Motivation, die er mir während des gesamten Schreibprozesses zukommen ließ.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Dr. Dominik Utz bedanken, der mir mit wertvollen Ratschlägen und Anregungen weitergeholfen hat und immer ein offenes Ohr für mich hatte. Außerdem möchte ich mich für die konstruktiven Vorschläge im Zuge seines Lektorats bedanken.

Zu guter Letzt danke ich Herrn Dr. Volker Bothmer, der freundlicherweise die in der Arbeit verwendeten Ap-Daten zur Verfügung gestellt hat.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
1.1 Sonnenflecken.....	9
1.1.1 Sonnenfleckenrelativzahl R_z	11
1.2 Solare Flares.....	11
1.3 Coronal Mass Ejections (CMEs).....	13
1.4 Koronale Löcher.....	14
1.5 Co-rotating Interaction Regions (CIRs).....	16
1.6 Magnetosphäre und geomagnetische Indizes.....	16
 2 Daten und Methode.....	 19
2.1 Sonnenflecken.....	19
2.2 Ap-Index.....	19
2.3 Methode.....	19
 3 Ergebnisse und Diskussion.....	 37
3.1 Sonnenfleckendaten.....	37
3.2 Ap-Daten.....	42
3.3 Vergleich Sonnendaten – geomagnetische Indizes.....	46
 4 Zusammenfassung und Conclusio.....	 67
 5 Anhang.....	 69
5.1 Literatur- und Quellenverzeichnis.....	69
5.2 Abstract.....	74
5.3 Lebenslauf.....	75

1 Einleitung

In der vorliegenden Arbeit wurde die solare und geomagnetische Aktivität sowie die zwischen ihnen bestehende Beziehung analysiert. Die Sonnenaktivität manifestiert sich unter anderem in Sonnenflecken, solaren Flares, Coronal Mass Ejections und High Speed Streams, auf die in den nachfolgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Die Sonnenaktivität zeigt kein lineares Verhalten und kann als quasi-chaotisches System betrachtet werden. Dieses kann besonders lang andauernde Minima wie das Maunder-Minimum von 1645 bis 1715 sowie das Dalton-Minimum von 1790 bis 1830 erklären. (*Hanslmeier & Brajsa: 2010*)

Es ist von grundlegendem Interesse, die Variabilität der Sonne zu analysieren, um ihre Auswirkungen auf das Weltraumwetter zu verstehen und in weiterer Folge dieses vorhersagen zu können. Der 11-jährige Sonnenfleckenzyklus und der Gleissbergzyklus üben einen direkten Einfluss auf die globale Temperatur aus, die Untersuchung dieser Zyklen erlaubt daher auch eine bessere Vorhersagbarkeit des irdischen Klimas. (*Friis-Christensen & Lassen: 1991*)

Weiters sind die Auswirkungen der Sonnenaktivität auf das Erdmagnetfeld Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Ziel dieser Forschungstätigkeit ist es, geomagnetische Stürme in Zukunft besser voraussagen zu können, da diese starke Störungen auf Satelliten sowie terrestrische technische Systeme auslösen können. (*Schlegel & Woch: 2005*)

Wie zuvor erwähnt, handelt es sich bei der variablen Sonnenaktivität um ein nichtlineares System. Eine gängige Methode für die Analyse von Zeitreihen in chaotischen Systemen ist die Methode der time delay coordinates. Eine Zeitreihe repräsentiert nicht den mehrdimensionalen Charakter eines dynamischen Systems, daher kann man diesen mithilfe der time delay coordinates offenlegen. Man setzt

zeitverzögerte Werte von $x(n)$ als Koordinaten für den Phasenraum ein: $x(t_0+n\Delta t)=x(n)$. Es werden mehrdimensionale Vektoren verwendet, um die Bewegung in einem nichtlinearen System zu rekonstruieren.

$$y(n)=(x(n), x(n+T), \dots, x(n+(d-1)T))$$

Hierbei ist die Wahl eines geeigneten delays T sowie einer geeigneten Einbettungsdimension ausschlaggebend. (*Kennel et al.:* 1992)

In der vorliegenden Analyse wurde als Indikator für die Sonnenaktivität die Sonnenfleckenzahl R_z verwendet, für die geomagnetische Aktivität der Ap-Index. Um die Periodizität der beiden Zeitreihen herauszufiltern, wurden die Sonnenfleckenzahl- sowie die Ap-Daten mit verschiedenen delays gegen sich selbst aufgetragen. Für die Untersuchung der Korrelation zwischen R_z und Ap-Index wurden die Ap-Daten relativ zu den Sonnendaten um verschiedene timelags verschoben. Es zeigt sich, dass der größte Korrelationskoeffizient gegenwärtig bei einem delay von 2 Jahren (Ap hinter R_z) zu finden ist. Die beiden Zeitreihen sind im Laufe der Zeit außer Phase gekommen, als Grund hierfür wird die Verstärkung des zweiten peaks des aa-Index bzw. Ap-Index seit Anfang des 20. Jahrhunderts angenommen. Dies lässt darauf schließen, dass die von der Sonne ausgehenden High Speed Streams in jüngerer Zeit eine wichtigere Rolle spielen als dies zuvor der Fall war. (*Echer et al.:* 2004)

Die Auswertung der verwendeten Daten weist darauf hin, dass etwa im Jahr 2045 mit einer Erhöhung des delays von zwei auf drei Jahre zu rechnen ist, wobei eine spätere Erhöhung von drei auf vier Jahre nicht zu erwarten ist.

1.1 Sonnenflecken

Sonnenflecken sind magnetische Strukturen, die sich als dunkle Stellen auf der Sonnenoberfläche bemerkbar machen. Sonnenflecken bestehen aus einem dunklen Kern (Umbra), der von einem weniger dunklen Halo (Penumbra) umgeben wird. (Solanki: 2003)

Manche Sonnenflecken sind länger als eine Sonnenrotation beobachtbar. Die Observation dieser Sonnenflecken hat gezeigt, dass die äußeren solaren Schichten differentiell rotieren. Die Temperatur der Photosphäre beträgt ca. 6.000 K, die Umbra ist ca. 4.000 K heiß. Wichtig dabei zu beachten ist das Stefan-Boltzmann-Gesetz, wonach die Strahlung, die ein schwarzer Körper emittiert, proportional zur vierten Potenz seiner Temperatur ist. Demzufolge strahlt die Umbra nur ca. ein Fünftel der Energie ab, die in einem vergleichbaren Bereich in der Photosphäre abgestrahlt wird. Nichtsdestotrotz ist die totale Strahlungsleistung der Sonne umso höher, je mehr Sonnenflecken vorhanden sind, da die geringere Energieemission der Flecken in den fleckenfreien Bereichen der Photosphäre überkompensiert wird. (Hanslmeier: 2002)

Das Vorhandensein einer Penumbra unterscheidet Sonnenflecken von den üblicherweise kleineren Poren. Sonnenflecken treten meist in bipolaren Gruppen auf, wobei der vorauslaufende Fleck auf der nördlichen Hemisphäre eine unterschiedliche Polarität aufweist als jener auf der Südhemisphäre. Diese Polarität kehrt sich alle 11 Jahre um, sodass nach 22 Jahren wieder die Ausgangssituation erreicht wird. (Babcock: 1961) Dieser Zyklus wird Hale-Zyklus genannt. Die heliographische Breite, in denen Sonnenflecken auftreten, variiert mit dem Sonnenfleckenzyklus. Am Anfang eines Zyklus findet man Sonnenflecken in hohen heliographischen Breiten, bis zu 40 Grad nördlich bzw. südlich des Sonnenäquators. Im Laufe eines Zyklus wandern die Flecken immer weiter in Richtung Äquator. Dieses Verhalten ist gut im sogenannten Butterfly-Diagramm (siehe Diagramm 1) erkennbar. (Solanki: 2003)

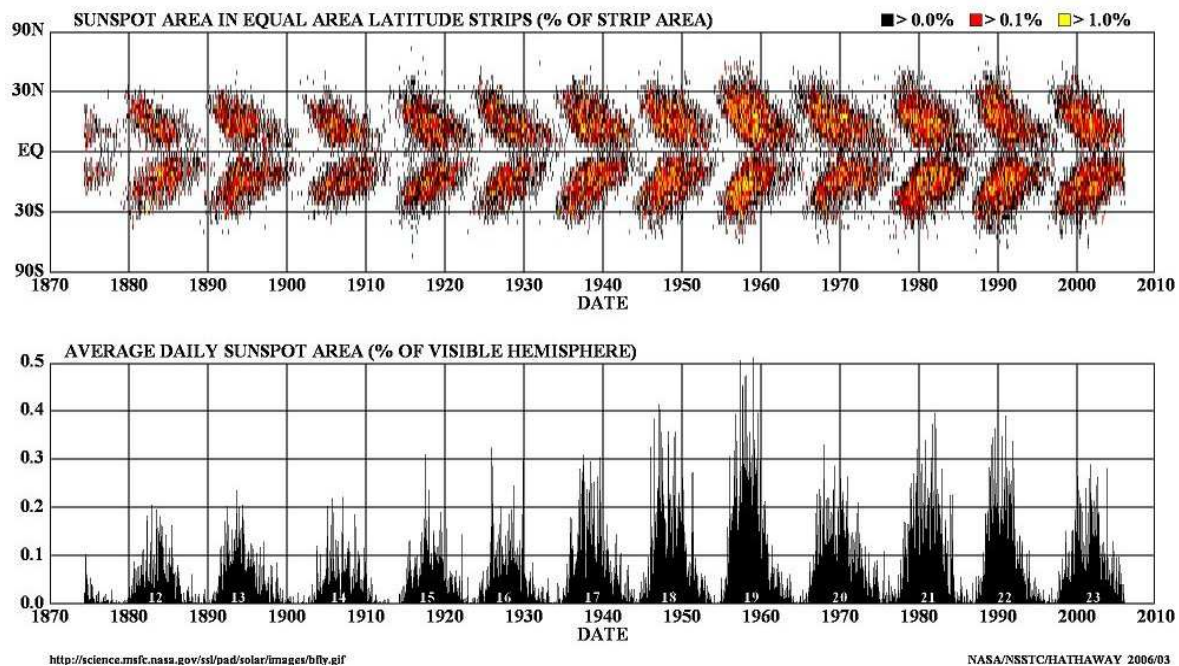


Diagramm 1: Das obere Diagramm zeigt das Butterfly diagram: auf der y-Achse ist die heliographische Breite aufgetragen, auf der x-Achse die Zeit. Das untere Diagramm zeigt die prozentuelle Bedeckung der Photosphäre durch Sonnenflecken. (Quelle: NASA)

Sonnenflecken waren die ersten astronomischen Objekte, bei denen erkannt wurde, dass sie ein magnetisches Feld beherbergen. Das Magnetfeld behindert den konvektiven Wärmetransport nach außen und verursacht so die dunklen Flecken. (*Hale et al.*: 1919) Die magnetische Feldstärke B kann am einfachsten mithilfe des Zeemann-Effekts gemessen werden. Dieser bezeichnet das Phänomen, dass Spektrallinien im Bereich von starken magnetischen Feldern aufgespalten werden. Die magnetische Feldstärke B erreicht in der Umbra Maximalwerte von 2.000 bis 3.700 Gauss. Mit zunehmendem Radius fällt die Feldstärke stetig ab und erreicht am Rand des sichtbaren Sonnenflecks etwa 700 bis 1000 Gauss. (*Solanki*: 2003)

1.1.1 Sonnenfleckenzahl R_z

Die Sonnenfleckenzahl R_z wurde im Jahr 1848 definiert:

$$R_z = k(10g + f)$$

Die Variable g gibt die Anzahl der Sonnenfleckengruppen an und f die Anzahl der Einzelflecken. k stellt einen Korrekturfaktor dar, der die unterschiedlichen Gegebenheiten des jeweiligen Observatoriums berücksichtigt. Heute tragen weltweit die Messungen von mehr als 30 Observatorien zur Bestimmung dieses Wertes bei. (*Hanslmeier*: 2002)

1.2 Solare Flares

Unter einem solaren Flare versteht man einen nur wenige Minuten andauernden, sehr hellen Lichtblitz in einem eng begrenzten Bereich auf der Sonne. Entstehungsort der Flares ist die zwischen Photosphäre und Corona liegende Chromosphäre. (*Schwenn & Schlegel*: 2001) Der erste Flare-Ausbruch wurde 1859 von Richard Carrington beobachtet. Etwa 20 Stunden wurde ein starker magnetischer Sturm registriert und Carrington schloss folgerichtig auf einen Zusammenhang zwischen solaren Phänomenen und Veränderungen im Erdmagnetfeld. (*Svestka & Cliver*: 1992)

Die meisten solaren Flares sind in der $H\alpha$ -Linie beobachtbar. Bei einem Flare werden gewaltige Energiemengen freigesetzt, typischerweise in der Größenordnung von 10^{25} J innerhalb einer halben Stunde. (*Kopp et al.*: 2005) Flares üben einen Einfluss auf das gesamte elektromagnetische Spektrum aus. Sie erzeugen Röntgen- und UV-Strahlung, die auf sehr hohe Temperaturen während eines Flare-Ausbruchs hinweisen. (*Hanslmeier*: 2002)

Die Intensitäten der Röntgenstrahlung sowie der hochenergetischen Protonen und Elektronen werden durch Flares oft um mehr als das 1.000-fache erhöht, teilweise wird sogar Gamma-Strahlung freigesetzt. (*Schwenn & Schlegel: 2001*)

Die auf sehr hohe Energien beschleunigten Teilchen kommen – trotz teilweise erheblicher Umwege aufgrund des interplanetaren Magnetfelds – nur etwa 10 bis 30 Minuten nach einem Flare-Event auf der Erde an. (*McKenna-Lawlor et al.: 2008*) Besonders starke Ausbrüche beobachtet man in der Zeit vor und nach den solaren Aktivitätsmaxima. (*Schwenn & Schlegel: 2001*)

Magnetische Stürme werden auf der Erde oft etwa 36 Stunden nach den Flare-Ausbrüchen gemessen. (*Paulikas & Blake: 1979*) Der Grund hierfür liegt im verstärkten Sonnenwind, der eine Kompression der Magnetosphäre sowie eine Erhöhung des Magnetfelds nahe der Erdoberfläche hervorruft. Flares finden in jenen Gebieten auf der Sonne statt, in denen sich die Richtung des lokalen Magnetfelds schlagartig ändert. Die plötzlichen Energieausbrüche durch Flares sind noch nicht vollständig geklärt. Man nimmt an, dass die Ursache in magnetischen Rekonnexionsprozessen liegt. (*Hanslmeier: 2002*)

Bild 1 zeigt am linken Horizont einen solaren Flare, aufgenommen am 12. Februar 2010 mit dem NASA Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO). Kurz nach diesem Flare-Event kam es zum Ausbruch eines weiteren explosiven Phänomens auf der Sonne, nämlich einer sogenannten Coronal Mass Ejection (CME), die im nächsten Kapitel behandelt wird.

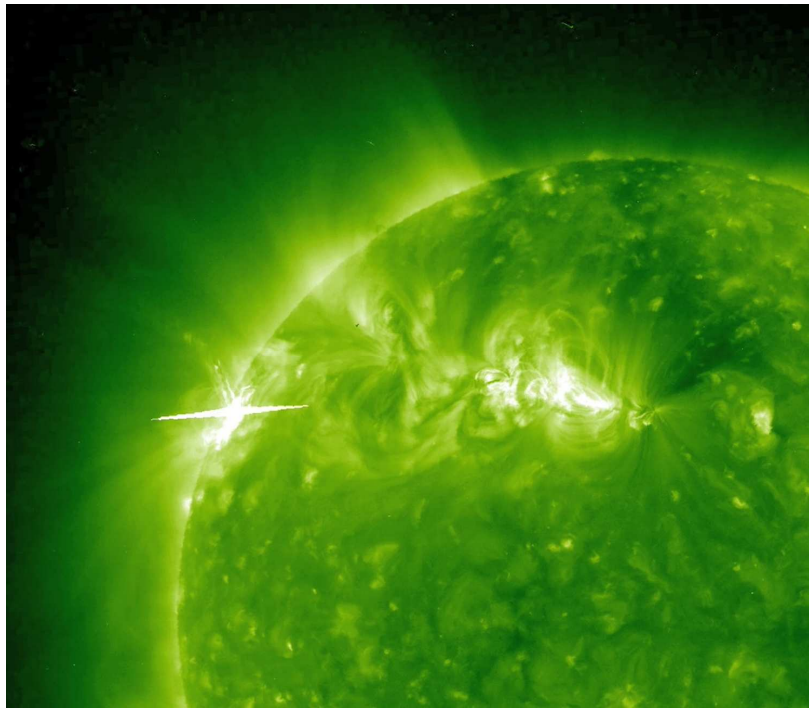


Bild 1: solarer Flare, aufgenommen am 12. Februar 2010 mit STEREO
(Quelle: NASA)

1.3 Coronal Mass Ejections (CMEs)

Bei den Coronal Mass Ejections handelt es sich wie bei den Flares um ein magnetisches Phänomen. Dabei werden riesige Plasmawolken mit großen Geschwindigkeiten aus der Korona ausgestoßen (siehe Bild 2). CMEs wurden erst 1971 entdeckt, da man sie nur mithilfe eines Koronographen beobachten kann. (Schwenn & Schlegel: 2001)

Zunächst wurde angenommen, dass CMEs durch große Flares verursacht werden. Weitere Beobachtungen haben aber gezeigt, dass Flares nicht notwendig sind, um CMEs zu erzeugen. (Kahler: 1992)

Während sich CMEs durch das interplanetare Medium bewegen, kommt es zu Interaktionen mit dem Sonnenwind. Durch diese wird das interplanetare Magnetfeld (IMF) stark verbogen. Falls dabei eine südwärts gerichtete Feldkomponente entsteht, kommt es an der Frontseite der Magnetosphäre zur

magnetischen Rekonnexion mit den nordwärts gerichteten Magnetfeldlinien des Erdmagnetfelds und geladene Teilchen können von außen in die Magnetosphäre eindringen. (Schwenn & Schlegel: 2001) Der Massenverlust der Sonne pro CME befindet sich in der Größenordnung von 10^{15} bis 10^{16} g. (Low: 2001)

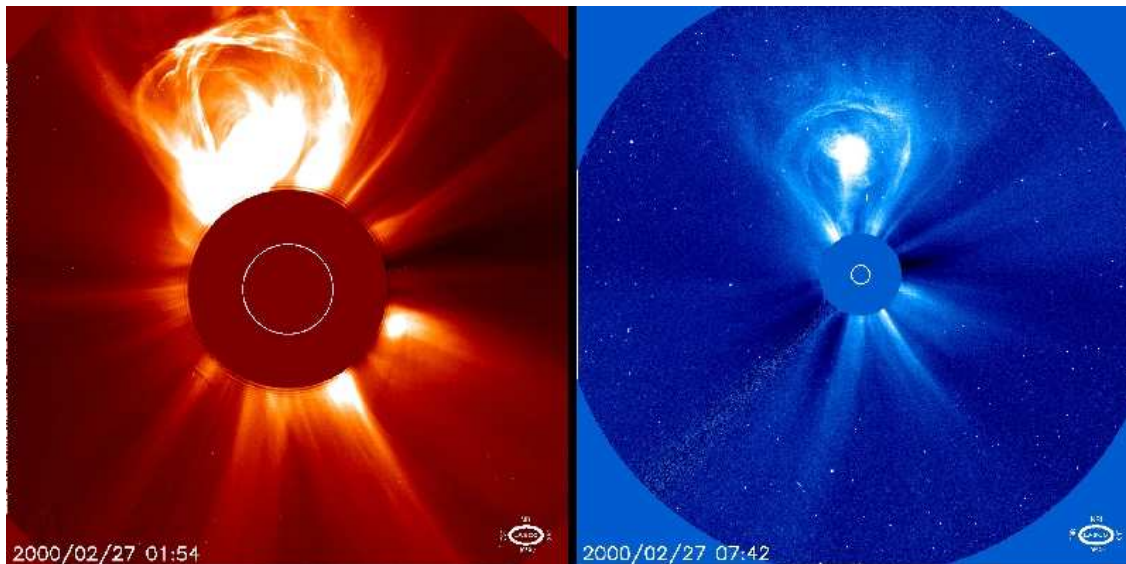


Bild 2: coronal mass ejection, aufgenommen am 27. Februar 2000 mit dem SOHO-Satelliten.
Links: LASCO C2, rechts: LASCO C3 (Quelle: SOHO ESA & NASA)

1.4 Koronale Löcher

Koronale Löcher sind Regionen auf der Sonne, die eine niedrige Plasmadichte und –temperatur aufweisen. Sie sind im extremen Ultraviolett- sowie Röntgenbereich als dunkle Stellen zu beobachten. Koronale Löcher sind durch eine offene Magnetfeldstruktur charakterisiert. (Cranmer: 2001) Ionisierte Atome und Elektronen können entlang der offenen Magnetfeldlinien in den interplanetaren Raum entweichen und bilden so die Hochgeschwindigkeitskomponente des Sonnenwindes, die High Speed Streams (HSSs). (Krieger *et al.*: 1973) In Zeiten geringer Sonnenaktivität findet man koronale Löcher vorwiegend in den Polregionen, bei hoher Aktivität werden sie in allen Breitengraden beobachtet. (Cranmer: 2001)

Koronale Löcher sind während der abfallenden Phase des Sonnenfleckenzyklus der vorherrschende Einflussfaktor für die geomagnetische Aktivität. (*Tsurutani et al.*: 2006)

Auf Bild 3 sind deutlich koronale Löcher erkennbar, es wurde 2009 mit dem SOHO Extreme ultraviolet Imaging Telescope (EIT) aufgenommen.

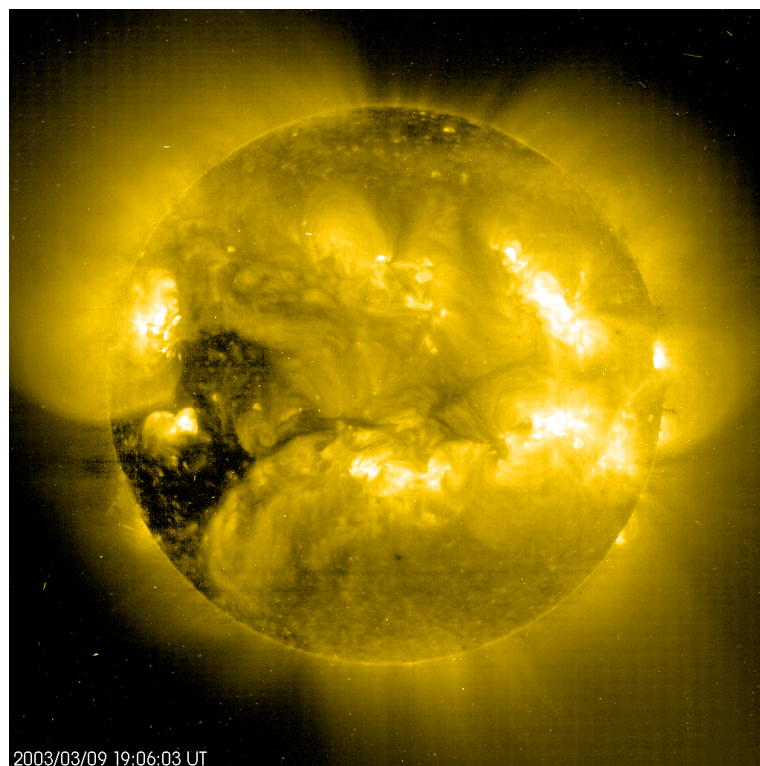


Bild 3: Koronale Löcher, aufgenommen am 09. März 2009 mit dem SOHO EIT.
(Quelle: SOHO ESA & NASA)

1.5 Co-rotating Interaction Regions (CIRs)

Die von den koronalen Löchern ausströmenden HSSs besitzen eine relative Geschwindigkeit zum umgebenden Medium von ca. 750 bis 800 km/s. (*Tanskanen et al.*: 2005) Sobald Low Speed Streams, die eine Geschwindigkeit von 300 bis 400 km/s aufweisen, von HSSs eingeholt werden, kommt es an den Grenzflächen zu einer Kompression des Magnetfelds sowie des Plasmas. (*Sheeley et al.*: 2008) Diese Bereiche, in denen die beiden Geschwindigkeitskomponenten des Sonnenwinds interagieren und in denen ein starkes Magnetfeld vorherrscht, werden Co-rotating Interaction Regions (CIRs) genannt. Beim Auftreffen der CIRs auf die Magnetosphäre der Erde können magnetische Stürme auftreten, deren Intensität jedoch typischerweise nur schwach bis moderat ist. (*Tsurutani et al.*: 2006)

1.6 Magnetosphäre und geomagnetische Indizes

Die Magnetosphäre der Erde entsteht durch Wechselwirkung des Sonnenwinds mit dem Erdmagnetfeld. Der Sonnenwind drückt die Feldlinien des Erdmagnetfelds auf der sonnenzugewandten Seite zusammen, auf der sonnenabgewandten Seite werden die Feldlinien zu einem langen Schweif nach hinten gezogen (siehe Bild 4). Vor der Magnetosphäre entsteht eine Bugstoßwelle, dabei erfährt der Sonnenwind eine Abbremsung von Überschall- auf Unterschallgeschwindigkeit.

Die Grenze zwischen Magnetosphäre und interplanetarem Raum wird Magnetopause genannt. Ein wichtiges Stromsystem der Magnetosphäre befindet sich im Bereich der Strahlungsgürtel, die die Erde in der Äquatorebene wie ein Ring umgeben und daher als Ringstrom bezeichnet wird. Der innere Strahlungsgürtel liegt 8.000 bis 16.000 km vom Erdmittelpunkt entfernt, der äußere Strahlungsgürtel 20.000 bis 50.000 km. Innerhalb der Strahlungsgürtel pendeln die geladenen Teilchen entlang der Magnetfeldlinien ständig zwischen Nord- und Südhalbkugel hin und her. Zusätzlich bewegen sie sich kreisförmig um

die Erde herum, die Elektronen ostwärts, die Protonen westwärts. (Schlegel & Woch: 2005)

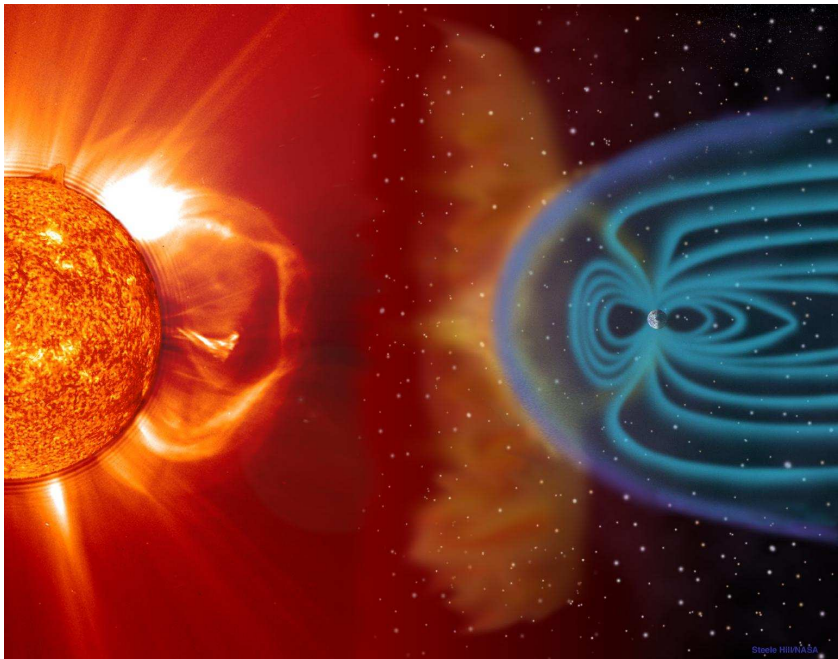


Bild 4: Die Feldlinien des Erdmagnetfelds werden durch den Sonnenwind auf der sonnenzugewandten Seite zusammengedrückt, auf der sonnenabgewandten Seite nach hinten gezogen. (Quelle: SOHO ESA & NASA)

Julius Bartels führte 1949 den Kp-Index zur Kennzeichnung der geomagnetischen Aktivität ein. Die Kp-Werte reichen von 0 (extrem ruhig) bis 9 (extrem gestört). (Schlegel & Woch: 2005) Da es sich bei Kp um einen quasi-logarithmischen Index handelt, wurde von Bartels außerdem der lineare ap-Index eingeführt. Tabelle 1 zeigt die Umrechnung von Kp- auf ap-Index. (GFZ Helmholtz Centre Potsdam)

Kp	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8o	8+	9-	9o
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

Tabelle 1: Transformation zwischen Kp- und ap-Index
(Quelle: GFZ Helmholtz Centre Potsdam)

Magnetische Stürme verstärken die Ringströme, es kommt zu einer Veränderung des Magnetfelds, die dem normalen Erdmagnetfeld entgegengesetzt ist. Dadurch beobachtet man eine Verminderung des am Boden gemessenen Magnetfelds. Aus dieser Magnetfeldreduzierung wird der Dst-Index gewonnen. Magnetische Stürme können starke Störungen auf technische Systeme ausüben, sowohl auf der Erde als auch im erdnahen Weltraum (Satelliten, Kommunikation, Navigation) und beeinflussen außerdem das irdische Klima. (Schlegel & Woch: 2005) Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die in der vorliegenden Arbeit verwendeten wichtigsten geomagnetischen Indizes.

Index	Method of derivation	Time interval
K was developed to differentiate between regular and irregular geomagnetic variations and it is representative of a single station.	K is derived from the amplitude range of the most disturbed of two magnetic elements (H, D) in a three-hour interval. Regular daily variations due to solar-quiet-day (S_R), Lunar (L) and post-perturbation effects are to be eliminated for calculating the amplitude ranges. Numerical values are assigned to the amplitude ranges, numbers varying between 0 and 9 on the basis of quasi-logarithmic scale.	Three-hour (UT)
Kp was introduced to give a planetary index. It is obtained by averaging the K indices from 13 observatories (8 at the beginning).	Kp is derived by averaging the Ks indices of the contributing observatories. The Ks index, based on a standardisation procedure, was introduced to eliminate the effects of the diurnal variation and the seasonal and latitudinal dependence of K.	Three-hour (UT)
Ap (nT) was introduced to obtain a linear index from Kp.	Ap is derived from the arithmetic mean of the 8 values of the ap index. A standard conversion table is used for calculating the linear three-hour ap values from Kp. The scale of ap ranges between 0,400 and each unit is approximately equivalent to a flux density change of 2 nT.	Daily (UT)
aa is similar to the ap index but it is based on 2 geomagnetic stations.	The aa index is derived using the scaling K values made on the records from 2 antipodal stations (at the beginning, Greenwich and Melbourne). Firstly, the K values from these 2 stations are standardised for the corrected magnetic latitude of 50°, then the K values are converted in equivalent amplitudes that are averaged to obtain the three-hourly index aa.	Three-hour (UT)

Tabelle 2: Übersicht geomagnetische Indizes übernommen von Perrone, L., De Franceschi, G.:

1998

2 Daten und Methode

2.1 Sonnenflecken

Die in der Arbeit verwendeten Sonnenfleckendaten stammen vom Solar Influences Data analysis Center (SIDC) in Belgien. Auf deren Website¹ sind unter anderem folgende Daten verfügbar:

- tägliche Sonnenfleckenanzahl seit 1818
- monatliche sowie monatliche, geglättete Sonnenfleckenanzahl seit 1749
- jährliche Sonnenfleckenanzahl seit 1700

2.2 Ap-Index

Die Ap-Daten umfassen die Periode von 1845 bis 2009 und wurden von Herrn Dr. Volker Bothmer zur Verfügung gestellt. Es handelt sich hierbei um die monatlichen Durchschnittswerte, woraus die jährlichen Mittel berechnet wurden. Die Rohdaten sowie die erwähnten Berechnungen sind im Anschluss an Kapitel 2 in Tabelle 3 aufgelistet.

2.3 Methode

Mithilfe des Programms IDL wurden die Daten analysiert und visualisiert. Die Datensets wurden zunächst einzeln gegen sich selbst mit verschiedenen delays aufgetragen, um zu überprüfen, ob bzw. welche Strukturen sich herauskristallisieren. Dadurch können Rückschlüsse auf die Periodizität der Zeitreihen gezogen werden.

¹ <http://sidc.oma.be/>

Die Korrelation zwischen den beiden Datensets wurde ermittelt, indem diese vorerst ohne Zeitverzögerung gegeneinander aufgetragen wurden. Um zu überprüfen, inwieweit die Maxima der Zeitreihen gegeneinander verschoben sind, wurden zunächst die jährlichen Durchschnittswerte mit verschiedenen delays geplottet. Anschließend wurden im in Frage kommenden Zeitfenster die monatlichen Mittel geplottet und die Korrelationen berechnet, um eine feinere Auflösung zu erhalten und somit eine genauere Aussage über den delay machen zu können.

Durch die Analyse der zeitlichen Entwicklung der berechneten Korrelationskoeffizienten konnten die Trends der Korrelation bei verschiedenen timelags ermittelt werden. Außerdem wurde durch Extrapolation der Trends eine Prognose für die weitere Entwicklung des zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten existierenden delays erstellt.

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1844	7	7.704859897	1848	9	9.050692113	1852	11	16.87976677
1844	8	10.12408335	1848	10	23.08632023	1852	12	22.1498673
1844	9	14.48673024	1848	11	23.99814616	1853	1	15.64476713
1844	10	15.37938484	1848	12	13.50419595	1853	2	15.43828185
1844	11	14.47218409	1849	1	12.71956277	1853	3	20.72064305
1844	12	15.40882784	1849	2	16.87976677	1853	4	16.32695951
1845	1	15.01228154	1849	3	11.42819009	1853	5	16.73000487
1845	2	13.26069428	1849	4	11.95829969	1853	6	14.9390698
1845	3	13.17496011	1849	5	9.59786721	1853	7	13.10359821
1845	4	11.24792468	1849	6	9.961586734	1853	8	9.09051519
1845	5	7.270166471	1849	7	10.40968105	1853	9	16.08903005
1845	6	5.319317962	1849	8	11.83232352	1853	10	12.28141683
1845	7	6.230508558	1849	9	15.27642122	1853	11	10.57357337
1845	8	12.66285943	1849	10	18.19353388	1853	12	16.13358973
1845	9	14.12393842	1849	11	16.13358973	1854	1	20.03636828
1845	10	8.1834174	1849	12	9.975108446	1854	2	26.80680434
1845	11	9.370228073	1850	1	10.02923113	1854	3	22.24475216
1845	12	8.509915469	1850	2	12.16883727	1854	4	16.65522201
1846	1	9.410321892	1850	3	10.94414658	1854	5	12.28141683
1846	2	7.988728546	1850	4	11.60901349	1854	6	7.627791854
1846	3	11.04062659	1850	5	10.25988839	1854	7	9.772661029
1846	4	13.92156554	1850	6	11.67870839	1854	8	9.705359636
1846	5	14.23983579	1850	7	13.41815526	1854	9	11.56723576
1846	6	13.04656337	1850	8	10.97169539	1854	10	11.12345527
1846	7	16.20790937	1850	9	13.38949897	1854	11	7.130597969
1846	8	20.17596715	1850	10	17.01477515	1854	12	9.530803675
1846	9	18.71212486	1850	11	9.263475397	1855	1	9.03742536
1846	10	17.04480556	1850	12	8.092448501	1855	2	15.5709608
1846	11	11.83232352	1851	1	9.316821825	1855	3	14.51583112
1846	12	8.118419306	1851	2	13.60471243	1855	4	12.40831052
1847	1	8.352884613	1851	3	10.19194162	1855	5	11.60901349
1847	2	13.04656337	1851	4	10.9028488	1855	6	9.611290944
1847	3	11.60901349	1851	5	10.72424602	1855	7	10.97169539
1847	4	14.29785384	1851	6	9.130372424	1855	8	8.733348229
1847	5	9.826567531	1851	7	11.38654066	1855	9	11.06822269
1847	6	8.300668539	1851	8	10.75168577	1855	10	11.06822269
1847	7	9.880531947	1851	9	23.16602761	1855	11	9.732269273
1847	8	10.53255338	1851	10	18.31529839	1855	12	5.972556248
1847	9	18.1631176	1851	11	9.921043147	1856	1	5.535413614
1847	10	20.22254219	1851	12	21.61369324	1856	2	8.209444986
1847	11	22.3555513	1852	1	18.37624015	1856	3	7.206660647
1847	12	25.12725962	1852	2	39.19683993	1856	4	5.777469002
1848	1	20.65825102	1852	3	23.66140727	1856	5	5.093066637
1848	2	25.45171512	1852	4	25.98883715	1856	6	6.181210728
1848	3	17.31554377	1852	5	15.68908367	1856	7	7.130597969
1848	4	17.40597483	1852	6	13.7341616	1856	8	8.418244584
1848	5	15.65953659	1852	7	17.33060922	1856	9	9.745729555
1848	6	9.050692113	1852	8	14.22533849	1856	10	9.423693935
1848	7	13.01806421	1852	9	15.99998312	1856	11	8.57551327
1848	8	12.02839897	1852	10	16.3716472	1856	12	7.435788925

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1857	1	6.230508558	1861	3	16.43126791	1865	5	10.00216263
1857	2	11.1925715	1861	4	15.01228154	1865	6	13.77736453
1857	3	11.16491496	1861	5	11.24792468	1865	7	13.47550377
1857	4	10.82034505	1861	6	10.24629197	1865	8	24.77130305
1857	5	7.627791854	1861	7	12.39419863	1865	9	19.52613761
1857	6	4.414698321	1861	8	16.7449693	1865	10	30.17729186
1857	7	7.885271361	1861	9	17.01477515	1865	11	25.25694407
1857	8	7.155934646	1861	10	14.0082268	1865	12	8.170409673
1857	9	14.5740671	1861	11	10.57357337	1866	1	12.53545858
1857	10	8.222464839	1861	12	13.34653702	1866	2	26.23370601
1857	11	14.37044121	1862	1	10.01569509	1866	3	17.57200384
1857	12	11.30333121	1862	2	11.91627864	1866	4	15.39410496
1858	1	9.894032077	1862	3	9.477219204	1866	5	10.46425615
1858	2	13.63345818	1862	4	12.62036449	1866	6	7.602136244
1858	3	21.67663888	1862	5	11.56723576	1866	7	9.691910285
1858	4	18.36100099	1862	6	10.65570676	1866	8	14.10946429
1858	5	9.571030759	1862	7	17.73834031	1866	9	20.00537209
1858	6	14.89517639	1862	8	19.07989405	1866	10	25.8910156
1858	7	13.84942832	1862	9	20.409052	1866	11	20.16044681
1858	8	12.79051153	1862	10	25.54921024	1866	12	10.84783268
1858	9	16.02965468	1862	11	21.66089911	1867	1	8.496807746
1858	10	17.93531375	1862	12	20.3002139	1867	2	14.0082268
1858	11	9.557618049	1863	1	28.12573234	1867	3	16.1930401
1858	12	13.90713223	1863	2	23.24578867	1867	4	9.624718348
1859	1	8.431328524	1863	3	14.98298844	1867	5	10.42331959
1859	2	14.4576408	1863	4	16.059337	1867	6	8.997647967
1859	3	16.20790937	1863	5	12.25325293	1867	7	9.383588958
1859	4	20.36239316	1863	6	13.6478355	1867	8	10.43696162
1859	5	13.26069428	1863	7	15.54145741	1867	9	24.57756494
1859	6	10.23269908	1863	8	14.25433598	1867	10	17.78375793
1859	7	11.98632978	1863	9	18.620402	1867	11	9.894032077
1859	8	18.1631176	1863	10	18.1631176	1867	12	6.181210728
1859	9	29.82503497	1863	11	17.96565507	1868	1	7.397503663
1859	10	20.19148983	1863	12	18.02636778	1868	2	12.08453601
1859	11	13.33222237	1864	1	12.40831052	1868	3	15.36466747
1859	12	18.69683159	1864	2	11.05442296	1868	4	16.58050477
1860	1	9.584447147	1864	3	16.44617971	1868	5	12.33778252
1860	2	12.14072412	1864	4	17.21015755	1868	6	13.92156554
1860	3	22.33971626	1864	5	17.99600641	1868	7	17.18007034
1860	4	15.0855632	1864	6	13.04656337	1868	8	15.07090129
1860	5	14.37044121	1864	7	15.45301298	1868	9	19.52613761
1860	6	11.72056446	1864	8	18.08712052	1868	10	21.25245327
1860	7	21.99190252	1864	9	20.00537209	1868	11	9.691910285
1860	8	23.48539284	1864	10	20.56473207	1868	12	10.05631393
1860	9	17.14999343	1864	11	16.49093097	1869	1	15.02693229
1860	10	11.1925715	1864	12	22.56160618	1869	2	19.1413247
1860	11	10.60093735	1865	1	26.52813972	1869	3	17.93531375
1860	12	12.79051153	1865	2	24.25533168	1869	4	24.78746131
1861	1	16.68512729	1865	3	18.36100099	1869	5	18.36100099
1861	2	15.20295875	1865	4	12.21103083	1869	6	14.99763359

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1869	7	13.38949897	1873	9	15.12956567	1877	11	8.209444986
1869	8	15.52670981	1873	10	12.62036449	1877	12	4.345623779
1869	9	25.03008209	1873	11	10.88908967	1878	1	4.798346595
1869	10	13.83500968	1873	12	8.66751525	1878	2	4.904049273
1869	11	10.93037726	1874	1	13.57597856	1878	3	3.935748146
1869	12	10.79287108	1874	2	12.0143727	1878	4	5.71676558
1870	1	17.04480556	1874	3	9.156962845	1878	5	4.739818489
1870	2	18.620402	1874	4	14.74904795	1878	6	5.680403875
1870	3	16.93974452	1874	5	10.27348833	1878	7	2.905592176
1870	4	21.23677425	1874	6	9.236824682	1878	8	4.105562982
1870	5	16.50585335	1874	7	9.477219204	1878	9	5.211906546
1870	6	12.40831052	1874	8	9.423693935	1878	10	4.368624937
1870	7	10.45060714	1874	9	11.73452299	1878	11	4.565084717
1870	8	17.02978906	1874	10	13.48984837	1878	12	6.341707543
1870	9	30.27808502	1874	11	10.57357337	1879	1	3.969598568
1870	10	21.15841315	1874	12	7.042058443	1879	2	3.655901484
1870	11	17.45122488	1875	1	7.004179337	1879	3	5.801785423
1870	12	15.52670981	1875	2	9.705359636	1879	4	3.445970754
1871	1	15.07090129	1875	3	9.170263725	1879	5	3.935748146
1871	2	19.97438529	1875	4	9.11708289	1879	6	3.722695048
1871	3	16.89475731	1875	5	9.383588958	1879	7	3.622593743
1871	4	26.47902282	1875	6	6.978948832	1879	8	5.343245201
1871	5	13.23210414	1875	7	8.418244584	1879	9	6.00927555
1871	6	12.96110251	1875	8	5.874854206	1879	10	4.507127267
1871	7	17.10489741	1875	9	9.530803675	1879	11	4.669771031
1871	8	18.97248351	1875	10	8.470604167	1879	12	6.279882812
1871	9	13.66221579	1875	11	6.690089645	1880	1	4.774918495
1871	10	15.83698217	1875	12	5.704639969	1880	2	2.820843118
1871	11	23.30963609	1876	1	6.727631044	1880	3	6.765213469
1871	12	11.93028244	1876	2	8.944664926	1880	4	6.033779509
1872	1	12.98957725	1876	3	7.679153715	1880	5	9.410321892
1872	2	22.95890039	1876	4	4.151082383	1880	6	4.693097503
1872	3	18.68154078	1876	5	4.96296677	1880	7	6.85306456
1872	4	18.80393575	1876	6	5.116791661	1880	8	18.30006914
1872	5	16.14844831	1876	7	6.242844971	1880	9	7.924036879
1872	6	13.54725659	1876	8	7.029427635	1880	10	10.54622324
1872	7	20.48686311	1876	9	6.991561858	1880	11	10.65570676
1872	8	20.44016949	1876	10	7.282880699	1880	12	10.88908967
1872	9	16.32695951	1876	11	7.016801264	1881	1	11.13727182
1872	10	33.45174779	1876	12	6.915950665	1881	2	9.303479601
1872	11	20.51800376	1877	1	6.329333124	1881	3	9.557618049
1872	12	16.28229574	1877	2	6.60265338	1881	4	8.066493991
1873	1	24.83594846	1877	3	7.257456591	1881	5	5.728896223
1873	2	16.3865484	1877	4	6.046038797	1881	6	7.474112789
1873	3	19.40283457	1877	5	9.396953565	1881	7	8.786084635
1873	4	16.50585335	1877	6	6.070571962	1881	8	5.152419565
1873	5	16.53570601	1877	7	5.164306267	1881	9	13.50419595
1873	6	21.31519196	1877	8	4.951172267	1881	10	10.3279233
1873	7	16.297181	1877	9	4.798346595	1881	11	15.88140458
1873	8	14.66150646	1877	10	4.483984944	1881	12	16.1781735

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1882	1	11.87428656	1886	3	22.720361	1890	5	5.692519399
1882	2	15.20295875	1886	4	17.14999343	1890	6	4.763212865
1882	3	12.49304772	1886	5	18.23917695	1890	7	6.85306456
1882	4	30.64822087	1886	6	17.27036284	1890	8	7.168609572
1882	5	16.28229574	1886	7	15.11489539	1890	9	10.23269908
1882	6	14.8074655	1886	8	13.96488302	1890	10	11.79038956
1882	7	10.65570676	1886	9	14.70526446	1890	11	9.705359636
1882	8	15.45301298	1886	10	17.24025505	1890	12	5.559527641
1882	9	11.23408138	1886	11	16.297181	1891	1	7.193972577
1882	10	20.37794378	1886	12	16.43126791	1891	2	10.49156461
1882	11	50.29089037	1887	1	12.93264001	1891	3	16.28229574
1882	12	15.82218011	1887	2	18.52876745	1891	4	18.07192858
1883	1	11.55331641	1887	3	11.33105442	1891	5	19.06454243
1883	2	22.02347777	1887	4	16.3716472	1891	6	8.392088638
1883	3	18.8345589	1887	5	13.34653702	1891	7	7.924036879
1883	4	13.53290006	1887	6	9.103797144	1891	8	11.20640479
1883	5	10.23269908	1887	7	8.98439647	1891	9	17.87466123
1883	6	14.35591799	1887	8	13.06081751	1891	10	16.43126791
1883	7	17.08987057	1887	9	14.63234864	1891	11	12.50718155
1883	8	8.971148795	1887	10	10.2870918	1891	12	12.2251017
1883	9	15.02693229	1887	11	10.72424602	1892	1	15.27642122
1883	10	9.907535811	1887	12	11.37266413	1892	2	30.24448
1883	11	13.26069428	1888	1	13.99377595	1892	3	31.62821851
1883	12	8.56238583	1888	2	11.98632978	1892	4	15.83698217
1884	1	6.193528	1888	3	11.28947459	1892	5	20.25360388
1884	2	10.50522405	1888	4	12.33778252	1892	6	13.37517532
1884	3	13.37517532	1888	5	15.01228154	1892	7	28.72325577
1884	4	11.70660918	1888	6	10.73796418	1892	8	17.40597483
1884	5	9.22350496	1888	7	9.343517484	1892	9	15.9258513
1884	6	9.504004052	1888	8	9.907535811	1892	10	18.63568302
1884	7	11.55331641	1888	9	11.27562129	1892	11	11.77641805
1884	8	9.370228073	1888	10	11.15109171	1892	12	17.72320615
1884	9	9.759193475	1888	11	11.44207984	1893	1	14.12393842
1884	10	11.97231313	1888	12	10.34154083	1893	2	14.8366912
1884	11	12.76212276	1889	1	6.752681444	1893	3	14.13841545
1884	12	9.59786721	1889	2	7.743450638	1893	4	10.36878641
1885	1	9.557618049	1889	3	10.23269908	1893	5	8.66751525
1885	2	11.53940033	1889	4	8.248516643	1893	6	13.00381921
1885	3	9.517402018	1889	5	7.029427635	1893	7	10.77913922
1885	4	10.3279233	1889	6	6.777750037	1893	8	14.09499306
1885	5	16.68512729	1889	7	9.853542512	1893	9	15.32053191
1885	6	10.42331959	1889	8	9.077237032	1893	10	16.61038378
1885	7	9.450449156	1889	9	10.71053129	1893	11	14.32688016
1885	8	13.57597856	1889	10	9.934554081	1893	12	10.23269908
1885	9	17.75347699	1889	11	14.25433598	1894	1	14.77825108
1885	10	12.09857826	1889	12	8.431328524	1894	2	28.88966914
1885	11	10.00216263	1890	1	8.365948631	1894	3	15.55620774
1885	12	8.614919169	1890	2	8.444416437	1894	4	13.37517532
1886	1	13.50419595	1890	3	6.941136519	1894	5	14.8366912
1886	2	13.03231226	1890	4	5.704639969	1894	6	15.71864164

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1894	7	21.29950389	1898	9	16.86477884	1902	11	4.998383162
1894	8	16.28229574	1898	10	10.31430929	1902	12	3.868218177
1894	9	18.05673915	1898	11	9.934554081	1903	1	4.17387882
1894	10	13.06081751	1898	12	9.504004052	1903	2	3.700404258
1894	11	17.46631333	1899	1	10.60093735	1903	3	4.311166676
1894	12	8.614919169	1899	2	13.6478355	1903	4	7.092625963
1895	1	11.52548754	1899	3	11.65082064	1903	5	5.199998471
1895	2	16.49093097	1899	4	10.46425615	1903	6	8.027592847
1895	3	18.60512344	1899	5	11.93028244	1903	7	7.602136244
1895	4	16.41635876	1899	6	9.745729555	1903	8	10.38241446
1895	5	12.59205006	1899	7	8.222464839	1903	9	10.31430929
1895	6	13.48984837	1899	8	8.040555806	1903	10	20.9393043
1895	7	13.82059398	1899	9	9.934554081	1903	11	12.39419863
1895	8	7.295599271	1899	10	6.403650409	1903	12	9.759193475
1895	9	11.8882807	1899	11	5.838297453	1904	1	11.26177132
1895	10	18.28484237	1899	12	8.66751525	1904	2	9.077237032
1895	11	18.02636778	1900	1	9.867035424	1904	3	5.874854206
1895	12	10.76541078	1900	2	6.046038797	1904	4	9.423693935
1896	1	20.86115946	1900	3	8.825677637	1904	5	9.370228073
1896	2	19.09524809	1900	4	4.728129758	1904	6	7.244751064
1896	3	17.40597483	1900	5	6.391252418	1904	7	7.602136244
1896	4	13.13213387	1900	6	2.863156304	1904	8	7.067333356
1896	5	16.11873382	1900	7	3.184342353	1904	9	7.872357792
1896	6	8.313716551	1900	8	3.789723888	1904	10	9.423693935
1896	7	11.69265716	1900	9	3.216823599	1904	11	8.157405997
1896	8	13.97932802	1900	10	4.599928525	1904	12	7.423022876
1896	9	13.61908382	1900	11	3.325556522	1905	1	12.12667231
1896	10	13.28929648	1900	12	3.325556522	1905	2	15.94067228
1896	11	9.423693935	1901	1	4.75151286	1905	3	12.54960177
1896	12	10.04277075	1901	2	4.530292859	1905	4	12.45066502
1897	1	8.483703977	1901	3	4.105562982	1905	5	7.499683417
1897	2	10.35516187	1901	4	3.216823599	1905	6	10.1376479
1897	3	10.53255338	1901	5	3.834539233	1905	7	8.326768569
1897	4	17.78375793	1901	6	3.767354958	1905	8	12.7763156
1897	5	10.76541078	1901	7	3.478955602	1905	9	12.38008988
1897	6	8.628062316	1901	8	3.82332574	1905	10	7.949901196
1897	7	6.292238273	1901	9	3.74501198	1905	11	15.60047514
1897	8	7.525271112	1901	10	3.292862502	1905	12	7.474112789
1897	9	7.756322593	1901	11	3.467953825	1906	1	5.045681452
1897	10	10.17836287	1901	12	4.026141489	1906	2	13.41815526
1897	11	9.170263725	1902	1	3.834539233	1906	3	10.31430929
1897	12	13.03231226	1902	2	4.96296677	1906	4	8.222464839
1898	1	9.813085469	1902	3	3.689268695	1906	5	8.040555806
1898	2	11.12345527	1902	4	5.152419565	1906	6	7.975781985
1898	3	15.85178694	1902	5	3.456958871	1906	7	8.944664926
1898	4	9.718812632	1902	6	3.336468547	1906	8	8.509915469
1898	5	11.16491496	1902	7	3.969598568	1906	9	10.46425615
1898	6	10.57357337	1902	8	3.890702748	1906	10	9.156962845
1898	7	9.894032077	1902	9	4.530292859	1906	11	6.615130485
1898	8	10.8615816	1902	10	4.704769257	1906	12	12.29550351

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1907	1	12.5213185	1911	3	17.05982464	1915	5	10.21910973
1907	2	20.51800376	1911	4	16.7898783	1915	6	13.28929648
1907	3	10.46425615	1911	5	12.62036449	1915	7	7.872357792
1907	4	8.693836746	1911	6	9.907535811	1915	8	10.94414658
1907	5	12.80471054	1911	7	11.46986924	1915	9	12.79051153
1907	6	11.09583226	1911	8	8.496807746	1915	10	16.80485319
1907	7	12.88996922	1911	9	8.680674046	1915	11	20.20701484
1907	8	11.62294594	1911	10	9.010903284	1915	12	8.931428739
1907	9	12.71956277	1911	11	7.435788925	1916	1	12.00034964
1907	10	14.21084408	1911	12	7.602136244	1916	2	8.313716551
1907	11	10.79287108	1912	1	4.974766759	1916	3	20.3002139
1907	12	8.222464839	1912	2	5.331278955	1916	4	14.85130828
1908	1	10.02923113	1912	3	5.045681452	1916	5	15.94067228
1908	2	12.97533836	1912	4	6.440872542	1916	6	11.91627864
1908	3	18.69683159	1912	5	6.503002976	1916	7	15.48248348
1908	4	11.76244979	1912	6	5.607817075	1916	8	16.96974899
1908	5	14.7636481	1912	7	5.152419565	1916	9	17.99600641
1908	6	9.103797144	1912	8	7.321049427	1916	10	19.83506114
1908	7	7.168609572	1912	9	6.740153967	1916	11	19.60327949
1908	8	13.97932802	1912	10	6.503002976	1916	12	14.71985612
1908	9	26.39720094	1912	11	6.428460476	1917	1	20.59589583
1908	10	11.73452299	1912	12	6.366470552	1917	2	14.95370654
1908	11	13.21781359	1913	1	7.181288884	1917	3	12.2673333
1908	12	8.066493991	1913	2	6.515443045	1917	4	12.67703062
1909	1	19.91243989	1913	3	6.790291142	1917	5	12.0143727
1909	2	12.90418975	1913	4	6.752681444	1917	6	9.143665744
1909	3	15.45301298	1913	5	6.033779509	1917	7	10.79287108
1909	4	8.680674046	1913	6	4.518707159	1917	8	23.22983216
1909	5	13.7917714	1913	7	4.483984944	1917	9	12.14072412
1909	6	8.1834174	1913	8	4.299692916	1917	10	15.88140458
1909	7	9.077237032	1913	9	6.903364459	1917	11	11.01304398
1909	8	13.51854652	1913	10	7.41026112	1917	12	15.55620774
1909	9	22.03926872	1913	11	5.010199561	1918	1	13.61908382
1909	10	15.04158583	1913	12	4.265307593	1918	2	16.93974452
1909	11	8.222464839	1914	1	4.65811633	1918	3	15.40882784
1909	12	10.15121601	1914	2	4.810069048	1918	4	16.1781735
1910	1	9.196876806	1914	3	7.042058443	1918	5	14.58863321
1910	2	10.83408716	1914	4	9.732269273	1918	6	11.5950843
1910	3	16.3865484	1914	5	5.355216692	1918	7	13.33222237
1910	4	15.34995286	1914	6	7.168609572	1918	8	17.85950439
1910	5	13.23210414	1914	7	9.263475397	1918	9	23.85371553
1910	6	10.02923113	1914	8	11.12345527	1918	10	21.8499237
1910	7	7.538071348	1914	9	8.392088638	1918	11	18.57457367
1910	8	15.89621745	1914	10	9.691910285	1918	12	23.35754413
1910	9	15.01228154	1914	11	9.772661029	1919	1	23.13413821
1910	10	19.88148132	1914	12	6.341707543	1919	2	21.88145899
1910	11	13.82059398	1915	1	7.653464356	1919	3	26.08673078
1910	12	15.34995286	1915	2	9.867035424	1919	4	16.90975045
1911	1	17.02978906	1915	3	11.16491496	1919	5	22.76802987
1911	2	19.26430169	1915	4	11.44207984	1919	6	10.25988839

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1919	7	11.08202579	1923	9	7.41026112	1927	11	5.283466564
1919	8	17.84435006	1923	10	8.904967876	1927	12	11.87428656
1919	9	20.72064305	1923	11	5.164306267	1928	1	7.004179337
1919	10	22.19729981	1923	12	6.552791121	1928	2	9.934554081
1919	11	10.50522405	1924	1	9.907535811	1928	3	7.975781985
1919	12	14.21084408	1924	2	7.666306931	1928	4	9.29014112
1920	1	12.76212276	1924	3	9.383588958	1928	5	18.89583442
1920	2	10.40968105	1924	4	4.763212865	1928	6	15.99998312
1920	3	23.3256033	1924	5	6.966340263	1928	7	22.52988137
1920	4	13.63345818	1924	6	8.772894713	1928	8	11.87428656
1920	5	13.54725659	1924	7	6.677584986	1928	9	15.30582559
1920	6	8.865305415	1924	8	4.460865963	1928	10	18.91115938
1920	7	10.25988839	1924	9	9.077237032	1928	11	14.0082268
1920	8	11.04062659	1924	10	5.838297453	1928	12	11.74848476
1920	9	21.06445473	1924	11	6.366470552	1929	1	9.423693935
1920	10	13.28929648	1924	12	5.211906546	1929	2	19.27968464
1920	11	11.33105442	1925	1	6.354086688	1929	3	21.56650752
1920	12	12.96110251	1925	2	5.765318289	1929	4	10.24629197
1921	1	8.365948631	1925	3	5.753172584	1929	5	12.38008988
1921	2	7.435788925	1925	4	7.614961935	1929	6	10.94414658
1921	3	11.73452299	1925	5	7.614961935	1929	7	14.35591799
1921	4	13.14640625	1925	6	13.59034401	1929	8	11.84630797
1921	5	34.94895347	1925	7	8.405164621	1929	9	17.05982464
1921	6	8.971148795	1925	8	9.948068611	1929	10	20.92367076
1921	7	9.759193475	1925	9	13.71976653	1929	11	18.11751187
1921	8	10.83408716	1925	10	17.27036284	1929	12	16.62532723
1921	9	8.852092298	1925	11	9.517402018	1930	1	16.59544296
1921	10	12.2673333	1925	12	9.396953565	1930	2	23.26174731
1921	11	12.18289862	1926	1	22.46645798	1930	3	26.16836374
1921	12	13.59034401	1926	2	21.50362464	1930	4	33.89784267
1922	1	13.82059398	1926	3	23.08632023	1930	5	31.91659693
1922	2	14.51583112	1926	4	22.40306959	1930	6	28.78979855
1922	3	19.60327949	1926	5	15.32053191	1930	7	23.78957895
1922	4	19.03384644	1926	6	12.1547791	1930	8	28.82308123
1922	5	14.18186395	1926	7	8.105431869	1930	9	24.19098505
1922	6	14.44310037	1926	8	9.584447147	1930	10	24.65825298
1922	7	15.76299899	1926	9	17.95048315	1930	11	14.5449434
1922	8	16.3865484	1926	10	18.23917695	1930	12	12.96110251
1922	9	15.37938484	1926	11	8.444416437	1931	1	9.410321892
1922	10	15.79258413	1926	12	9.691910285	1931	2	11.42819009
1922	11	9.463832328	1927	1	11.62294594	1931	3	9.356870914
1922	12	7.232049895	1927	2	11.34492101	1931	4	6.890782741
1923	1	7.067333356	1927	3	16.34185275	1931	5	8.588644642
1923	2	9.921043147	1927	4	11.63688166	1931	6	10.88908967
1923	3	8.549262327	1927	5	12.74793301	1931	7	9.504004052
1923	4	6.915950665	1927	6	7.911110908	1931	8	13.59034401
1923	5	6.978948832	1927	7	12.29550351	1931	9	16.92474618
1923	6	7.769198728	1927	8	14.08052474	1931	10	22.79981996
1923	7	5.607817075	1927	9	16.61038378	1931	11	19.31045774
1923	8	4.739818489	1927	10	19.89695943	1931	12	16.77490602

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1932	1	14.63234864	1936	3	10.68311215	1940	5	13.20352607
1932	2	15.60047514	1936	4	16.26741314	1940	6	15.91103303
1932	3	21.45648606	1936	5	12.36598428	1940	7	12.02839897
1932	4	21.83415939	1936	6	14.21084408	1940	8	11.95829969
1932	5	16.35674865	1936	7	12.76212276	1940	9	13.3036021
1932	6	7.769198728	1936	8	6.565249751	1940	10	14.70526446
1932	7	8.222464839	1936	9	6.181210728	1940	11	17.28542058
1932	8	13.54725659	1936	10	10.60093735	1940	12	16.22278131
1932	9	13.69098524	1936	11	12.74793301	1941	1	14.77825108
1932	10	12.08453601	1936	12	7.898189067	1941	2	19.46446699
1932	11	9.316821825	1937	1	7.321049427	1941	3	32.18847842
1932	12	10.51888698	1937	2	15.02693229	1941	4	14.47218409
1933	1	11.0268336	1937	3	12.0564611	1941	5	12.59205006
1933	2	12.93264001	1937	4	17.95048315	1941	6	11.20640479
1933	3	13.69098524	1937	5	12.08453601	1941	7	18.92648677
1933	4	15.48248348	1937	6	12.40831052	1941	8	14.90980472
1933	5	12.28141683	1937	7	12.30959336	1941	9	27.33288713
1933	6	9.156962845	1937	8	9.050692113	1941	10	11.22024141
1933	7	8.131410809	1937	9	9.196876806	1941	11	16.02965468
1933	8	9.571030759	1937	10	19.51071638	1941	12	12.64869134
1933	9	13.11786452	1937	11	12.64869134	1942	1	9.103797144
1933	10	11.76244979	1937	12	10.55989657	1942	2	12.23917573
1933	11	11.08202579	1938	1	35.38154046	1942	3	23.29367102
1933	12	8.680674046	1938	2	18.01118584	1942	4	16.65522201
1934	1	7.550875838	1938	3	13.44682354	1942	5	8.852092298
1934	2	10.21910973	1938	4	17.85950439	1942	6	9.156962845
1934	3	14.47218409	1938	5	15.97032231	1942	7	15.65953659
1934	4	7.359257122	1938	6	9.196876806	1942	8	14.70526446
1934	5	7.435788925	1938	7	12.91841334	1942	9	17.87466123
1934	6	6.366470552	1938	8	13.06081751	1942	10	21.58223385
1934	7	6.527887763	1938	9	16.86477884	1942	11	15.48248348
1934	8	12.30959336	1938	10	16.3716472	1942	12	11.94428946
1934	9	12.42242555	1938	11	11.53940033	1943	1	11.72056446
1934	10	7.602136244	1938	12	12.76212276	1943	2	11.04062659
1934	11	5.972556248	1939	1	8.339824592	1943	3	14.05159683
1934	12	10.64200923	1939	2	14.53038583	1943	4	14.70526446
1935	1	10.87533393	1939	3	18.92648677	1943	5	16.77490602
1935	2	11.49767181	1939	4	26.33177912	1943	6	14.10946429
1935	3	12.59205006	1939	5	19.5724156	1943	7	16.71504306
1935	4	9.010903284	1939	6	15.46774686	1943	8	30.88421866
1935	5	7.563684577	1939	7	18.07192858	1943	9	26.02146036
1935	6	11.37266413	1939	8	15.32053191	1943	10	23.66140727
1935	7	8.274584554	1939	9	12.53545858	1943	11	20.92367076
1935	8	6.279882812	1939	10	19.86600557	1943	12	15.83698217
1935	9	15.05624216	1939	11	9.050692113	1944	1	14.15289539
1935	10	14.66150646	1939	12	12.09857826	1944	2	11.53940033
1935	11	10.83408716	1940	1	17.02978906	1944	3	18.51350363
1935	12	12.53545858	1940	2	13.34653702	1944	4	14.44310037
1936	1	12.35188182	1940	3	32.27353377	1944	5	10.15121601
1936	2	14.26883905	1940	4	14.92443586	1944	6	9.343517484

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1944	7	6.640098506	1948	9	14.86592817	1952	11	12.39419863
1944	8	10.51888698	1948	10	26.54451597	1952	12	15.91103303
1944	9	11.31719116	1948	11	15.71864164	1953	1	15.04158583
1944	10	11.05442296	1948	12	15.60047514	1953	2	14.0082268
1944	11	6.640098506	1949	1	20.79868479	1953	3	19.15668839
1944	12	14.47218409	1949	2	13.59034401	1953	4	15.40882784
1945	1	10.19194162	1949	3	16.92474618	1953	5	14.23983579
1945	2	10.51888698	1949	4	11.27562129	1953	6	11.91627864
1945	3	17.13495884	1949	5	14.82207694	1953	7	15.2176457
1945	4	12.49304772	1949	6	11.65082064	1953	8	17.99600641
1945	5	9.759193475	1949	7	7.067333356	1953	9	20.50243228
1945	6	6.503002976	1949	8	12.53545858	1953	10	14.96834609
1945	7	9.611290944	1949	9	11.53940033	1953	11	13.3036021
1945	8	7.295599271	1949	10	23.46940429	1953	12	7.679153715
1945	9	9.826567531	1949	11	16.92474618	1954	1	8.588644642
1945	10	11.53940033	1949	12	9.530803675	1954	2	16.81983069
1945	11	7.181288884	1950	1	12.87575175	1954	3	17.7686162
1945	12	13.33222237	1950	2	15.63000041	1954	4	13.77736453
1946	1	12.50718155	1950	3	13.59034401	1954	5	7.270166471
1946	2	21.11142372	1950	4	16.26741314	1954	6	5.644087648
1946	3	32.20548598	1950	5	14.53038583	1954	7	8.053522856
1946	4	16.98475512	1950	6	12.42242555	1954	8	10.58725363
1946	5	16.43126791	1950	7	12.84732604	1954	9	17.67781886
1946	6	15.0855632	1950	8	21.34657486	1954	10	14.08052474
1946	7	19.97438529	1950	9	20.75185286	1954	11	9.050692113
1946	8	10.60093735	1950	10	25.06246641	1954	12	6.440872542
1946	9	30.83361791	1950	11	19.5724156	1955	1	12.5213185
1946	10	12.93264001	1950	12	16.40145225	1955	2	11.8882807
1946	11	12.70538229	1951	1	15.71864164	1955	3	16.07418218
1946	12	8.957904946	1951	2	20.59589583	1955	4	14.08052474
1947	1	13.59034401	1951	3	20.16044681	1955	5	10.64200923
1947	2	10.97169539	1951	4	23.11819673	1955	6	9.504004052
1947	3	27.99328409	1951	5	17.63245435	1955	7	7.435788925
1947	4	15.7777902	1951	6	15.82218011	1955	8	8.825677637
1947	5	12.5213185	1951	7	17.46631333	1955	9	12.56374809
1947	6	14.10946429	1951	8	21.20542301	1955	10	11.48376888
1947	7	14.31236556	1951	9	33.84631125	1955	11	13.04656337
1947	8	23.80560993	1951	10	21.4250716	1955	12	8.759708669
1947	9	29.15632077	1951	11	17.90498247	1956	1	20.31575522
1947	10	22.37138854	1951	12	19.7886622	1956	2	15.67430876
1947	11	13.74855963	1952	1	20.08288017	1956	3	19.32584788
1947	12	11.60901349	1952	2	24.98152097	1956	4	22.65683295
1948	1	13.87827441	1952	3	30.04300338	1956	5	20.54915366
1948	2	14.09499306	1952	4	28.19200228	1956	6	16.16330957
1948	3	16.47601124	1952	5	23.86975495	1956	7	13.11786452
1948	4	11.52548754	1952	6	16.26741314	1956	8	13.66221579
1948	5	16.16330957	1952	7	13.7917714	1956	9	14.9390698
1948	6	9.396953565	1952	8	12.46478946	1956	10	12.63452636
1948	7	10.31430929	1952	9	20.03636828	1956	11	23.26174731
1948	8	19.69592818	1952	10	18.28484237	1956	12	11.86029565

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1957	1	17.79890218	1961	3	12.64869134	1965	5	4.986572226
1957	2	16.53570601	1961	4	12.16883727	1965	6	8.131410809
1957	3	23.82164302	1961	5	12.5213185	1965	7	7.397503663
1957	4	18.08712052	1961	6	11.87428656	1965	8	8.235488726
1957	5	10.42331959	1961	7	22.11825666	1965	9	9.063962671
1957	6	18.02636778	1961	8	10.17836287	1965	10	6.205850067
1957	7	12.8331178	1961	9	11.26177132	1965	11	5.668293404
1957	8	12.21103083	1961	10	12.64869134	1965	12	6.552791121
1957	9	39.6746273	1961	11	8.66751525	1966	1	6.865632787
1957	10	14.61777399	1961	12	11.24792468	1966	2	7.14326411
1957	11	18.52876745	1962	1	6.915950665	1966	3	10.11052234
1957	12	20.23807187	1962	2	10.54622324	1966	4	5.801785423
1958	1	15.67430876	1962	3	7.692004705	1966	5	7.538071348
1958	2	28.68999568	1962	4	12.87575175	1966	6	6.181210728
1958	3	23.70945577	1962	5	6.840500842	1966	7	8.588644642
1958	4	17.19511265	1962	6	9.745729555	1966	8	10.40968105
1958	5	15.36466747	1962	7	11.65082064	1966	9	17.55689757
1958	6	18.63568302	1962	8	15.23233543	1966	10	9.010903284
1958	7	23.05445234	1962	9	17.34567722	1966	11	8.588644642
1958	8	15.24702792	1962	10	18.94181659	1966	12	10.62831515
1958	9	15.95549595	1962	11	12.00034964	1967	1	10.00216263
1958	10	14.99763359	1962	12	12.45066502	1967	2	10.45060714
1958	11	8.365948631	1963	1	9.732269273	1967	3	6.366470552
1958	12	16.81983069	1963	2	7.563684577	1967	4	7.666306931
1959	1	15.65953659	1963	3	7.105278891	1967	5	20.54915366
1959	2	23.30963609	1963	4	8.614919169	1967	6	10.19194162
1959	3	18.75801932	1963	5	10.25988839	1967	7	6.928541353
1959	4	14.58863321	1963	6	10.25988839	1967	8	8.56238583
1959	5	15.60047514	1963	7	11.34492101	1967	9	14.35591799
1959	6	13.71976653	1963	8	12.56374809	1967	10	9.517402018
1959	7	27.74527402	1963	9	24.86828352	1967	11	9.975108446
1959	8	19.98987751	1963	10	13.17496011	1967	12	13.92156554
1959	9	24.17490362	1963	11	10.93037726	1968	1	11.33105442
1959	10	17.58711266	1963	12	9.530803675	1968	2	15.27642122
1959	11	21.14274774	1964	1	10.19194162	1968	3	13.10359821
1959	12	20.1449288	1964	2	10.02923113	1968	4	11.87428656
1960	1	15.68908367	1964	3	10.95791929	1968	5	12.7763156
1960	2	14.25433598	1964	4	11.49767181	1968	6	14.64692613
1960	3	16.8348108	1964	5	8.891743208	1968	7	9.250148162
1960	4	36.7552962	1964	6	7.435788925	1968	8	10.68311215
1960	5	19.92792271	1964	7	8.549262327	1968	9	12.43654371
1960	6	16.95474546	1964	8	7.181288884	1968	10	14.26883905
1960	7	16.87976677	1964	9	9.050692113	1968	11	15.11489539
1960	8	17.28542058	1964	10	8.326768569	1968	12	10.19194162
1960	9	16.58050477	1964	11	6.677584986	1969	1	8.483703977
1960	10	30.07656452	1964	12	4.704769257	1969	2	14.09499306
1960	11	29.39003308	1965	1	5.680403875	1969	3	15.99998312
1960	12	20.5803128	1965	2	8.118419306	1969	4	13.44682354
1961	1	11.35879091	1965	3	7.155934646	1969	5	14.10946429
1961	2	14.51583112	1965	4	6.00927555	1969	6	8.799278432

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1969	7	6.565249751	1973	9	12.97533836	1977	11	9.530803675
1969	8	7.346516902	1973	10	16.93974452	1977	12	9.437069691
1969	9	12.69120491	1973	11	11.76244979	1978	1	14.74904795
1969	10	7.988728546	1973	12	11.08202579	1978	2	15.51196496
1969	11	9.530803675	1974	1	14.58863321	1978	3	15.85178694
1969	12	6.341707543	1974	2	15.36466747	1978	4	20.5803128
1970	1	6.765213469	1974	3	21.69238089	1978	5	20.51800376
1970	2	5.850478076	1974	4	20.09838881	1978	6	17.61733792
1970	3	14.8074655	1974	5	17.49649789	1978	7	10.79287108
1970	4	12.30959336	1974	6	16.86477884	1978	8	14.50127925
1970	5	7.730582868	1974	7	21.17408084	1978	9	16.34185275
1970	6	9.130372424	1974	8	19.18742301	1978	10	11.56723576
1970	7	15.49722285	1974	9	21.51934199	1978	11	14.63234864
1970	8	10.53255338	1974	10	24.35191426	1978	12	13.06081751
1970	9	10.11052234	1974	11	16.68512729	1979	1	16.40145225
1970	10	11.09583226	1974	12	16.11873382	1979	2	14.60320218
1970	11	11.56723576	1975	1	15.82218011	1979	3	17.08987057
1970	12	8.170409673	1975	2	18.60512344	1979	4	22.78392383
1971	1	12.32368636	1975	3	19.4490553	1979	5	12.86153736
1971	2	10.98547487	1975	4	14.98298844	1979	6	9.961586734
1971	3	10.55989657	1975	5	14.0082268	1979	7	10.34154083
1971	4	13.90713223	1975	6	11.5811584	1979	8	15.83698217
1971	5	11.80436431	1975	7	12.69120491	1979	9	12.50718155
1971	6	8.786084635	1975	8	10.2870918	1979	10	10.77913922
1971	7	7.550875838	1975	9	8.878522387	1979	11	9.584447147
1971	8	8.971148795	1975	10	10.60093735	1979	12	9.156962845
1971	9	11.74848476	1975	11	17.95048315	1980	1	10.31430929
1971	10	11.27562129	1975	12	11.90227806	1980	2	10.21910973
1971	11	9.517402018	1976	1	13.08933494	1980	3	6.218176921
1971	12	10.36878641	1976	2	16.61038378	1980	4	9.840053214
1972	1	12.09857826	1976	3	21.39366614	1980	5	8.326768569
1972	2	9.571030759	1976	4	16.11873382	1980	6	11.17874156
1972	3	10.97169539	1976	5	13.63345818	1980	7	9.077237032
1972	4	9.880531947	1976	6	9.571030759	1980	8	8.891743208
1972	5	9.156962845	1976	7	9.156962845	1980	9	7.538071348
1972	6	12.21103083	1976	8	8.98439647	1980	10	13.47550377
1972	7	6.941136519	1976	9	13.01806421	1980	11	13.47550377
1972	8	20.03636828	1976	10	11.17874156	1980	12	13.34653702
1972	9	11.20640479	1976	11	8.457508319	1981	1	9.29014112
1972	10	11.30333121	1976	12	10.36878641	1981	2	13.99377595
1972	11	12.39419863	1977	1	10.68311215	1981	3	17.60222402
1972	12	9.530803675	1977	2	11.77641805	1981	4	23.21387781
1973	1	15.24702792	1977	3	10.8615816	1981	5	17.54179383
1973	2	18.77332235	1977	4	15.23233543	1981	6	10.11052234
1973	3	22.4506076	1977	5	10.9028488	1981	7	17.64757332
1973	4	26.03777496	1977	6	7.666306931	1981	8	14.74904795
1973	5	15.83698217	1977	7	13.74855963	1981	9	11.63688166
1973	6	16.35674865	1977	8	13.54725659	1981	10	22.24475216
1973	7	11.98632978	1977	9	14.35591799	1981	11	15.18827458
1973	8	11.74848476	1977	10	12.14072412	1981	12	10.72424602

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1982	1	12.16883727	1986	3	12.2251017	1990	5	14.8366912
1982	2	33.24624876	1986	4	7.282880699	1990	6	13.41815526
1982	3	16.3865484	1986	5	10.49156461	1990	7	12.09857826
1982	4	20.2846749	1986	6	8.523027142	1990	8	17.42105563
1982	5	15.89621745	1986	7	8.352884613	1990	9	13.7341616
1982	6	20.59589583	1986	8	13.46116216	1990	10	14.06605933
1982	7	29.23974754	1986	9	15.64476713	1990	11	8.891743208
1982	8	20.5803128	1986	10	10.30069878	1990	12	7.499683417
1982	9	34.396768	1986	11	12.11262369	1991	1	8.457508319
1982	10	18.22396011	1986	12	8.144406374	1991	2	10.76541078
1982	11	22.22893251	1987	1	7.397503663	1991	3	25.09485892
1982	12	23.08632023	1987	2	9.423693935	1991	4	16.14844831
1983	1	15.76299899	1987	3	9.678464585	1991	5	16.20790937
1983	2	25.84213191	1987	4	6.279882812	1991	6	39.47983652
1983	3	22.13406087	1987	5	7.295599271	1991	7	23.78957895
1983	4	22.97482032	1987	6	6.890782741	1991	8	29.39003308
1983	5	20.31575522	1987	7	9.853542512	1991	9	18.31529839
1983	6	14.55950383	1987	8	14.18186395	1991	10	32.78478481
1983	7	13.01806421	1987	9	18.74271872	1991	11	34.36231363
1983	8	15.79258413	1987	10	15.04158583	1991	12	17.84435006
1983	9	13.83500968	1987	11	12.62036449	1992	1	14.99763359
1983	10	16.90975045	1987	12	8.248516643	1992	2	34.43122912
1983	11	20.44016949	1988	1	12.29550351	1992	3	14.85130828
1983	12	14.58863321	1988	2	12.23917573	1992	4	11.12345527
1984	1	12.14072412	1988	3	13.97932802	1992	5	18.37624015
1984	2	15.82218011	1988	4	14.08052474	1992	6	14.96834609
1984	3	19.31045774	1988	5	10.71053129	1992	7	9.745729555
1984	4	21.88145899	1988	6	10.01569509	1992	8	14.70526446
1984	5	16.3865484	1988	7	10.62831515	1992	9	24.52917696
1984	6	14.42856281	1988	8	11.10964209	1992	10	15.76299899
1984	7	16.64027331	1988	9	11.23408138	1992	11	15.14423872
1984	8	15.71864164	1988	10	12.16883727	1992	12	14.35591799
1984	9	21.12708459	1988	11	12.63452636	1993	1	17.87466123
1984	10	21.37796679	1988	12	14.99763359	1993	2	15.36466747
1984	11	19.97438529	1989	1	20.87678386	1993	3	23.2777081
1984	12	17.49649789	1989	2	14.06605933	1993	4	17.87466123
1985	1	15.26172319	1989	3	43.78959753	1993	5	11.01304398
1985	2	14.05159683	1989	4	20.79868479	1993	6	10.94414658
1985	3	10.2055239	1989	5	15.64476713	1993	7	9.745729555
1985	4	19.00316013	1989	6	14.48673024	1993	8	10.9028488
1985	5	8.196429172	1989	7	7.168609572	1993	9	14.34139763
1985	6	11.31719116	1989	8	19.07989405	1993	10	14.26883905
1985	7	14.85130828	1989	9	15.17359318	1993	11	14.283345
1985	8	13.31791073	1989	10	20.44016949	1993	12	14.41402811
1985	9	12.25325293	1989	11	20.36239316	1994	1	15.18827458
1985	10	13.74855963	1989	12	18.26961808	1994	2	32.52896281
1985	11	14.13841545	1990	1	14.38496731	1994	3	25.67931699
1985	12	12.63452636	1990	2	22.13406087	1994	4	24.73899271
1986	1	12.60620572	1990	3	23.08632023	1994	5	23.46940429
1986	2	26.38084251	1990	4	26.49539314	1994	6	14.71985612

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel	Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
1994	7	12.16883727	1998	9	11.95829969	2002	11	17.61733792
1994	8	8.196429172	1998	10	12.76212276	2002	12	13.33222237
1994	9	10.95791929	1998	11	15.97032231	2003	1	13.61908382
1994	10	20.47129625	1998	12	8.405164621	2003	2	18.1783245
1994	11	13.17496011	1999	1	10.79287108	2003	3	21.89722998
1994	12	12.86153736	1999	2	12.87575175	2003	4	21.48790953
1995	1	12.1547791	1999	3	13.63345818	2003	5	27.67921102
1995	2	13.71976653	1999	4	12.30959336	2003	6	25.90731418
1995	3	13.76296061	1999	5	8.365948631	2003	7	20.78307185
1995	4	13.53290006	1999	6	6.440872542	2003	8	23.3894935
1995	5	18.91115938	1999	7	8.891743208	2003	9	18.07192858
1995	6	9.196876806	1999	8	15.30582559	2003	10	35.00080889
1995	7	6.890782741	1999	9	19.09524809	2003	11	30.04300338
1995	8	8.418244584	1999	10	20.1138998	2003	12	17.08987057
1995	9	11.30333121	1999	11	15.20295875	2004	1	24.15882428
1995	10	15.30582559	1999	12	10.4	2004	2	13.54725659
1995	11	7.885271361	2000	1	13.21781359	2004	3	13.99377595
1995	12	9.03742536	2000	2	16.3716472	2004	4	11.08202579
1996	1	8.891743208	2000	3	8.483703977	2004	5	9.143665744
1996	2	10.9028488	2000	4	14.79285688	2004	6	8.209444986
1996	3	10.98547487	2000	5	15.15891456	2004	7	19.01850207
1996	4	10.2870918	2000	6	14.22533849	2004	8	8.904967876
1996	5	7.563684577	2000	7	18.60512344	2004	9	8.209444986
1996	6	4.986572226	2000	8	15.23233543	2004	10	8.209444986
1996	7	7.423022876	2000	9	17.31554377	2004	11	24.27142356
1996	8	9.975108446	2000	10	16.98475512	2004	12	12.04242843
1996	9	15.36466747	2000	11	18.08712052	2005	1	24.59369841
1996	10	12.73374634	2000	12	8.1834174	2005	2	11.5950843
1996	11	7.859448367	2001	1	9.383588958	2005	3	11.70660918
1996	12	7.321049427	2001	2	7.486895967	2005	4	10.53255338
1997	1	9.383588958	2001	3	19.5724156	2005	5	17.69294543
1997	2	11.27562129	2001	4	21.20542301	2005	6	10.61462452
1997	3	8.118419306	2001	5	10.62831515	2005	7	14.03713724
1997	4	10.00216263	2001	6	9.22350496	2005	8	14.283345
1997	5	8.222464839	2001	7	9.813085469	2005	9	19.81959247
1997	6	6.890782741	2001	8	11.38654066	2005	10	7.794963522
1997	7	6.292238273	2001	9	12.39419863	2005	11	8.66751525
1997	8	7.321049427	2001	10	19.69592818	2005	12	9.651584148
1997	9	10.51888698	2001	11	15.46774686	2006	1	6.615130485
1997	10	10.25988839	2001	12	10.64200923	2006	2	6.49056756
1997	11	10.39604601	2002	1	9.156962845	2006	3	7.898189067
1997	12	4.998383162	2002	2	9.759193475	2006	4	9.22350496
1998	1	8.680674046	2002	3	10.73796418	2006	5	6.565249751
1998	2	8.588644642	2002	4	14.44310037	2006	6	7.130597969
1998	3	13.59034401	2002	5	10.95791929	2006	7	5.741031894
1998	4	9.921043147	2002	6	7.57649756	2006	8	8.209444986
1998	5	18.08712052	2002	7	10.84783268	2006	9	7.640625996
1998	6	10.55989657	2002	8	13.93600177	2006	10	7.949901196
1998	7	10.73796418	2002	9	11.94428946	2006	11	8.118419306
1998	8	16.22278131	2002	10	23.11819673	2006	12	13.56161609

Jahr	Monat	Ap Monatsmittel
2007	1	9.9
2007	2	7.1
2007	3	8
2007	4	9.1
2007	5	7.9
2007	6	6.2
2007	7	6.7
2007	8	6.4
2007	9	8.9
2007	10	6.8
2007	11	6.6
2007	12	6
2008	1	7.8
2008	2	11
2008	3	11.1
2008	4	9.2
2008	5	6.3
2008	6	6.7
2008	7	5.4
2008	8	5
2008	9	5.6
2008	10	6.5
2008	11	4.2
2008	12	4.2
2009	1	4.3
2009	2	4.5
2009	3	5.3
2009	4	4.4
2009	5	3.9
2009	6	4.3
2009	7	4.4
2009	8	4.6
2009	9	3.7
2009	10	3.5
2009	11	2.8
2009	12	1.9

Tabelle 3a: Ap-Daten Monatsmittel von Juli 1844 bis 2009

Jahr	Ap Jahresmittel	Jahr	Ap Jahresmittel	Jahr	Ap Jahresmittel
1845	10.36385103275	1895	14.10007450175	1945	10.4489500784167
1846	13.4782659578333	1896	13.9144830655	1946	17.5275454396667
1847	14.309592285	1897	10.0419517571667	1947	17.4972628666667
1848	16.6856275896667	1898	11.3015740484167	1948	15.3562356479167
1849	12.8638275925	1899	9.59557495608333	1949	14.1774533550833
1850	11.5699894931667	1900	5.01360181225	1950	16.7748673925
1851	13.2521026613333	1901	3.83669480241667	1951	20.3903816108333
1852	19.9669818225	1902	4.199548871	1952	19.6932981716667
1853	14.7559541325	1903	8.65810195283333	1953	14.9532191320833
1854	13.7068724010833	1904	8.31654048583333	1954	11.3132829101667
1855	10.8582622295	1905	11.2677171559167	1955	11.40213124775
1856	7.394402821	1906	9.08361516808333	1956	17.0134106225
1857	9.58019505075	1907	12.21305132375	1957	18.566370695
1858	14.3417496529167	1908	13.1579387680833	1958	17.8091343725833
1859	16.2623076128333	1909	13.0813187014167	1959	19.3684092691667
1860	15.2043971305833	1910	13.5439499161667	1960	20.934066445
1861	14.0756777008333	1911	12.1139894563333	1961	12.600856485
1862	15.9158424628333	1912	6.0345813935	1962	11.8531521080833
1863	17.5738558933333	1913	5.84708348133333	1963	11.32908519625
1864	16.7770346108333	1914	7.77930312666667	1964	8.62455517658333
1865	18.8760517010833	1915	11.7655177884167	1965	6.93382550533333
1866	15.8756422949167	1916	15.6607479100833	1966	9.03529775616667
1867	12.1667397336667	1917	14.1888406995	1967	10.7072969758333
1868	14.2053622248333	1918	17.263085915	1968	12.5795068518333
1869	16.6461846266667	1919	18.1333652941667	1969	10.4498714788333
1870	17.8875599383333	1920	13.5408208679167	1970	10.2972901633333
1871	17.1190642308333	1921	12.674059827	1971	10.6499131738333
1872	19.2196415391667	1922	14.6346594944167	1972	11.27517276125
1873	16.1039421075	1923	7.13180825025	1973	15.9330697208333
1874	10.8956326149167	1924	7.09102017275	1974	18.7618306933333
1875	8.00405496866667	1925	9.5792136355	1975	13.8966041789167
1876	6.58847979925	1926	15.7458874406667	1976	12.6317556194167
1877	6.13799052141667	1927	12.6372308218333	1977	11.6569112214167
1878	4.77280090491667	1928	13.6231948769167	1978	15.47707161
1879	4.58029958558333	1929	15.2307479154167	1979	13.4923188905
1880	8.30553035291667	1930	24.13314469	1980	10.1584796193333
1881	10.0915061669167	1931	12.9556814925833	1981	15.3285925633333
1882	18.7618408766667	1932	13.7525306743333	1982	22.19453865
1883	13.6126198155	1933	11.4097314765833	1983	18.0144568591667
1884	10.4602572183333	1934	9.07335788766667	1984	17.69206514
1885	11.6288629451667	1935	10.8795057930833	1985	13.2482998135
1886	16.3058457716667	1936	11.4086430988333	1986	12.1271804273333
1887	12.5563339845	1937	12.5103532555	1987	10.4712099293333
1888	11.5682496270833	1938	16.1152861105	1988	12.1744828516667
1889	9.08717124133333	1939	15.8426528154167	1989	19.179741701
1890	7.60179365575	1940	16.0160518266667	1990	15.67223912125
1891	13.1387538861667	1941	17.14746679	1991	22.7200275949167
1892	19.7337725183333	1942	14.7124491764167	1992	16.9159615979167
1893	13.0419827625	1943	18.0371004108333	1993	14.52542306125
1894	16.49460207575	1944	11.5655429513333	1994	17.8463155793333

Jahr	Ap Jahresmittel
1995	11.6766102776667
1996	9.52453820058333
1997	8.6399610005
1998	12.1236981505
1999	12.7856809150833
2000	14.7215475314167
2001	13.0749710561667
2002	12.7856265541667
2003	22.7622708166667
2004	13.399267104
2005	13.4158044041667
2006	7.92868993833333
2007	7.46666666666667
2008	6.91666666666667
2009	3.96666666666667

Tabelle 3b: Ap-Daten Jahresmittel von 1845 bis 2009

3 Ergebnisse

3.1 Sonnenfleckendaten

Die mit Sonnenflecken in Beziehung stehende Sonnenaktivität manifestiert sich in CMEs, die die stärksten geomagnetischen Stürme erzeugen. Diese starken Stürme sind nur von kurzer Lebensdauer und treten relativ selten auf, dadurch tragen sie nur um das Sonnenmaximum herum merklich zur geomagnetischen Aktivität bei. Die nicht mit Sonnenflecken in Beziehung stehende Sonnenaktivität manifestiert sich in langlebigen, periodisch auftretenden CIRs. (Verbanac *et al.*: 2011)

Diagramm 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Sonnenfleckenrelativzahl R_z von 1700 bis 2010. Es wurden die jährlichen Durchschnittswerte von R_z dargestellt.

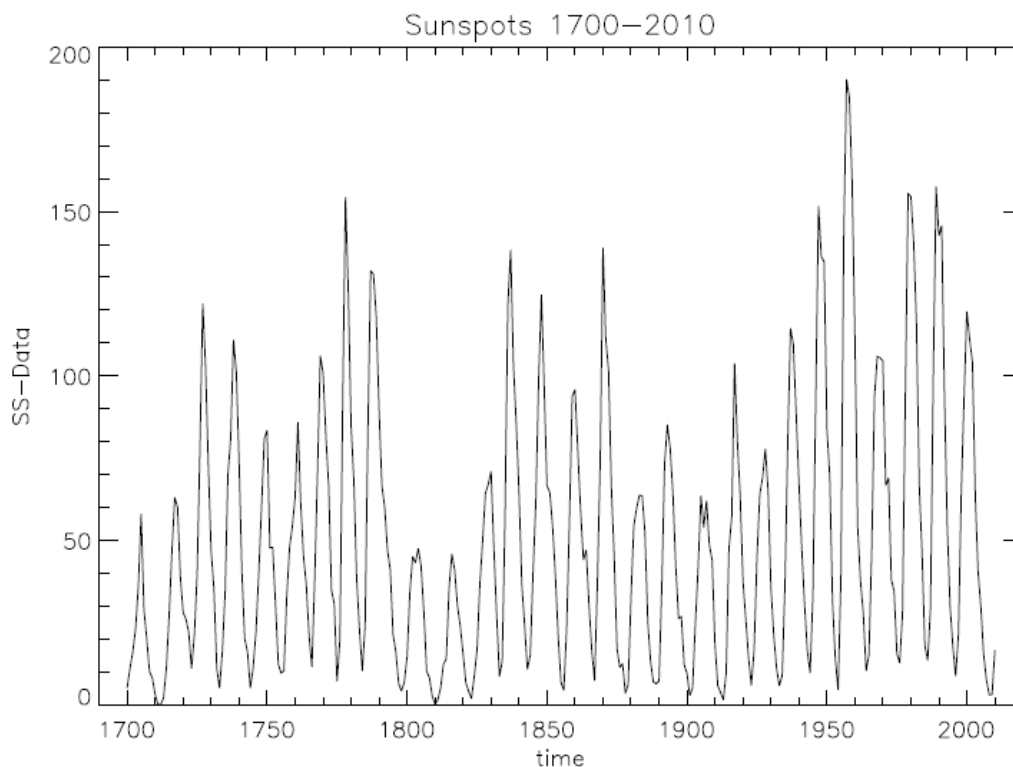


Diagramm 2: Sonnenfleckenrelativzahl R_z von 1700 bis 2010

Der 11-jährige Sonnenfleckenzyklus – auch Schwabe-Zyklus genannt – ist im obigen Diagramm sehr gut zu erkennen, jedoch kristallisiert sich noch eine weitere Periodizität heraus, die von säkularer Natur ist. Die Sonnenfleckenmaxima R_M^* sowie -minima R_m^* der einzelnen Sonnenzyklen sind starken Schwankungen unterworfen und weisen eine Periodizität von 80 bis 120 Jahren auf. Dieser Zyklus wird Gleissberg-Zyklus genannt. Tabelle 4 gibt die Sonnenfleckenmaxima R_M^* und -minima R_m^* der Sonnenzyklen 2 bis 22. (Garcia & Mouradian: 1998)

Cycle number	Maxima		Minima	
	Year of maximum	R_M^*	Year of minimum	R_m^*
2	1769	113.5	1775	8.8
3	1778	114.8	1784	6.7
4	1787	102.5	1798	4.7
5	1804	84.5	1810	3.8
6	1816	74.8	1823	4.4
7	1830	85.3	1833	5.8
8	1837	101.2	1843	7.0
9	1848	115.9	1856	7.8
10	1860	115.1	1867	5.9
11	1870	100.8	1878	5.1
12	1883	91.8	1889	4.2
13	1893	83.4	1901	3.7
14	1905	80.8	1913	4.7
15	1917	86.2	1923	3.8
16	1928	100.9	1933	6.0
17	1937	122.6	1944	6.9
18	1947	136.9	1954	8.3
19	1957	145.5	1964	9.7
20	1968	151.4	1976	10.7
21	1979	(144)	1986	(9)
22	1989	(130)	1996	(8)

Tabelle 4: Sonnenfleckenmaxima und -minima für die Zyklen 2 bis 22
(Quelle: Garcia, A., Mouradian, Z.: 1998)

Die obere Kurve von Diagramm 3 stellt den zeitlichen Verlauf der Sonnenfleckenmaxima R_M^* dar, die untere Kurve den Verlauf der Sonnenfleckenminima R_m^* . Es ergibt sich ein Verhältnis von

$$R_m^* (N) = 0,084 R_M^* (N) - 2,66. \text{ (Garcia \& Mouradian: 1998)}$$

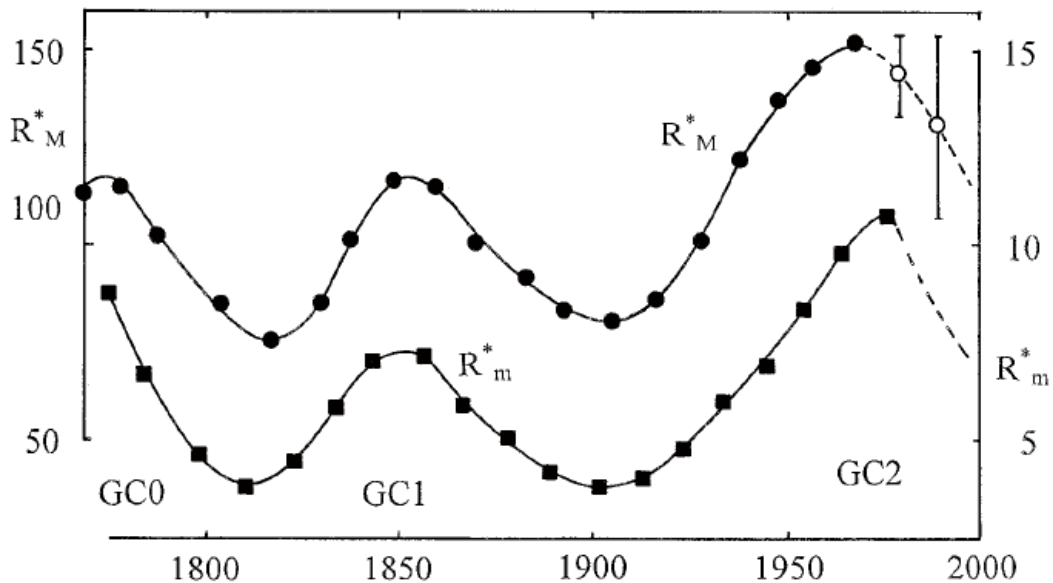


Diagramm 3: Gleissberg-Zyklus
(Quelle: Garcia, A., Mouradian, Z.: 1998, 495-498)

In Diagramm 4 wurden die Sonnenfleckendaten zeitverzögert gegen sich selbst für Zeitverzögerungen von ein bis 22 Jahre aufgetragen. Somit wird ein gesamter Hale-Zyklus abgedeckt. Bei einem delay von 5 Jahren zeigt sich eine deutliche Antikorrelation. Bei einem delay von 11 Jahren kristallisiert sich deutlich eine Struktur heraus, die die 11-jährige Periodizität anzeigt. Beim delay 22 kommt diese Struktur nicht mehr so stark heraus. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich darin, dass die Amplituden der Maxima stark variieren, weil der 11-jährige Sonnenfleckenzklus wie oben erwähnt vom Gleissberg-Zyklus überlagert ist.

Aus diesem Grund wurden die Daten zusätzlich mit delays von 88, 99, 110 und 121 Jahren dargestellt. Die eindeutigste Struktur kommt bei einem delay von 110 Jahren heraus.

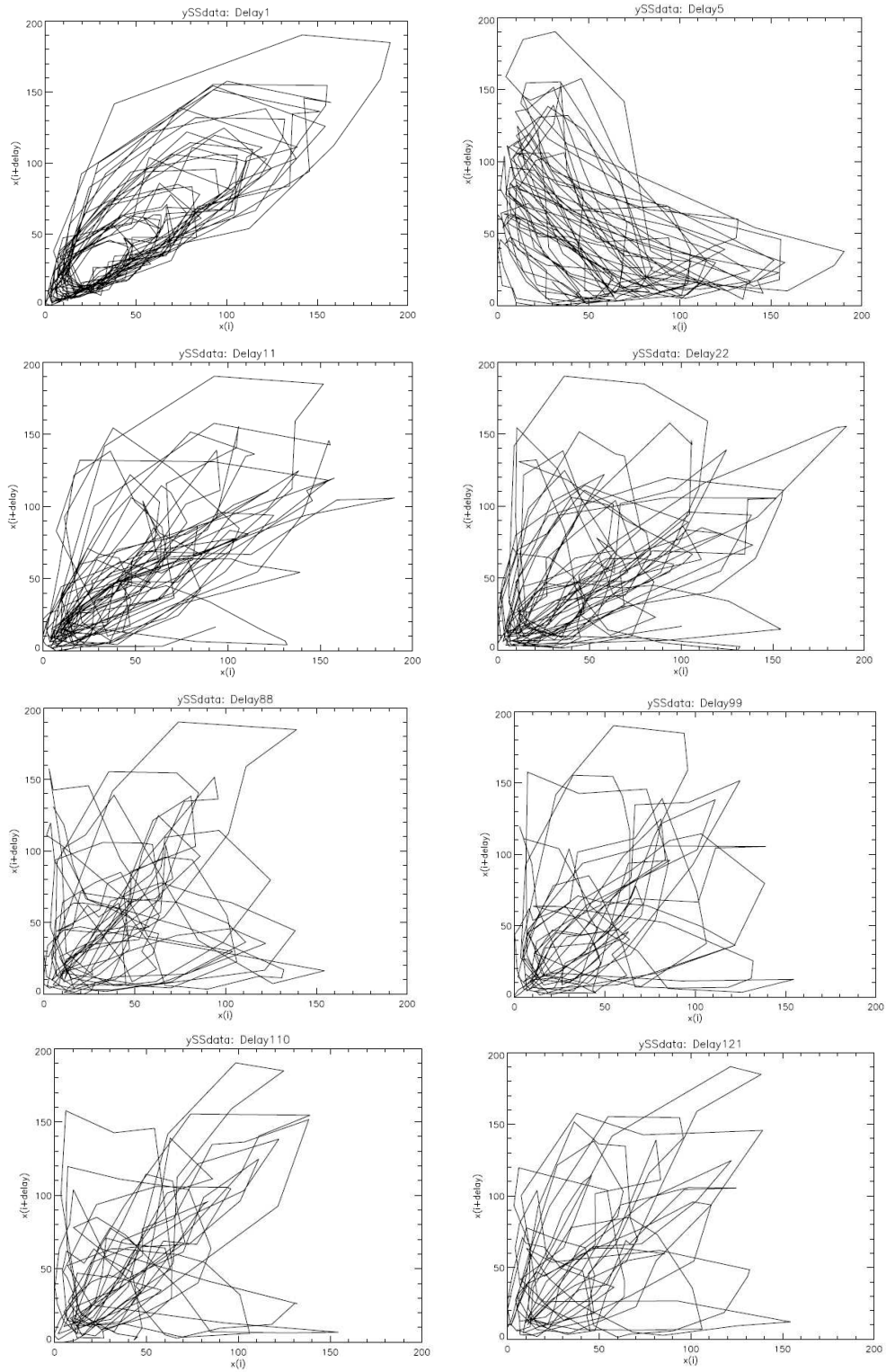


Diagramm 4: Sonnenfleckendaten mit verschiedenen Zeitverzögerungen gegen sich selbst aufgetragen

Die Korrelationskoeffizienten für die Zeitverzögerungen von ein bis 22 Jahre sind in Tabelle 5 aufgelistet. Für die Berechnung wurden die jährlichen Durchschnittswerte der Sonnenfleckenrelativzahl R_z von 1700 bis 2010 verwendet.

Zeitver- zögerung	Korrelations- koeffizienten
1	0.825
2	0.458
3	0.046
4	-0.273
5	-0.426
6	-0.380
7	-0.165
8	0.150
9	0.469
10	0.663
11	0.664
12	0.473
13	0.174
14	-0.121
15	-0.325
16	-0.390
17	-0.324
18	-0.153
19	0.080
20	0.298
21	0.437
22	0.445

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten Sonnenflecken für Zeitverzögerungen von 1-22 Jahre

Diagramm 5 illustriert die zuvor berechneten Korrelationskoeffizienten. Wie erwartet zeigt sich die größte Korrelation bei einer Verschiebung um jeweils 11 Jahre, es kristallisiert sich also deutlich die Periodizität des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus heraus. Es zeigt sich eine Antikorrelation jeweils in der Mitte des Sonnenzyklus.

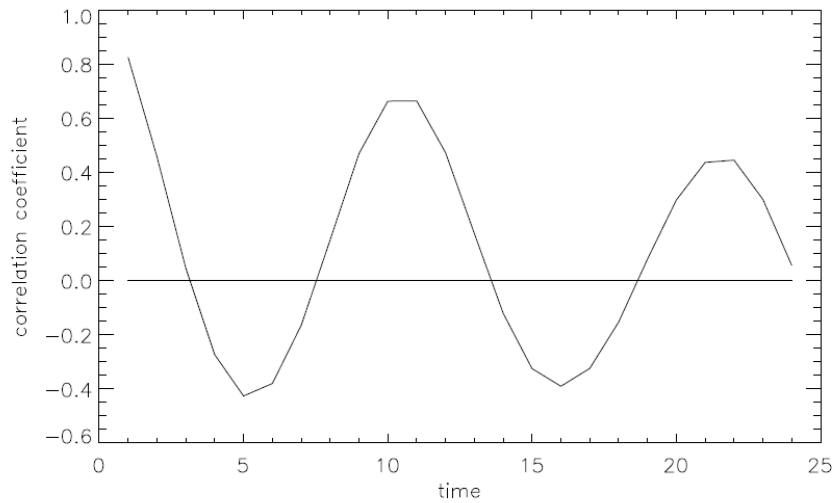


Diagramm 5: Korrelationskoeffizienten Sonnenflecken für Zeitverzögerungen wie auf der x-Achse angegeben

3.2 Ap-Daten

Diagramm 6 illustriert den zeitlichen Verlauf des Ap-Index für den Zeitraum von 1845 bis 2009. Wie bei den Sonnenfleckendaten wurden auch bei den Ap-Daten die jährlichen Durchschnittswerte aufgetragen.

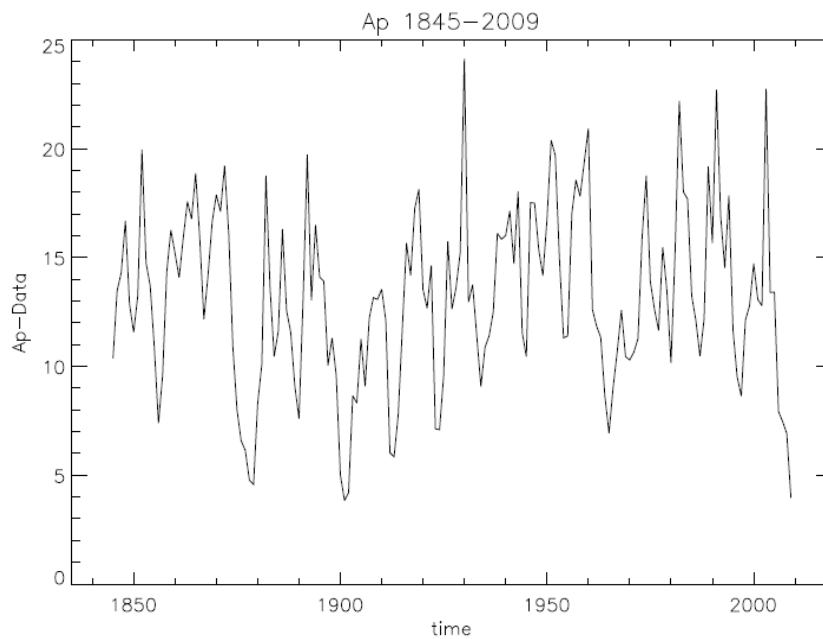


Diagramm 6: Zeitlicher Verlauf des Ap-Index von 1845-2009

Anschließend wurden auch die Ap-Daten mit Zeitverzögerungen von ein bis 22 Jahren geplottet. Die plots lassen eine gewisse Struktur erkennen, jedoch kristallisiert sich diese nicht so markant heraus wie bei den Sonnendaten.

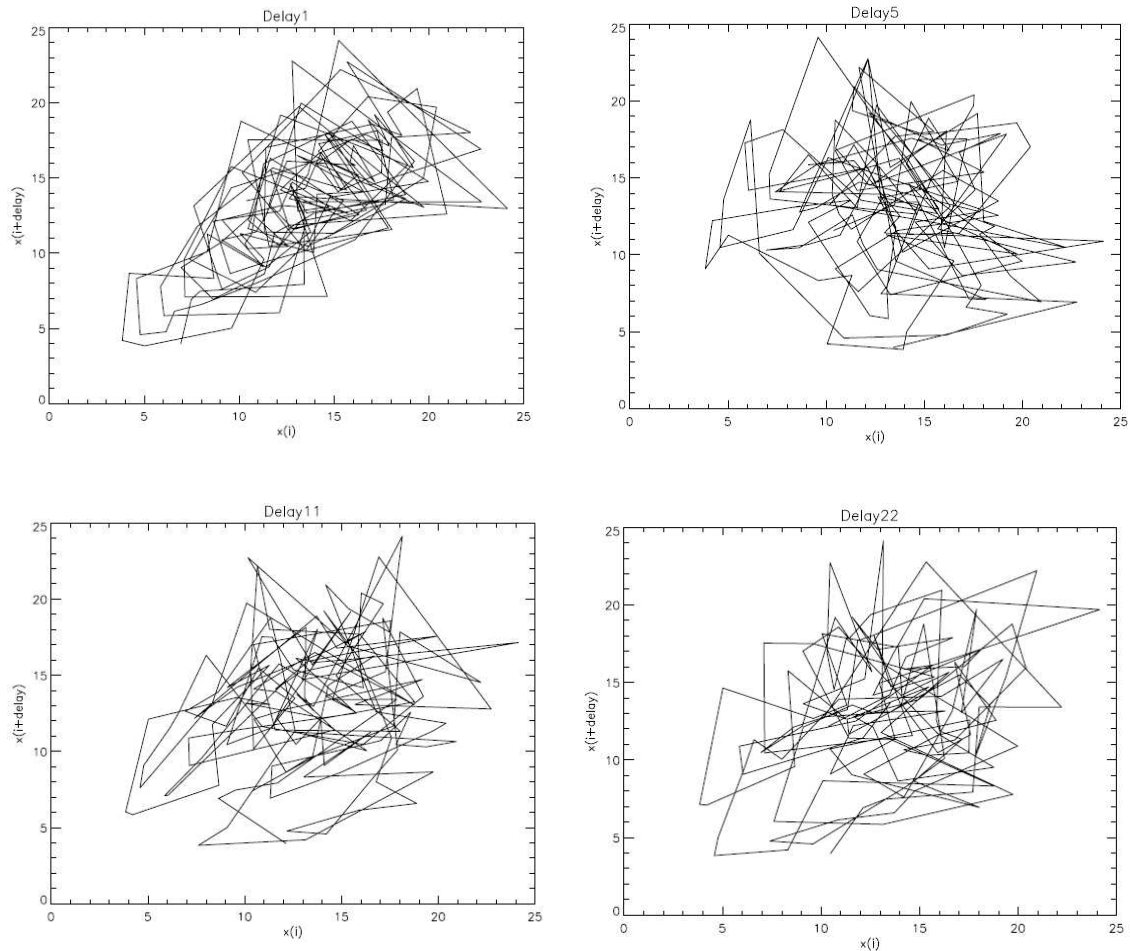


Diagramm 7: Ap-Daten mit verschiedenen Zeitverzögerungen gegen sich selbst aufgetragen

Zum Vergleich wurden anschließend Zufallszahlen generiert und ebenfalls mit den gleichen delays geplottet, selbstverständlich ist hier überhaupt keine Struktur zu sehen (siehe Diagramm 8).

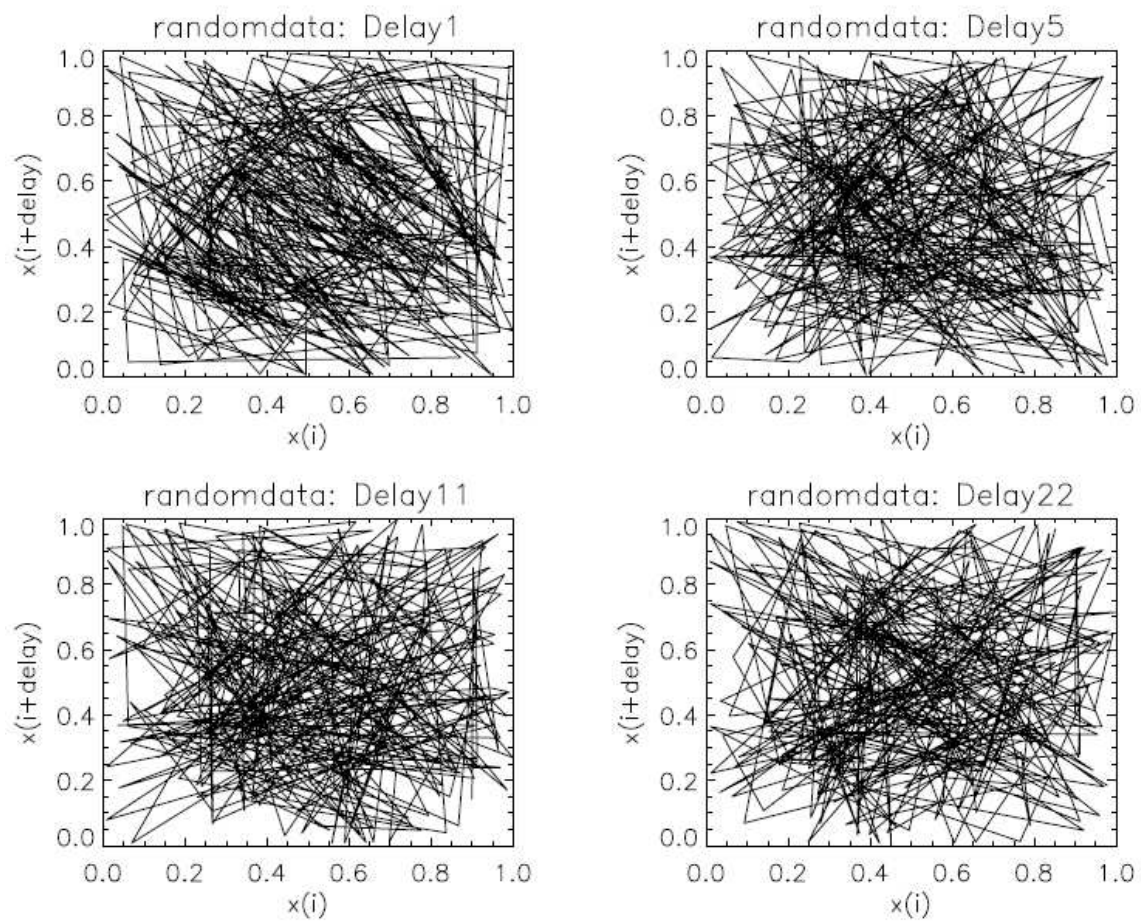


Diagramm 8: Randomzahlen mit verschiedenen Zeitverzögerungen gegen sich selbst aufgetragen

Wie zuvor bei den Sonnenfleckendaten wurden auch bei den Ap-Daten die Korrelationskoeffizienten für Zeitverzögerungen von ein bis 22 Jahre ermittelt, diese sind in Tabelle 6 aufgelistet. Es handelt sich um jährliche Durchschnittswerte des Ap-Index für den Zeitraum von 1845 bis 2009.

Zeitver- zögerung	Korrelations- koeffizienten
1	0.613
2	0.330
3	0.123
4	-0.002
5	-0.094
6	-0.145
7	-0.089
8	0.019
9	0.136
10	0.236
11	0.259
12	0.167
13	0.021
14	-0.110
15	-0.248
16	-0.202
17	-0.180
18	-0.195
19	-0.070
20	0.041
21	0.237
22	0.274

Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten Ap-Daten für Zeitverzögerungen von 1-24 Jahre

In Diagramm 9 sind die berechneten Korrelationskoeffizienten gegen die jeweiligen Zeitverzögerungen aufgetragen. Wie bei den Sonnenfleckendaten befinden sich die Maxima bei einer Verschiebung von jeweils 11 Jahren, in der Mitte des Sonnenzyklus zeigt sich eine Antikorrelation.

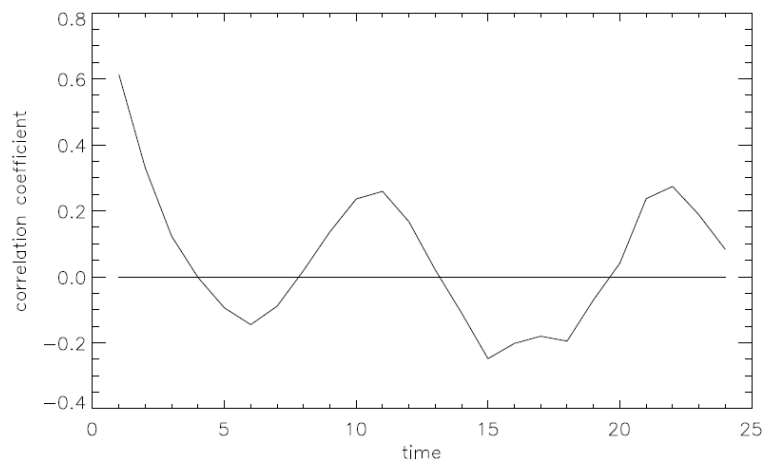


Diagramm 9: Korrelationskoeffizienten Ap-Daten für Zeitverzögerungen wie auf der x-Achse angegeben

3.3 Vergleich Sonnendaten – geomagnetische Indizes

In Diagramm 10 wurden die Sonnenfleckendaten sowie die Ap-Daten für den Zeitraum von 1845 bis 2009 illustriert. Der Abstand zwischen den Sonnenflecken- und Ap-Maxima wird im Laufe der Zeit immer größer (Ap-peaks hinter Sonnenfleckenpeaks).

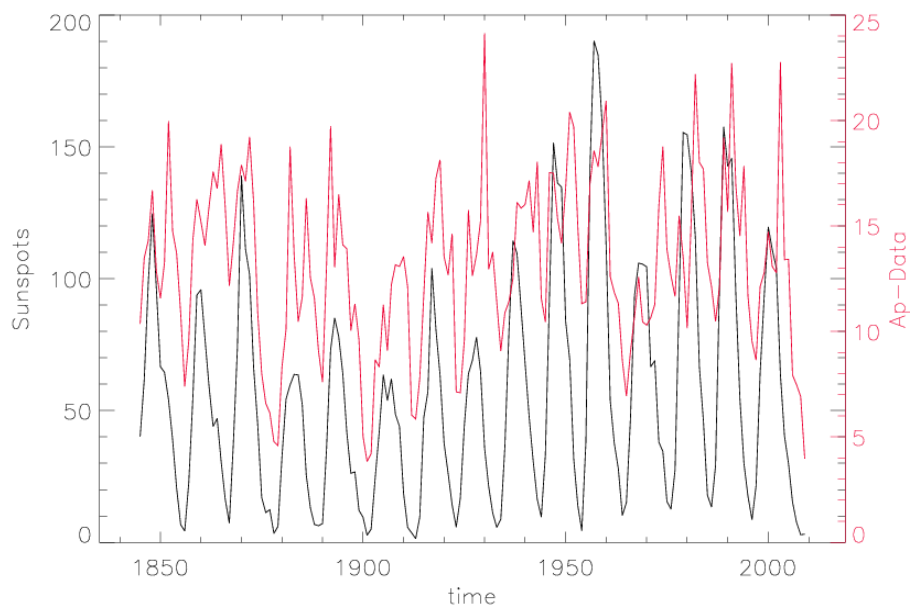


Diagramm 10: Zeitliche Entwicklung der Sonnenflecken sowie des Ap-Index

Echer et al. analysierten Sonnenflecken- sowie aa-Daten für den Zeitraum von 1868 bis 2000 und stellten fest, dass die Korrelation zwischen solarer und geomagnetischer Aktivität seit Anfang des 20. Jahrhunderts abgenommen und die zeitliche Verschiebung zugenommen hat. Als Ursache dafür wird die dual peak-Struktur des aa-Index angenommen. Der erste peak befindet sich im Bereich des Sonnenfleckenmaximums, in dem CMEs dominieren, der zweite tritt während der abfallenden Phase des Sonnenzyklus auf, in der CIRs – verursacht durch HSSs – dominieren. (*Echer et al.: 2004*)

Der größte Korrelationskoeffizient für die untersuchte Periode wurde mit $r = 0,66$ für eine zeitliche Verschiebung von einem Jahr gefunden (aa-Maximum hinter R_z -Maximum). Seit ca. 1910 hat diese zeitliche Verschiebung zugenommen und der Korrelationskoeffizient der beiden Zeitreihen abgenommen. Es lässt sich nicht sagen, ob dieser Korrelationsabfall einen allgemeinen Trend aufweist oder ob er Teil eines längerfristigen Sonnenaktivitätszyklus darstellt. (*Echer et al.: 2004*)

Es wurde beobachtet, dass das Verhältnis zwischen den beiden aa-peaks bis ca. 1910 größtenteils kleiner war als eins, danach immer größer als eins. Dies weist darauf hin, dass seit Anfang des letzten Jahrhunderts der zweite peak in Relation zum ersten gestiegen ist und dem zweiten peak dadurch eine größere Bedeutung zukommt als dies zuvor der Fall war. Dieses Ergebnis könnte den Anstieg der zeitlichen Verschiebung zwischen aa und R_z sowie den Abfall des Korrelationskoeffizienten erklären, weil der aa-Index seit Anfang des 20. Jahrhunderts stärker von CIRs/HSSs als von – den im Sonnenmaximum dominierenden – CMEs beeinflusst worden zu sein scheint. Die Auswertung jüngerer Daten (1964 bis 2000) zeigt den höchsten Korrelationskoeffizienten $r = 0,50$ bei einer zeitlichen Verschiebung von 2 Jahren. (*Echer et al.: 2004*)

In Tabelle 7 sind die Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für den Zeitraum von 1845 bis 2009 dargestellt. Die Korrelationskoeffizienten wurden für Zeitverzögerungen von 0 bis 24 Jahren berechnet, das Maximum liegt bei einer Verzögerung von einem Jahr. Das Korrelationsmaximum zwischen R_z und Ap-

Index liegt also bei der gleichen Zeitverzögerung wie das von Echer et al. ermittelte Korrelationsmaximum zwischen R_z und aa-Index.

Zeitver- zögerung	Korrelations- koeffizienten
0	0.537
1	0.598
2	0.525
3	0.372
4	0.135
5	-0.121
6	-0.337
7	-0.408
8	-0.319
9	-0.075
10	0.199
11	0.375
12	0.421
13	0.322
14	0.169
15	-0.008
16	-0.195
17	-0.304
18	-0.324
19	-0.223
20	-0.045
21	0.221
22	0.403
23	0.425
24	0.367

Tabelle 7: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für den Zeitraum 1845-2009

Diagramm 11 illustriert die oben aufgelisteten Korrelationskoeffizienten für Zeitverzögerungen von 0 bis 24 Jahren. Da die Maxima der Ap-Daten relativ zu den Sonnenfleckenmaxima um ein Jahr nach hinten verschoben sind, erhält man die größten Korrelationen, wenn die Ap-Zeitreihe um ein Jahr bzw. jeweils den 11-jährigen Sonnenzyklus + 1 Jahr nach vorn verschoben wird.

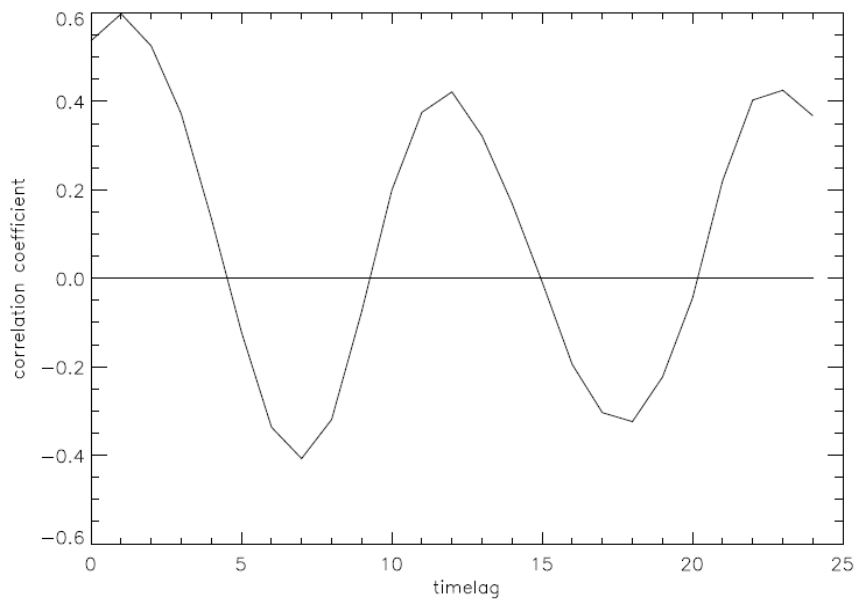


Diagramm 11: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten mit einem entsprechenden Timelag wie auf der x-Achse angegeben.

Da seit ca. 1910 die zeitliche Verschiebung zwischen Sonnenflecken und aa-Index zugenommen und der Korrelationskoeffizient der beiden Zeitreihen abgenommen hat (*Echer et al.*), wurden als nächstes die Korrelationskoeffizienten zwischen Sonnenflecken und Ap-Index für die Perioden von 1845 bis 1910 sowie von 1911 bis 2009 berechnet, jeweils für Zeitverzögerungen von 0 bis 14 Jahren. Diese sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Zeitver- zögerung	Korrelations- koeff. 1845-1910	Korrelations- koeff. 1911-2009
0	0.643	0.487
1	0.601	0.598
2	0.433	0.556
3	0.235	0.408
4	0.040	0.121
5	-0.156	-0.189
6	-0.330	-0.442
7	-0.423	-0.509
8	-0.395	-0.383
9	-0.197	-0.092
10	0.120	0.181
11	0.359	0.339
12	0.455	0.375
13	0.335	0.261
14	0.191	0.085

Tabelle 8: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für den Zeitraum 1845-1910 sowie für 1911-2009

Diagramm 12 zeigt die berechneten Korrelationskoeffizienten für die beiden Epochen. Wie erwartet liegt das Maximum in der früheren Periode bei einer Zeitverzögerung von 0 Jahren, während in der späteren Periode das Maximum bei einer Verzögerung von einem Jahr liegt.

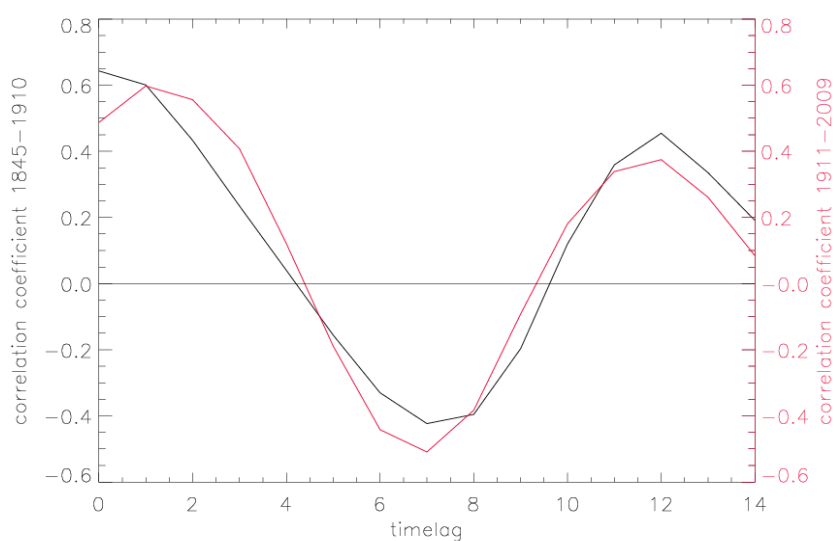


Diagramm 12: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für den Zeitraum 1845-1910 sowie für 1911-2009

Verbanac et al. untersuchten die Beziehung zwischen dem solaren Index F10.7 und dem planetaren Index Ap über den Zeitraum von 1960 bis 2001. F10.7 bezeichnet die solare Radioemission bei einer Wellenlänge von 10,7 cm. Dieser Index korreliert mit der Sonnenfleckenzahl sowie mit der extremen UV-Strahlung. Der Korrelationskoeffizient zwischen Ap und F10.7 beträgt $r = 0,44$. Dieser steigt bei einer einjährigen Zeitverschiebung von Ap hinter F10.7 auf $r = 0,52$, der maximale Korrelationskoeffizient wurde ebenfalls bei einer 2-jährigen Verschiebung gefunden und beträgt $r = 0,57$. Die Beziehung zwischen Ap und F10.7 kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$Ap(t) = 0,05 F10.7(t-2) + 8,3 \text{ (Verbanac et al.: 2010)}$$

Ebenfalls konsistent mit den Resultaten von Echer et al. ist die nachfolgende Arbeit von Verbanac et al.. Darin wurde die Sonnenfleckenzahl R_z mit dem Index Ap verglichen, ebenfalls für den Zeitraum von 1960 bis 2001. Auch hier wurde der größte Korrelationskoeffizient $r = 0,55$ bei einer 2-jährigen Zeitverschiebung von Ap hinter R_z gefunden. Damit wird das Ergebnis von Echer et al. bestätigt, dass das Ap-Maximum während der abfallenden Phase des Sonnenzyklus auftritt, in der die solare Aktivität von CIRs – verursacht durch HSSs – dominiert wird. (Verbanac et al.: 2011)

Anschließend haben auch wir jüngere Daten ausgewertet, um die Ergebnisse von Echer et al. und Verbanac et al. zu überprüfen. Es wurden die Korrelationskoeffizienten für den Zeitraum von 1960 bis 2009 für Verzögerungen von 0 bis 14 Jahren berechnet. Diese sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Zeitver- zögerung	Korrelations- koeff. 1960-2009
0	0.469
1	0.564
2	0.589
3	0.502
4	0.207
5	-0.085
6	-0.356
7	-0.459
8	-0.362
9	-0.121
10	0.192
11	0.394
12	0.521
13	0.416
14	0.273

Tabelle 9: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für den Zeitraum 1960-2009

Diagramm 13 illustriert die zuvor berechneten Korrelationen und es zeigt sich ein Korrelationsmaximum bei einer Zeitverzögerung der Ap-Daten um 2 Jahre. Damit werden die Ergebnisse von Echer et al. und Verbanac et al. bestätigt.

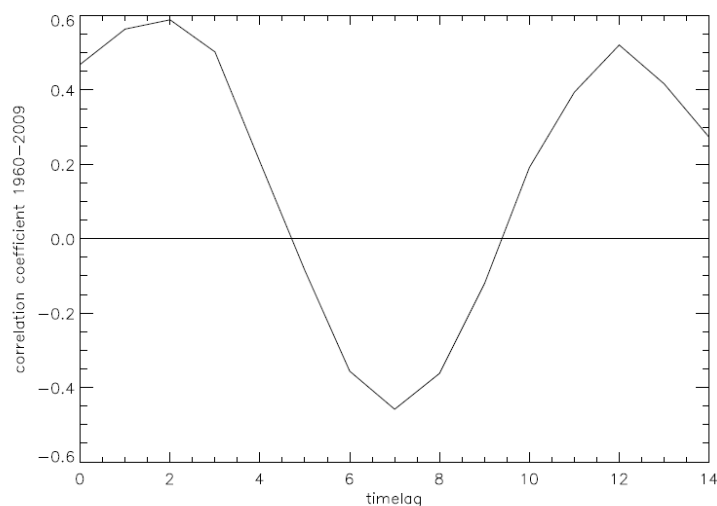


Diagramm 13: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für den Zeitraum 1960-2009, ausgewertet mit unterschiedlichen Timelags zwischen den Datensätzen. Der entsprechende Timelag ist auf der x-Achse gegeben, der sich einstellende Korrelationskoeffizient auf der y-Achse.

Die obigen Korrelationen wurden jeweils mit den jährlichen Durchschnittswerten ermittelt, daher ist aus diesen Ergebnissen nur eine ungefähre Abschätzung der zeitlichen Verschiebung zwischen der Sonnenaktivität und dem Erdmagnetfeld möglich. Um eine genauere Auswertung zu erhalten, wurde die Korrelationsanalyse anschließend mit den monatlichen Durchschnittsdaten von 1960 bis 2009 berechnet. Dies ergibt eine feinere Auflösung und ermöglicht es, das Korrelationsmaximum genauer heraus zu filtern. Die Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Zeitverzögerungen monatlich	Korrelations- koeff. 1960-2009
13	0.370
14	0.396
15	0.389
16	0.390
17	0.389
18	0.384
19	0.386
20	0.364
21	0.388
22	0.386
23	0.371
24	0.386
25	0.409
26	0.418
27	0.393
28	0.392
29	0.392
30	0.384
31	0.394
32	0.398
33	0.375
34	0.369
35	0.352
36	0.350

Tabelle 10: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten für Zeitverzögerungen von 13-36 Monaten

Es zeigt sich, dass bei Verwendung der monatlichen Durchschnittswerte die beiden Zeitreihen generell kleinere Korrelationen aufweisen als dies bei den jährlichen Daten der Fall ist. Den maximalen Korrelationskoeffizienten erhält man bei einer Verschiebung der Ap-Daten hinter den Sonnenfleckendaten von 26 Monaten (siehe Diagramm 14).

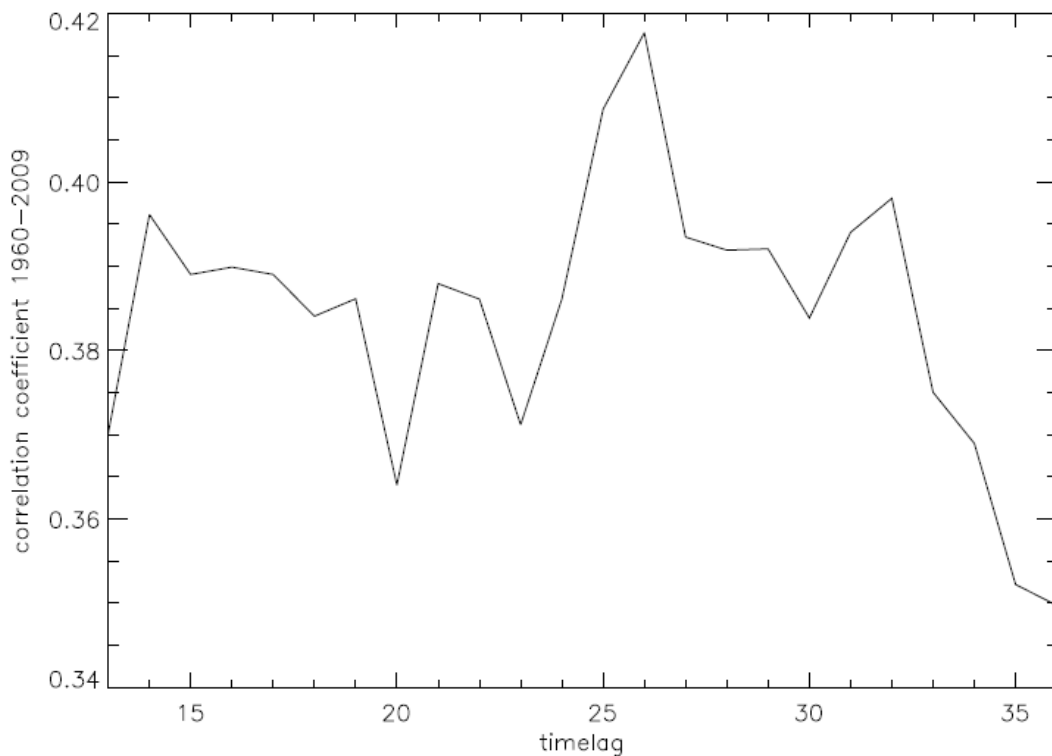


Diagramm 14: Korrelationen zwischen Sonnenflecken- und Ap-Daten bei Verwendung von monatlichen Durchschnittswerten für den Zeitraum 1960-2009

Kishcha et al. analysierten ebenfalls die Korrelation zwischen der solaren und geomagnetischen Aktivität, der untersuchte Zeitraum reicht vom Jahr 1868 bis 1997. Als Indikator für die Sonnenaktivität wurden die jährlichen Mittel der Sonnenfleckenzahl R_z verwendet und für die geomagnetische Aktivität die jährlichen Mittel des aa-Index. Da in dieser Analyse ein running window von 23 Jahren verwendet wurde, schränkt sich der Zeitraum auf die Jahre 1879 bis 1986 ein. Dieses Intervall wurde gewählt, da es einen gesamten Hale-Zyklus abdeckt und so die Abweichungen zwischen geraden und ungeraden Sonnenzyklen

ausgeglichen werden. In Diagramm 15 ist das Ergebnis dieser Analyse illustriert. (Kishcha et al.: 1999)

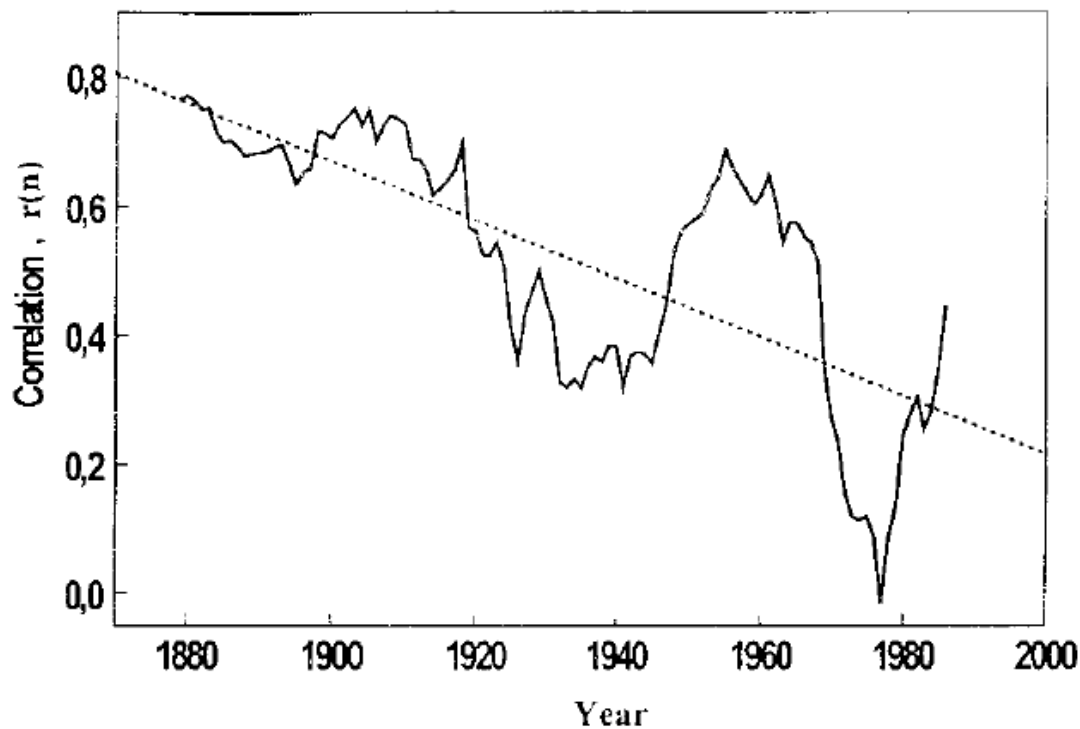


Diagramm 15: Korrelation zwischen R_Z - und aa-Indizes mit einem running window von 23 Jahren. Die Ausgleichsgerade zeigt einen abfallenden Trend. (Quelle: Kishcha et al.: 1999)

Langzeit-Variationen der 23-jährigen running window-Korrelation weisen eine Quasi-Periodizität von ca. 40 bis 50 Jahren auf. Es zeigt sich ein linearer, abfallender Trend, dessen Ursache in dem ansteigenden Trend der Zeitverzögerung liegt. Das Maximum der HSS-assozierten Komponente der geomagnetischen Aktivität ist relativ zum Sonnenfleckmaximum verschoben, weil die offenen Magnetfeldkonfigurationen der Sonnencorona während der abfallenden Phase eine größere Stabilität aufweisen als während des Maximums. (Kishcha et al.: 1999)

Legrand und Simon haben postuliert, dass zu ca. 90 % der Zeit die geomagnetische Aktivität von den aus den koronalen Löchern ausgehenden High Speed Streams kontrolliert wird. (Legrand & Simon: 1989)

In Diagramm 16 wird der zeitliche Verlauf der Korrelation zwischen R_z und Ap-Index abgebildet, es wurden die jährlichen Durchschnittswerte von 1845 bis 2009 verwendet und ebenfalls mit einem running window von 23 Jahren gerechnet. Wie erwartet weist der Graph eine große Similarität zu den von Kishcha et al. illustrierten Korrelationen zwischen R_z und aa-Index auf, jedoch standen uns Daten bis 2009 und nicht nur bis 1997 zur Verfügung. Es zeigt sich, dass die Korrelation in jüngster Zeit wieder zugenommen hat, daher zeigt unsere Ausgleichsgerade einen flacheren Abwärtstrend als dies bei Kishcha et al. der Fall ist.

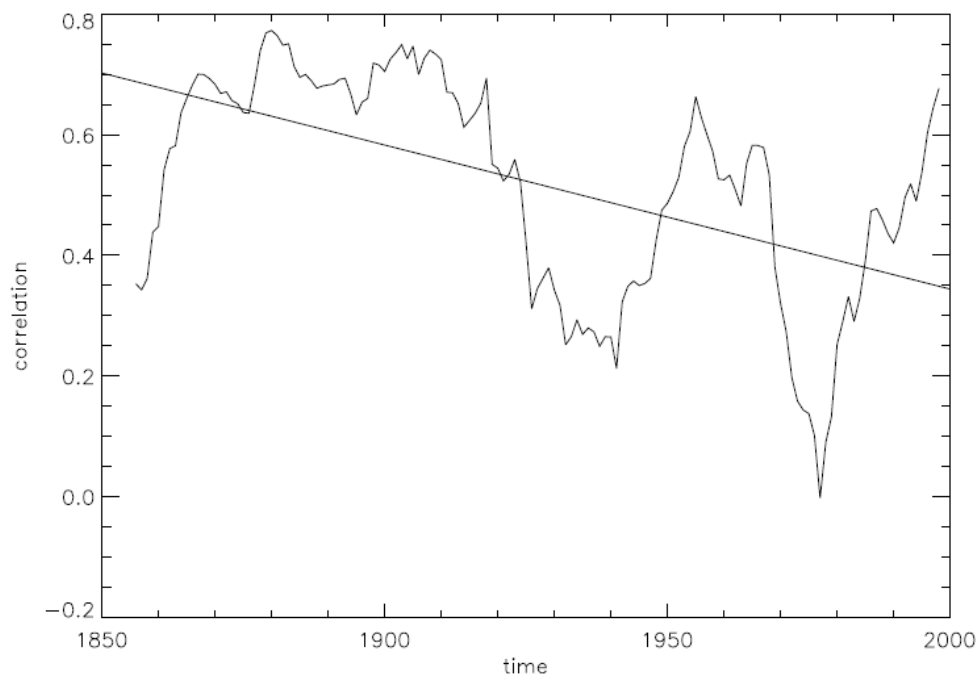


Diagramm 16: Zeitlicher Verlauf der Korrelation von R_z und Ap, gerechnet mit einem running window von 23 Jahren

In Diagramm 17 wurde ebenfalls die zeitliche Entwicklung der Korrelation zwischen R_z und Ap-Index illustriert, allerdings ist die Zeitreihe der Ap-Daten relativ zu den Sonnenfleckendaten um ein Jahr nach hinten verschoben. Die Ausgleichsgerade stellt auch hier einen negativen Trend dar, jedoch ist der Abfall viel flacher.

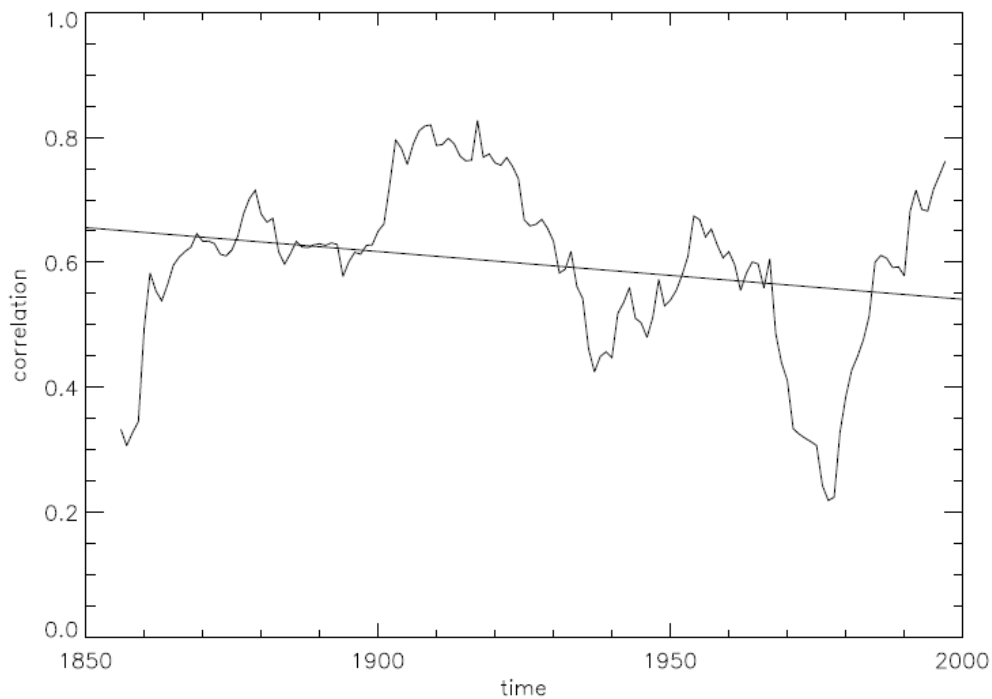


Diagramm 17: Zeitlicher Verlauf der Korrelation von R_z und A_p , gerechnet mit einem running window von 23 Jahren und einem Timelag von einem Jahr

In Diagramm 18 sind die A_p -Daten relativ zu den Sonnendaten um 2 Jahre nach hinten verschoben. Die Ausgleichsgerade stellt nun einen positiven Trend dar. Dieses Ergebnis geht konform mit den zuvor berechneten Korrelationskoeffizienten, die gegenwärtig ein Maximum bei einer 2-jährigen Zeitverschiebung von A_p hinter R_z aufweisen.

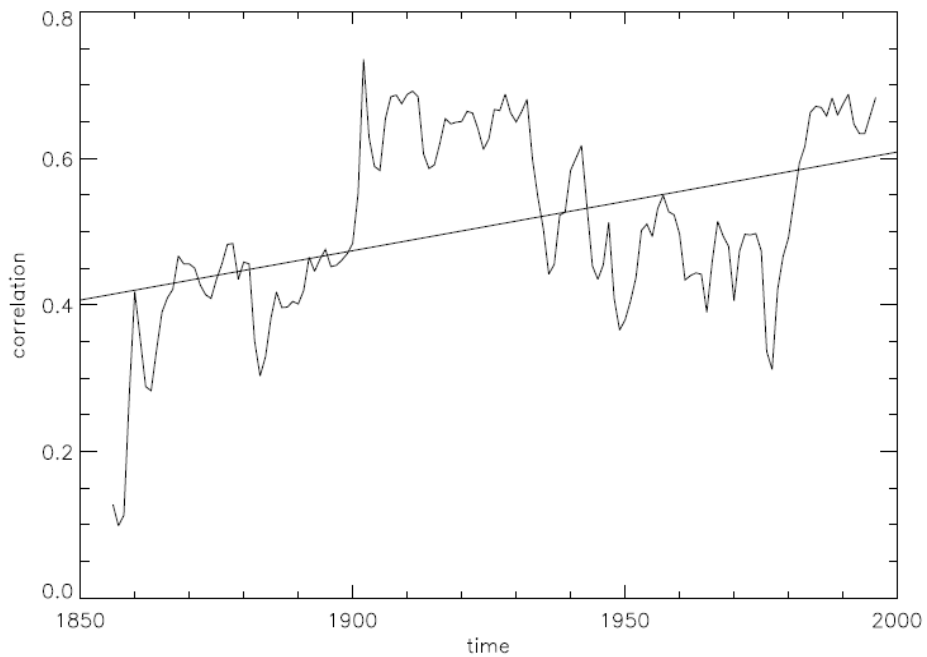


Diagramm 18: Zeitlicher Verlauf der Korrelation von R_z und A_p , gerechnet mit einem running window von 23 Jahren und einem Timelag von 2 Jahren.

In Diagramm 19 wurden die Korrelationskoeffizienten von R_z und A_p bei einer Zeitverschiebung von 3 Jahren berechnet. Die Ausgleichsgerade zeigt einen steilen Aufwärtstrend.

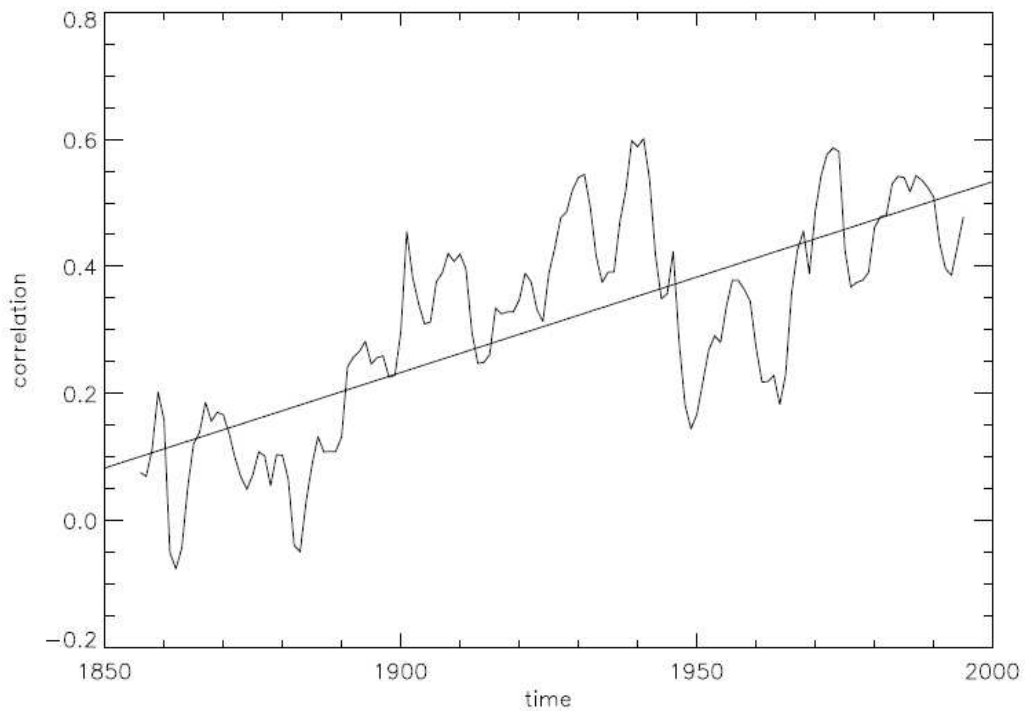


Diagramm 19: Zeitlicher Verlauf der Korrelation von R_z und A_p , gerechnet mit einem running window von 23 Jahren und einem Timelag von 3 Jahren

In Diagramm 20 wurden die Korrelationskoeffizienten von R_z und A_p bei einer Zeitverschiebung von 4 Jahren berechnet. Der Trend geht immer noch relativ steil nach oben, steigt aber nicht mehr so stark an wie bei der Zeitverzögerung von 3 Jahren.

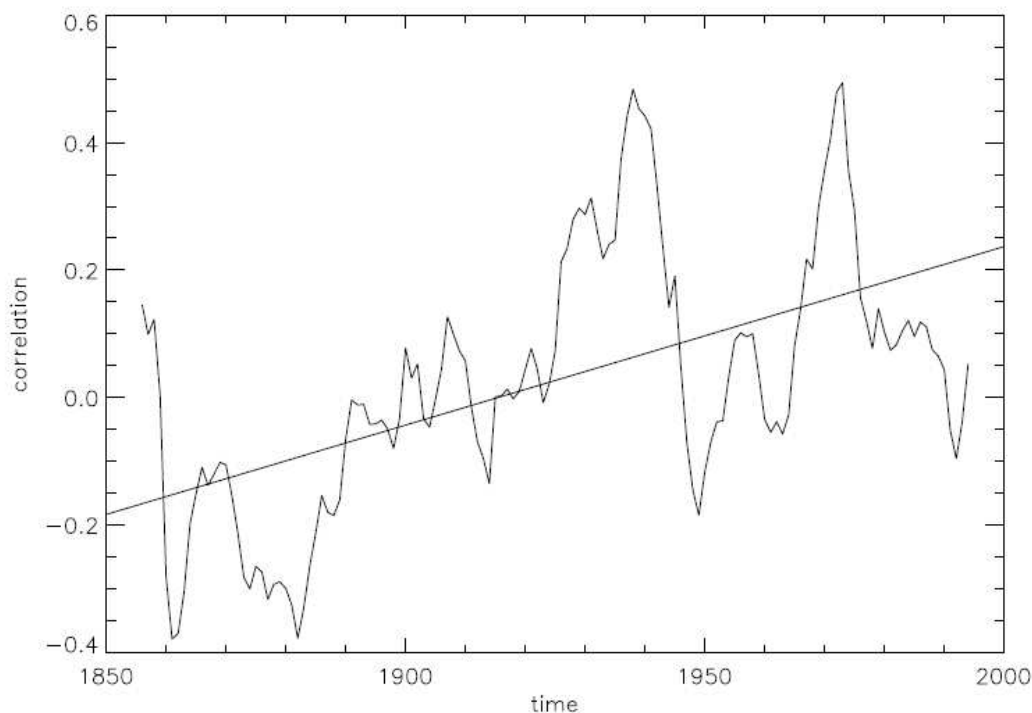


Diagramm 20: Zeitlicher Verlauf der Korrelation von R_z und A_p , gerechnet mit einem running window von 23 Jahren und einem Timelag von 4 Jahren

In Diagramm 21 wurden alle Ausgleichsgeraden in einem plot dargestellt und extrapoliert. Es zeigt sich, dass bis ca. 1880 keine Verzögerung zwischen den Sonnenflecken- und A_p -Daten vorhanden war. An dieser Stelle schneidet die Ausgleichsgerade, die den Trend bei 0 Jahren Zeitverzögerung darstellt, die Ausgleichsgerade, die den Trend bei einem Jahr Verzögerung darstellt. Daher erhalten wir ab diesem Zeitpunkt die maximale Korrelation bei einer Verschiebung von A_p hinter R_z von einem Jahr. Dieser Timelag herrschte knappe 90 Jahre vor, bevor ca. 1970 die Ausgleichsgerade mit einem Jahr Verzögerung die Ausgleichsgerade mit 2 Jahren Verzögerung schneidet und sich die maximale Korrelation seitdem bei einer Verschiebung von A_p hinter R_z von 2 Jahren zeigt. Dieser Timelag wird noch bis ca. 2045 anhalten, danach wird sich vermutlich das Korrelationsmaximum zwischen den beiden Zeitreihen bei einem Timelag von 3 Jahren ergeben.

Vermutlich wird sich der Timelag nie von 3 auf 4 Jahre vergrößern, da die Ausgleichsgerade, die den Trend bei 4 Jahren Zeitverzögerung darstellt, langsamer ansteigt als die Ausgleichsgerade, die den Trend bei 3 Jahren Verzögerung darstellt. Dieses Ergebnis ist auch zu erwarten, da eine 4-jährige Verzögerung schon fast einen halben Sonnenzyklus darstellt und nicht anzunehmen ist, dass man zu diesem Zeitpunkt anstatt einer Antikorrelation ein Korrelationsmaximum erhält.

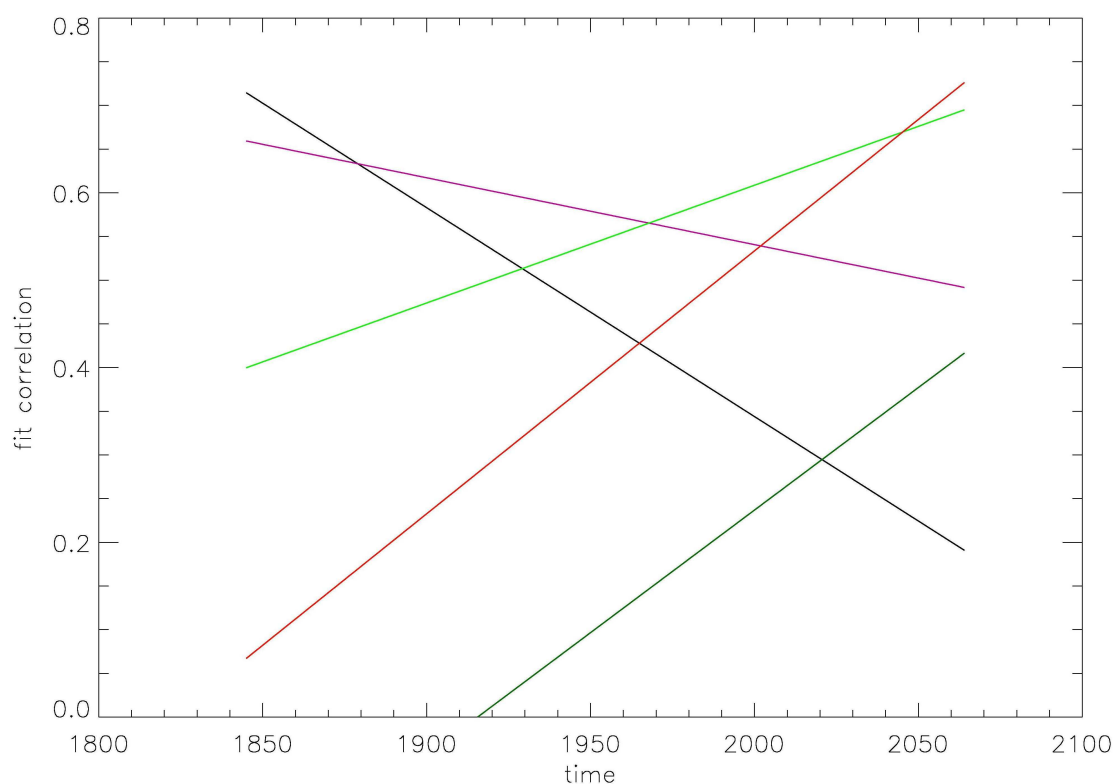


Diagramm 21: Trends der Korrelationen zwischen R_z und A_p für Timelags von 0-4 Jahre. schwarz: Timelag = 0 Jahre, lila: Timelag = 1 Jahr, hellgrün: Timelag = 2 Jahre, rot: Timelag = 3 Jahre, dunkelgrün: Timelag = 4 Jahre

Richardson et al. verglichen die unterschiedlichen Komponenten des Sonnenwinds mit dem aa-Index für den Zeitraum 1972 bis 2000. Der Sonnenwind wird in drei verschiedene Typen unterteilt:

1. Korotierende High Speed Streams, die geomagnetische Stürme von nur moderater Stärke erzeugen.
2. Langsamer Sonnenwind, der typischerweise mit niedriger geomagnetischer Aktivität assoziiert ist.
3. Kurzlebige, CME-assozierte Strukturen (interplanetare CMEs, Schocks), die starke geomagnetische Stürme verursachen.

Diagramm 22 zeigt, zu welchen Prozentsätzen die verschiedenen Sonnenwindkomponenten zum aa-Index beitragen. Es wurde mit den aa-Durchschnittswerten von jeweils drei Sonnenrotationen gerechnet. Richardson et al. kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die geomagnetische Aktivität während des Sonnenminimums von HSSs dominiert wird, während des Maximums von CMEs. (Richardson et al.: 2002)

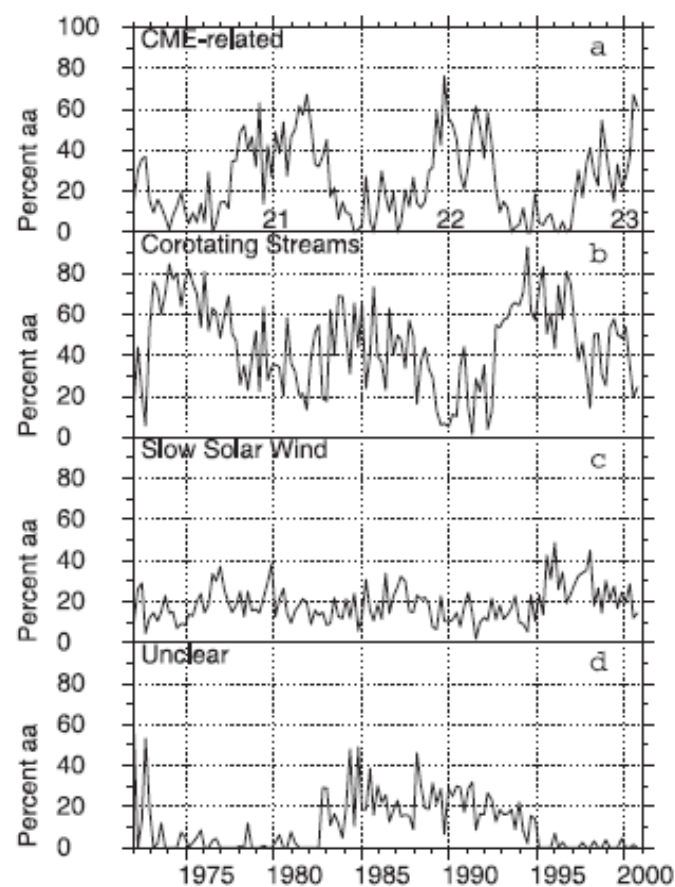


Diagramm 22: Prozentueller Beitrag der verschiedenen Sonnenwindkomponenten zum aa-Index während des Zeitraums von 1972 bis 2000 (Quelle: Richardson et al.: 2002)

CME-assozierte Strukturen okkupieren während des Sonnenminimums nur $<\sim 10$ % des Sonnenwinds, während des Sonnenmaximums ~ 35 %. Dementsprechend gibt es eine Veränderung bei den HSSs: In Zeiten niedriger Sonnenaktivität nehmen HSSs ~ 55 % des Sonnenwinds ein, in Zeiten hoher Sonnenaktivität ~ 35 %. Der langsame Sonnenwind leistet durchwegs einen Beitrag von ~ 30 %. (Richardson et al.: 2002)

Wang et al. untersuchten die Langzeit-Variation der magnetischen Flussdichte von offenen solaren Magnetfeldstrukturen Φ_{open} im Zeitraum von 1971 bis 1998. Während des Sonnenfleckensminimums rührt die offene magnetische Flussdichte hauptsächlich von den großen koronalen Löchern in den Polregionen her, während des Sonnenfleckensmaximums von kleinen koronalen Löchern, die sich in niedrigeren heliographischen Breiten befinden. Diese kleinen Löcher sind durch sehr hohe Feldstärken charakterisiert. Die Quelle des interplanetaren Magnetfelds (IMF) liegt in den offenen Magnetfeldregionen der Sonne. Messungen der radialen Komponente des interplanetaren Magnetfelds haben gezeigt, dass dessen Langzeit-Variationen sehr gut mit denen des aa-Index korrelieren. Der Korrelationskoeffizient für den berechneten Zeitraum beträgt $r = 0,71$. Im Vergleich dazu ergibt sich eine Korrelation zwischen dem aa-Index und R_z von nur $r = 0,28$. (Wang et al.: 2000)

Diagramm 23 illustriert den Verlauf von Φ_{open} , dem totalen magnetischen Fluss Φ_{tot} , der sowohl offene als auch geschlossene Felder inkludiert sowie von der Sonnenfleckenzahl R_z . Es zeigt, dass Φ_{open} im Gegensatz zu Φ_{tot} und R_z keinen starken sonnenzyklusbedingten Schwankungen unterworfen ist. Das Verhältnis $\Phi_{\text{tot}} / \Phi_{\text{open}}$ steigt von $\sim 2-3$ im Sonnenfleckensminimum auf ~ 10 im Maximum, in dem das totale photosphärische Magnetfeld von geschlossenen Magnetfeldstrukturen dominiert ist. Darüber hinaus liegt das Maximum von Φ_{open} 1-2 Jahre hinter den Maxima von Φ_{tot} und R_z . Der Korrelationskoeffizient von Φ_{tot} und Φ_{open} beträgt für den untersuchten Zeitraum nur $r = 0,33$. (Wang et al.: 2000)

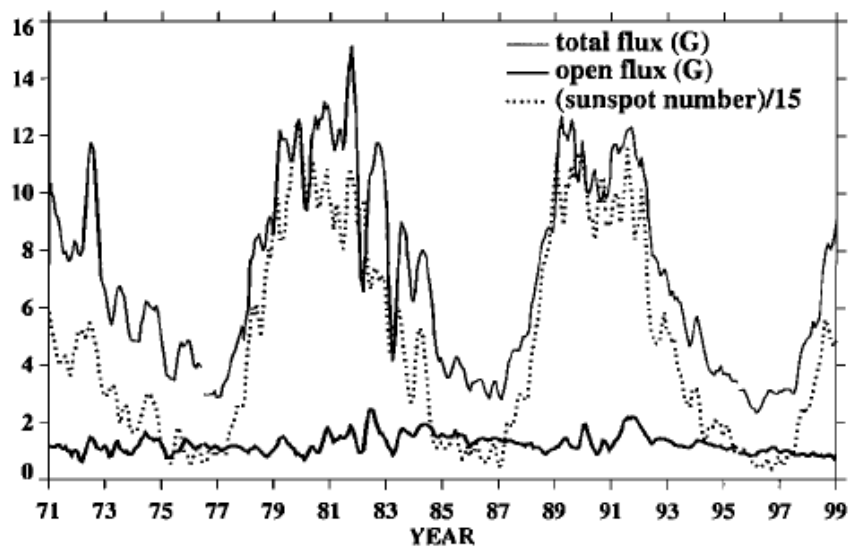


Diagramm 23: Zeitlicher Verlauf der totalen Flussdichte, offenen Flussdichte sowie der Sonnenfleckenrelativzahl, (Quelle: Wang et al.)

Die geringen Schwankungen von Φ_{open} sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Feldstärke in den offenen Regionen umso geringer ist, je mehr offene Regionen auf der Sonnenoberfläche vorhanden sind. Diagramm 23 zeigt, dass im Sonnenfleckenminimum ca. 20% der Photosphäre von koronalen Löchern bedeckt sind, im Sonnenfleckenmaximum sind es nur ca. 5%. Die durchschnittliche Feldstärke innerhalb der Löcher steigt aber von ca. 5 G im Minimum auf ca. 20 G im Maximum an. Φ_{open} – das Produkt von prozentueller Bedeckung und durchschnittlicher Feldstärke – bleibt also annähernd konstant. Die unteren zwei Kurven in Diagramm 24 zeigen, dass der offene magnetische Fluss im Sonnenfleckenminimum hauptsächlich aus heliographischen Breiten $> 45^\circ$ stammt, im Sonnenfleckenmaximum meist aus heliographischen Breiten $< 45^\circ$. Dies geht mit der Beobachtung von großen koronalen Löchern in den Polregionen während des Sonnenfleckenminimums sowie mit der Beobachtung von kleinen Löchern in niedrigeren Breitengraden während des Sonnenfleckenmaximums konform. (Wang et al.: 2000)

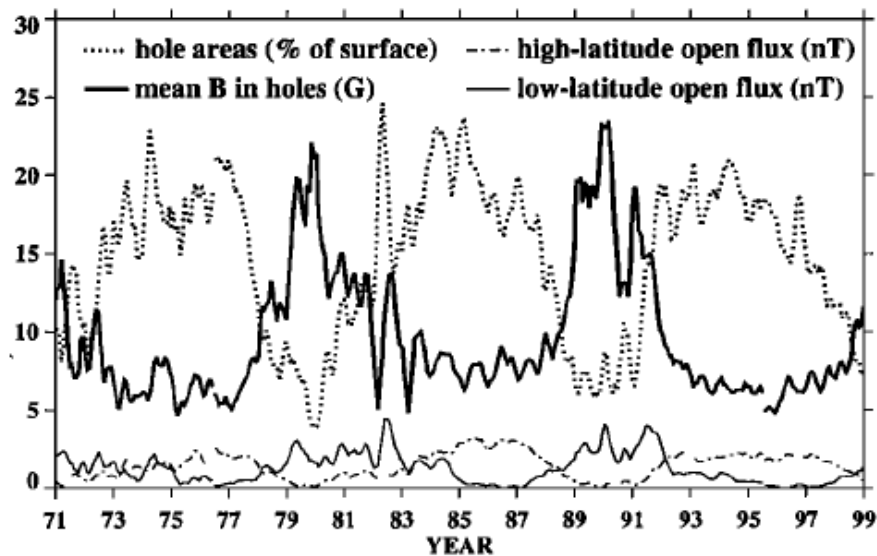


Diagramm 24: Je mehr Sonnenoberfläche von koronalen Löchern bedeckt ist, desto geringer ist die durchschnittliche Feldstärke innerhalb der Löcher. (Quelle: Wang et al.)

Lockwood et al. haben gezeigt, dass die von der Sonne ausgehende magnetische Flussdichte seit Anfang des 20. Jahrhunderts beträchtlich zugenommen hat. Messungen des erdnahen interplanetaren Magnetfeldes haben deutlich gemacht, dass der magnetische Fluss von 1964 bis 1996 um den Faktor 1,4 gestiegen ist. Da es für die Zeit vor 1964 keine weltraumgestützten Beobachtungsdaten gibt, wurde die Stärke des IMF durch Extrapolation von aa-Daten abgeleitet. Die Auswertung dieser Daten zeigt, dass sich die solare magnetische Flussdichte von 1901 bis 1996 mehr als verdoppelt hat, nämlich um den Faktor 2,31. (Lockwood et al.: 1999)

4 Zusammenfassung und Conclusio

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Sonnenaktivität über einen Zeitraum von mehr als 3 Jahrhunderten untersucht und festgestellt, dass diese im Laufe der Zeit starken Schwankungen unterworfen war. Als Indikator für die Sonnenaktivität wurde die Sonnenfleckenzahl R_z verwendet. Wie erwartet kristallisiert sich deutlich die Periodizität des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus heraus. Die Amplituden weisen eine hohe Variabilität auf, die auf den 80- bis 120-jährigen Gleissberg-Zyklus zurückzuführen sind.

Weiters erfolgte eine Untersuchung der geomagnetischen Aktivität für die Periode von 1845 bis 2009, als Indikator wurde der Ap-Index verwendet. Für die Untersuchung der Periodizität wurden die Ap-Daten wie die Sonnenfleckendaten gegen sich selbst mit delays von ein bis 22 Jahre aufgetragen, jedoch kristallisierte sich hier keine eindeutige Struktur heraus. Die Variabilität der Amplituden der Maxima könnte für die fehlende Struktur verantwortlich sein. Man müsste die Daten normieren, um ein besseres Ergebnis zu erhalten. Ein weiterer Grund für die fehlende Struktur könnte im Vorhandensein der dual-peak-Struktur des Ap-Index liegen.

Es wurde analysiert, inwieweit die beiden Zeitreihen miteinander korrelieren und für die untersuchte Periode von 1845 bis 2009 ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,54$ ermittelt. Es zeigte sich eine Abnahme der Korrelation, die auf eine Zunahme der zeitlichen Verschiebung zwischen den beiden Datensets zurückgeführt werden kann (Ap hinter R_z). Als Ursache für die Zunahme der Zeitverzögerung wird die dual-peak-Struktur des Ap-Index angenommen (*Echer et al.: 2004*), wobei sich der erste peak im Bereich des Sonnenfleckensmaximums befindet, der zweite tritt während der abfallenden Phase des Sonnenzyklus auf. Echer et al. sowie Richardson et al. kommen zu dem Ergebnis, dass der erste peak mit den im Sonnenmaximum dominierenden CMEs, also geschlossenen Magnetfeldstrukturen assoziiert ist, während der zweite peak mit den von koronalen Löchern emittierten

HSSs assoziiert ist. Koronale Löcher sind Regionen mit offener Magnetfeldstruktur. Da der zweite peak seit Anfang des letzten Jahrhunderts in Relation zum ersten gestiegen zu sein scheint (*Echer et al.*: 2004), kommt der HSSs-assoziierten Komponente der geomagnetischen Aktivität nun eine größere Bedeutung zu als dies zuvor der Fall war. HSSs treten vermehrt während der abfallenden Phase des Sonnenzyklus auf (*Echer et al.*: 2004, *Verbanac et al.*: 2010, 2011, *Tsurutani et al.*: 2006, *Kishcha et al.*: 1999, *Richardson et al.*: 2002). Es wird angenommen, dass der Grund hierfür darin liegt, dass die offenen Magnetfeldstrukturen in der abfallenden Phase eine größere Stabilität aufweisen als während des Sonnenmaximums (*Kishcha et al.*: 1999).

Die Analyse der verwendeten Daten hat ergeben, dass das Korrelationsmaximum zwischen R_z und A_p bis ca. 1880 bei einem Timelag von 0 Jahren zu finden war. Danach ergab sich bis ca. 1970 die maximale Korrelation bei einem Timelag von einem Jahr (A_p hinter R_z). Seit diesem Zeitpunkt ermittelt man den größten Korrelationskoeffizienten bei einem Timelag von 2 Jahren. Diese Ergebnisse gehen konform mit den von *Echer et al.* und *Verbanac et al.* durchgeführten Untersuchungen.

Aufgrund der Ergebnisse der Extrapolation der Trends bei verschiedenen Zeitverschiebungen ist anzunehmen, dass ab ca. 2045 die größte Korrelation bei einem Timelag von 3 Jahren zu finden sein wird. Dass sich dieser jemals von 3 auf 4 Jahre vergrößern wird, ist nicht zu erwarten.

5 Anhang

5.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

Babcock, H.W.: 1961, The Topology of the Sun's magnetic Field and the 22-year Cycle, *Astrophysical Journal*, vol. 133, 572

Echer, E., Gonzalez, W.D., Gonzalez, A.L.C., Prestes, A., Vieira, L.E.A., Dal Lago, A., Guarnieri, F.L., Schuch, N.J.: 2004, Long-term correlation between solar and geomagnetic activity, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 66, 1019-1025

Friis-Christensen, E., Lassen, K.: 1991, The Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity closely associated with Climate, *Science*, vol. 254, No. 5032, 698-700

Garcia, A., Mouradian, Z.: 1998, The Gleissberg Cycle of Minima, *Solar Physics* 180, 495-498

Hale, G.E., Ellerman, F., Nicholson, S.B., Joy, A.H.: 1919, The Magnetic Polarity of Sunspots, *Astrophysical Journal*, vol. 49, 153

Hanslmeier, A.: 2002, *The sun and space weather*, Dordrecht [u.a.]: Kluwer

Hanslmeier, A., Brajsa, R.: 2010, The chaotic solar cycle I. Analysis of cosmogenic ^{14}C -data, *Astronomy & Astrophysics* 509

Kahler, S.W.: 1992, Solar Flares and Coronal Mass Ejections, *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 30, 113-141

Kennel, M.B., Brown, R., Abarbanel, H.D.I.: 1992, Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction, *Physical Review A*, vol. 45, number 6, 3403-3411

Kishcha, P.V., Dmitrieva, I.V., Obridko, V.N.: 1999, Long-term variations of the solar-geomagnetic correlation, total solar irradiance, and northern hemispheric temperature (1868-1997), *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 61, 799-808

Kopp, G., Lawrence G., Rottman, G.: 2005, The Total Irradiance Monitor (TIM): Science Results, *Solar Physics*, vol. 230, 129-139

Krieger, A.S., Timothy, A.F., Roelof, E.C.: 1973, A Coronal Hole and its Identification as the Source of a High Velocity Solar Wind Stream, *Solar Physics*, vol. 29, 505-525

Legrand, J.P., Simon, P.A.: 1989, Solar cycle and geomagnetic activity: a review for geophysicists, parts I and II, *Annales Geophysicae* 7, 565-594

Lockwood, M., Stamper, R., Wild, M. N.: 1999, A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the past 100 years, *Nature*, vol. 399, 437-439

Low, B.C.: 2001, Coronal mass ejections, magnetic flux ropes, and solar magnetism, *Journal of Geophysical Research*, vol. 106, 141-163

McKenna-Lawlor, S.M.P., Dryer, M., Fry, C.D., Smith, Z.K., Intriligator, D.S., Courtney, W.R., Deehr, C.S., Sun, W., Kecskemety, K., Kudela, K., Balaz, J., Barabash, S., Futaana, Y., Yamauchi, M., Lundin, R.: 2008, Predicting interplanetary shock arrivals at Earth, Mars and Venus: A real-time modeling experiment following the solar flares of 5-14 December 2006, *Journal of Geophysical Research*, vol. 113

Mullan, D.J.: 1984, Corotating Interaction Regions in stellar winds, *The Astrophysical Journal*, 283, 303-312

Paulikas, G.A., Blake, J.B.: 1979, Effects of the solar wind on magnetospheric dynamics – Energetic electrons at the synchronous orbit, Quantitative modeling of magnetospheric processes, *American Geophysical Union*, 180-202

Perrone, L., De Franceschi, G.: 1998, *Annali di Geofisica*, vol. 41, 843-855

Richardson, I.G., Cane, H.V., Cliver, E.W.: 2002, Sources of geomagnetic activity during nearly three solar cycles (1972-2000), *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, No. A8, 1187

Sheeley, N.R. Jr., Herbst, A.D., Palatchi, C.A., Wang, Y.-M., Howard, R.A., Moses, J.D., Vourlidas, A., Newmark, J.S., Socker D.G., Plunkett, S.P., Korendyke, C.M., Burlaga, L.F., Davila, J.M., Thompson, W.T., St. Cyr, O.C., Harrison, R.A., Davis, C.J., Eyles, C.J., Halain, J.P., Wang, D., Rich, N.B., Battams, K., Esfandiari, E., Stenborg, G.: 2008, Heliospheric Images of the Solar Wind at Earth, *The Astrophysical Journal*, vol. 675, 853-862

Solanki, S. K.: 2003, Sunspots: An overview, *The Astronomy and Astrophysics Review* 11, 153-286

Svestka, Z., Cliver, E.W.: 1992, History and Basic Characteristics of Eruptive Flares, *Proceedings of Colloquium #133 of the International Astronomical Union*, Springer-Verlag, New York

Tanskanen, E.I., Slavin, J.A., Tanskanen, A.J., Viljanen, A., Pulkkinen, T.I., Koskinen, H.E., Huttunen, K.E.: 2005, Substorm and High Speed Stream Observations during Solar Cycles 22 and 23, *American Geophysical Union, Spring Meeting 2005*

Tsurutani, B.T., Gonzalez, W.D., Gonzalez, A.L.C., Guarnieri, F.L., Gopalswamy, N., Grande, M., Kamide, Y., Kasahara, Y., Lu, G., Mann, I., McPherron, R., Soraas, F., Vasyliunas, V.: 2006, Corotating solar wind streams and recurrent geomagnetic activity: A review, *Journal of Geophysical Research*, vol. 111

Verbanac, G., Vrsnak, B., Temmer, M., Manda, M., Korte, M.: 2010, Four decades of geomagnetic and solar activity: 1960-2001, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 72, 607-616

Verbanac, G., Manda, M., Vrsnak, B., Sentic, S.: 2011, Evolution of Solar and Geomagnetic Activity Indices and their Relationship: 1960-2001, *Solar Physics* 271, 183-195

Wang, Y.M., Lean, J., Sheeley, N.R. Jr.: 2000, The long-term variation of the Sun's open magnetic flux, *Geophysical Research Letters*, vol. 27, No. 4, 505-508

Artikel online:

Cranmer, S.R.: 2001, Coronal Holes, Mordin, P., *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, online unter:

<https://www.cfa.harvard.edu/~scanmer/Preprints/eeee_holes.pdf>

(letzter Zugriff: 22.01.2012)

Schwenn, R., Schlegel, K.: 2001, Sonnenwind und Weltraumwetter, *Spektrum der Wissenschaft, Dossier*, vol. 3, 15-23, online unter:

<http://www.mps.mpg.de/dokumente/publikationen/pa/pa_0107_weltraumwetter.pdf>

(letzter Zugriff: 23.01.2012)

Schlegel, K., Woch, J.: 2005, Die Magnetosphäre der Erde, online unter:
<http://www.mps.mpg.de/dokumente/publikationen/pa/pa_0110_magnetosphaere.pdf>
(letzter Zugriff: 14.03.2012)

Quellen online:

GFZ Helmholtz Centre Potsdam, online unter:
<http://www-app3.gfz-potsdam.de/kp_index/index.html>
(letzter Zugriff: 22.03.2012)

Solar Influences Data Analysis Center, online unter:
<<http://sidc.oma.be/>>
(letzter Zugriff: 03.03.2012)

5.2 Abstract

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde die Korrelation zwischen der solaren und geomagnetischen Aktivität analysiert. Als Indikatoren dienten die Sonnenfleckenrelativzahl R_z sowie der Ap-Index, die untersuchte Periode umfasst die Jahre von 1845 bis 2009. Es wurde festgestellt, dass der Korrelationskoeffizient im Laufe der Zeit abgenommen und die zeitliche Verschiebung zwischen den beiden Datensets zugenommen hat (Ap hinter R_z). Die Auswertung der Daten hat ergeben, dass das Korrelationsmaximum seit ca. 1970 bei einer Zeitverschiebung von 2 Jahren liegt. Es ist anzunehmen, dass das Korrelationsmaximum noch bis ca. 2045 bei diesem Timelag liegt, danach wird sich die Verschiebung vermutlich auf 3 Jahre vergrößern. Es ist nicht zu erwarten, dass sich die Zeitverzögerung jemals von 3 auf 4 Jahre vergrößern wird.

5.3 Lebenslauf

Name: Barbara Kaschel Bakk.

Geburtsort: Wien

Geburtsdatum: 22.02.1980

14.06.2000: Matura an der Vienna Business School
(Handelsakademie der Wiener Kaufmannschaft)

2004 – 2008: Universität Wien, Bakkalaureatsstudium Astronomie

2009 – 2012: Universität Wien, Magisterstudium Astronomie
Titel Magisterarbeit: Solare Variabilität und geomagnetische Indizes

Poster: Solar Variability and Planetary Indices
Central European Solar Physics Meeting V, Oktober 2011
Bairisch Kölldorf, Steiermark