

Der Sonne-Klima-Effekt: Die Winterpförtner-Hypothese V

geschrieben von Chris Frey | 5. September 2022

Eine Rolle für die Sonne bzgl. Klimawandel

Javier Vinós & [Andy May](#)

„Sobald man anfängt zu zweifeln, genau wie man zweifeln soll. Sie fragen mich, ob die Wissenschaft wahr ist, und wir sagen: ‚Nein, nein, wir wissen nicht, was wahr ist, wir versuchen, es herauszufinden, alles ist möglicherweise falsch‘ ... Wenn man zweifelt und fragt, wird es etwas schwieriger zu glauben. Ich kann mit Zweifeln und Ungewissheit und Nichtwissen leben. Ich denke, es ist viel interessanter, mit dem Nichtwissen zu leben, als Antworten zu haben, die vielleicht falsch sind.“ – Richard Feynman (1981)

5.1 Einführung

Die Entdeckung der multidekadischen Schwankungen in den 1990er Jahren (siehe Teil IV) hat gezeigt, dass die Wissenschaft des Klimawandels sehr unausgereift ist. Die Antwort auf die Frage, was die beobachtete Erwärmung verursacht, wurde gegeben, bevor die richtigen Fragen gestellt wurden. Sobald die Antwort bekannt gegeben wurde, waren Fragen nicht mehr willkommen. Michael Mann sagte über eine skeptische Judith Curry:

„Ich weiß nicht, was sie zu tun gedenkt, aber es hilft weder der Sache noch ihrer beruflichen Glaubwürdigkeit.“ – (Mann 2008)

Aber wie Peter Medawar feststellte:

„Die Intensität der Überzeugung, dass eine Hypothese wahr ist, hat keinen Einfluss darauf, ob sie wahr ist oder nicht.“ – Peter Medawar (1979)

Die Meinung von Wissenschaftlern ist keine Wissenschaft, und ein wissenschaftlicher Konsens ist nichts anderes als eine kollektive Meinung, die auf Gruppendenken beruht. Wenn Zweifel an einem wissenschaftlichen Konsens („so wie man eben zweifeln soll“, wie Feynman sagte) unerwünscht sind, wird die kollektive Meinung zum Dogma, und ein Dogma ist eindeutig keine Wissenschaft.

Lennart Bengtsson, ehemaliger Direktor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, Gewinner des Descartes-Preises und eines WMO-Preises für bahnbrechende Forschung, brachte es auf den Punkt, nachdem er sich bereit erklärt hatte, in einer skeptischen Organisation mitzuarbeiten, geleitet von Nigel Lawson, einem Mitglied des Oberhauses und ehemaligen

Schatzkanzler:

„Ich hatte nicht mit einem solch enormen weltweiten Druck gerechnet, der von einer Gemeinschaft ausgeht, der ich mein ganzes aktives Leben lang nahe gestanden habe. Kollegen entziehen mir ihre Unterstützung, andere Kollegen ziehen sich aus der gemeinsamen Autorenschaft zurück usw. Ich sehe keine Grenze und kein Ende für das, was passieren wird. Es ist eine Situation, die mich an die Zeit von McCarthy erinnert. So etwas hätte ich in einer so ursprünglich friedlichen Gemeinschaft wie der Meteorologie nicht erwartet. Offenbar hat sie sich in den letzten Jahren gewandelt.“ – (von Storch 2014).

Das ist der Effekt, den Dogmen auf Wissenschaftler haben: Normale wissenschaftliche Forschung wird durch die Einführung eines starken Gruppenvorurteils gegen die Infragestellung des Dogmas unmöglich.

Sind Dogmen erst einmal etabliert, entziehen sie sich in der Regel einer wissenschaftlichen Überprüfung. Stuart Firestein fragt in seinem 2012 erschienenen Buch „Ignorance: How it Drives Science“, ob...

„... es wirklich einen Grund gibt zu glauben, dass unsere moderne Wissenschaft nicht unter ähnlichen Fehlern leidet? Je erfolgreicher ein Faktum ist, desto besorgniserregender kann es sein. Wirklich erfolgreiche Fakten haben die Tendenz, unangreifbar für Revisionen zu werden.“ – Stuart Firestein (2012)

Das wichtigste Dogma der Klimawissenschaft wird im Fünften Sachstandsbericht (AR5) des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen wie folgt formuliert:

„Es ist sehr wahrscheinlich, dass mehr als die Hälfte des beobachteten Anstiegs der globalen durchschnittlichen Oberflächentemperatur von 1951 bis 2010 durch den anthropogenen Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen und andere anthropogene Einflüsse zusammen verursacht wurde. Die beste Schätzung des anthropogenen Beitrags zur Erwärmung ist ähnlich wie die beobachtete Erwärmung in diesem Zeitraum (Abbildung SPM.3)“ – (IPCC 2014)

Es gibt jedoch keine Beweise, die dieses Dogma stützen. Es basiert auf den Ergebnisse von Computermodellen, die mit denselben Annahmen programmiert wurden, die sich aus ihnen ergeben – ein klarer Fall eines Zirkelschlusses. Ein Beispiel für solche Annahmen ist, dass die einzige akzeptierte Auswirkung der Sonnenvariabilität auf das Klima die Änderung der Gesamt-Sonneneinstrahlung (TSI) ist. Keiner der in Teil II beschriebenen solaren Effekte wird berücksichtigt, weil sie nicht akzeptiert sind, und selbst wenn sie akzeptiert wären, wüssten wir nicht, wie wir sie programmieren sollen. Wir wissen nicht, wie sie ablaufen oder wie sie das Klima beeinflussen. **Die Verfechter der modernen Klimatheorie sind so überheblich, dass sie glauben, wir wüssten gut genug, wie sich das Klima verändert, um verlässliche Prognosen für 75 Jahre in die Zukunft zu erstellen.**

[Hervorhebung vom Übersetzer]

Contributions to observed surface temperature change over the period 1951–2010

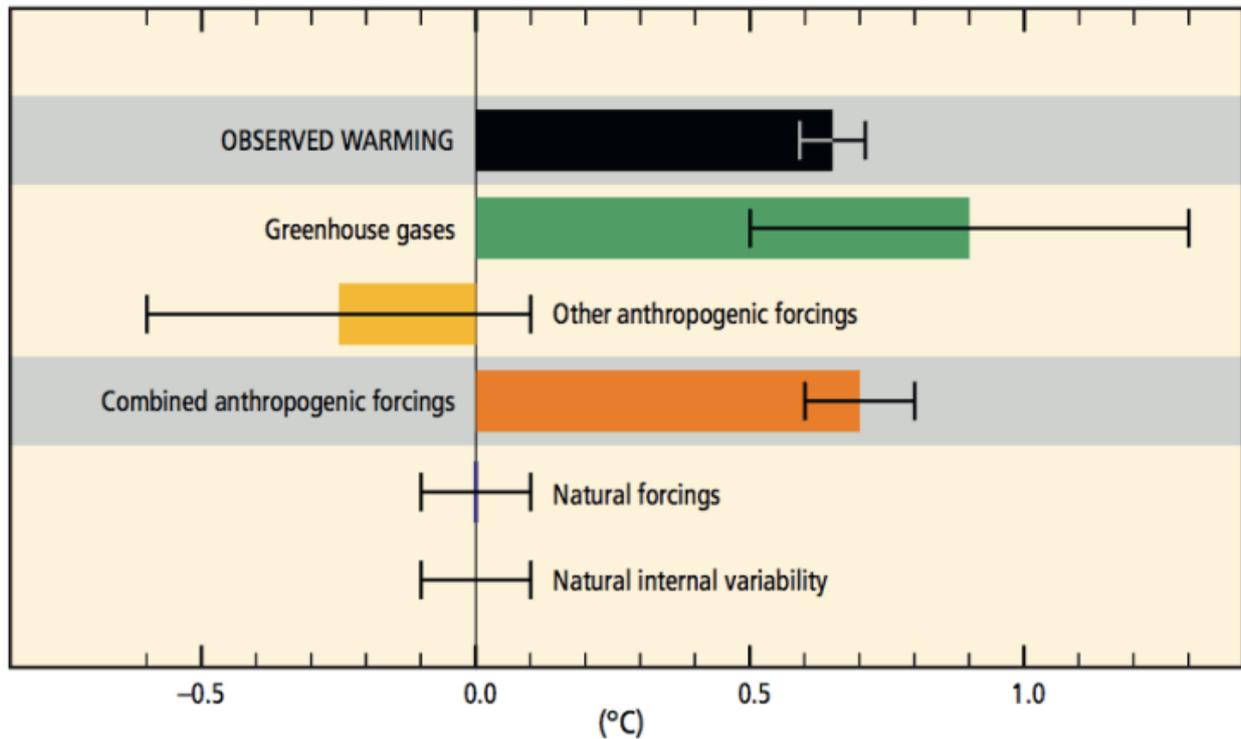


Abbildung 5.1. Die AR5-Zusammenfassung aller Klimawandel-Antriebe.

Abbildung 5.1 ist das Hauptdogma der Klimawissenschaft, wie in Abbildung SPM.3 aus dem AR5 (dem fünften IPCC-Bericht) dargestellt. Darin wird behauptet, dass die beobachtete Erwärmung zwischen 1951 und 2010 auf anthropogene Ursachen zurückzuführen sei, ohne Beitrag natürlicher Faktoren, trotz geringer vulkanischer Aktivität und hoher Sonnenaktivität und ohne jeglichen Beitrag multidekadischer Oszillationen, obwohl die Erwärmungsperiode zwischen 1976 und 2000 mit einem AMO-Anstieg zusammenfiel.

Das wichtigste Dogma der Klimawandelwissenschaft ist falsch. In [Teil III](#) haben wir gezeigt, wie wichtig der meridionale Transport (MT) und der latitudinale Temperaturgradient (LTG) sowohl für das globale als auch für das regionale Klima sind. Sie bestimmen, wie viel Energie zu den Polen geleitet wird. In [Teil IV](#) haben wir gezeigt, dass Veränderungen des MT zu Verschiebungen des Klimaregimes führen und dass diese Verschiebungen den Energiehaushalt des Klimasystems verändern. Diese Beweise widerlegen das Dogma und zeigen, dass Veränderungen der MT einen Klima-antrieb darstellen, der in Abb. 5.1 nicht berücksichtigt ist. In [Teil II](#) haben wir die Beweise dafür untersucht, dass Veränderungen der Sonnenaktivität den Polarwirbel, ENSO, die Rotationsrate der Erde und die Ausbreitungseigenschaften der planetarischen Wellen in der Atmosphäre beeinflussen, was zu dynamischen räumlich-zeitlichen

Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation, der Temperatur und des Niederschlags führt, die mit den erheblichen Klimaveränderungen der Vergangenheit korrespondieren, wie sie durch paläoklimatologische Beweise belegt sind. Jeder einzelne der von der Sonnenaktivität beeinflussten Klimafaktoren deutet auf einen Einfluss der variablen Sonne auf MT hin. Veränderungen der Sonnenaktivität wirken sich auf die MT aus, und Veränderungen der MT sind eine Hauptursache für den Klimawandel, was das Klimadogma weiter widerlegt.

5.2 Meridionaler Transport – Vielfache Regulierung

MT ist der wichtigste Modulator des globalen Klimas. Die große Komplexität der gekoppelten globalen Ozean-Atmosphären-Zirkulation mit all ihren Variabilitätsmodi, Oszillationen, Telekonnektionen und Modulationen ist nur die Manifestation einer einzigen zugrundeliegenden Ursache, nämlich des Transports von Energie von ihrem Eintrittspunkt in das Klimasystem zu ihrem Austrittspunkt. Masse (einschließlich Wasser) wird direkt oder indirekt durch den Energietransport transportiert. Wie wir in [Teil III](#), Abschnitt 3, gesehen haben, wird MT hauptsächlich durch die Atmosphäre transportiert (siehe Abb. 3.4), und zwar auf zwei getrennten, aber gekoppelten Bahnen: zum einen durch die Stratosphäre (die Brewer-Dobson-Zirkulation, BDC), zum anderen durch die Troposphäre, hauptsächlich über Ozeanbecken, wobei sowohl die Atmosphäre als auch der Ozean dazu beitragen. Die Kopplung dieser beiden Bahnen ist zeitlich und räumlich variabel (Kidston et al. 2015). In der Äquatorialzone gibt es eine Kopplung durch hoch reichende Konvektion und den aufsteigenden Zweig der BDC (Collimore et al. 2003) und in hohen Breiten durch den Polarwirbel (PV). Der absteigende Ast in den mittleren Breiten ist komplex und variiert je nach Längengrad (Elsbury et al. 2021). Die Absinkbewegung erfolgt hauptsächlich durch Veränderungen der stratosphärischen Temperaturgradienten und die Reaktion der Wind-Thermik-Bilanz. Diese wiederum beeinflusst die Stärke der mittleren zonalen Zirkulation sowie die Position und Stärke der troposphärischen Jets, Wirbel und Sturm-Zugbahnen (Kidston et al. 2015). Der aufwärts gerichtete Ast hängt von Änderungen der Konvektion und der Erzeugung atmosphärischer Wellen ab. Folglich ist die Kopplung im Winter stärker, wenn die Temperaturgegensätze und die Erzeugung atmosphärischer Wellen in der Troposphäre intensiver sind und die Temperaturgradienten in der Stratosphäre steiler sind.

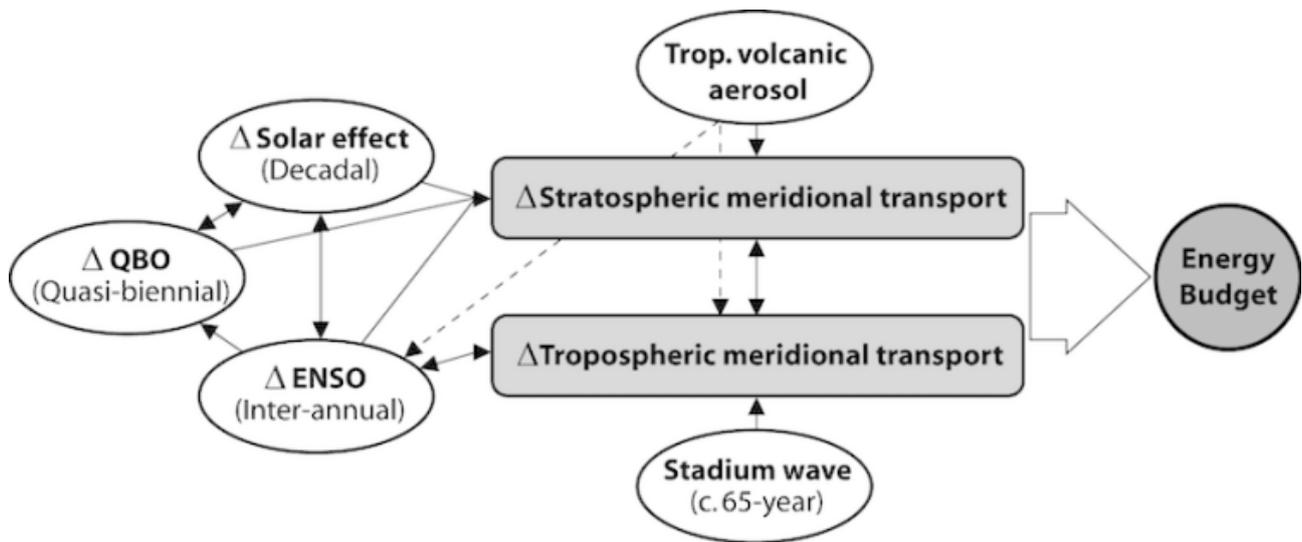


Abbildung 5.2. Meridionales Transportdiagramm.

Abbildung 5.2 ist ein Flussdiagramm des meridionalen Transports. Die hellgrauen, abgerundeten Rechtecke sind die beiden Komponenten (Spuren) des meridionalen Transports mit ihren bekannten Modulatoren in weißen Ovalen. Schwarze durchgezogene Pfeile zeigen die Kopplung oder Modulation an. Gestrichelte Pfeile zeigen die indirekten Auswirkungen von Vulkanausbrüchen auf den Meridionaltransport in der Troposphäre und ENSO an. Änderungen des meridionalen Transports wirken sich auf den Energiehaushalt des Klimasystems der Erde aus, indem sie die Intensität des Energietransfers von der THG-reichen tropischen Region in die THG-arme Polarregion verändern. Das Diagramm stammt von Vinós 2022.

Der stratosphärische MT wird durch Faktoren moduliert, die den Temperaturgradienten in Breitenrichtung (Ozon, Sonnenaktivität und vulkanische Aerosole) oder die zonale Windstärke (QBO) verändern, da sie das Niveau der planetarischen Wellenübertragung bestimmen, die den stratosphärischen Transport antreibt. ENSO ist Teil des troposphärischen MT und wird von dessen Bedingungen bestimmt, aber es ist auch ein Modulator des stratosphärischen Transports, da es die Stärke der BDC beeinflusst (Domeisen et al. 2019) und somit an der Kopplung der MT zwischen Stratosphäre und Troposphäre beteiligt ist. Ob die QBO die ENSO beeinflusst, ist nicht bekannt, aber alle anderen Wechselwirkungen zwischen diesen drei Modulatoren (Sonneneffekt, QBO und ENSO) des stratosphärischen MT sind dokumentiert (Labitzke 1987; Calvo & Marsh 2011; Salby & Callaghan 2000; Taguchi 2010). Die Stadium-Welle stellt die koordinierte, sequenzielle Veränderung dar, die die miteinander verbundenen Teile des troposphärischen MT betrifft (Wyatt & Curry 2014). Es handelt sich um eine starke multidekadische Oszillation des MT, und ihre Bedeutung für die Klimavariabilität kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Die meisten klimatischen Auswirkungen vulkanischer Aktivität, die nicht auf die direkte Reflexion und Streuung der Sonnenstrahlung durch

stratosphärische Sulfataerosole oder eine veränderte Stratosphärenchemie zurückzuführen sind, werden durch eine Veränderung des MT erreicht. Aus diesem Grund verursachen starke tropische Vulkanausbrüche eine Erwärmung des NH-Winters durch Verstärkung der PV (Guðlaugsdóttir et al. 2019), induzieren ENSO-Zustände (Swingedouw et al. 2017; Sun et al. 2018) und regen die bidekadische MT-Oszillation an (Swingedouw et al. 2015; siehe [Teil IV](#), Abschnitt 4.2 & Abb. 4.2), was die interdekadischen Auswirkungen von Vulkanausbrüchen erklärt.

Abgesehen von Schwankungen des Treibhausgasgehalts der Atmosphäre verändert sich das Klima durch Veränderungen des MT, und dies ist wahrscheinlich der wichtigste Mechanismus, da in der Vergangenheit bedeutende klimatische Veränderungen mit nur geringen Schwankungen des Strahlungsantriebs der Treibhausgase aufgetreten sind. Die Wirkung einiger MT-Modulatoren tendiert gegen Null, wenn sie über einige Jahre gemittelt werden. Dies ist der Fall bei QBO und ENSO. Die multidekadische Variabilität gleicht sich auch über längere Zeiträume aus. Die Sonnenaktivität hat jedoch hundert- und tausendjährige Zyklen, die bei Frequenzen unterhalb der Milankovitch-Grenze (d. h. $<10\ 000$ Jahre) zum wichtigsten MT-Modulator werden. Die mittelalterliche Warmzeit um 1100, die kleine Eiszeit um 1600 und die gegenwärtige globale Erwärmung fallen mit einem tausendjährigen Zyklus der Sonnenaktivität zusammen, dem so genannten Eddy-Zyklus (Abreu et al. 2010), der während der mittelalterlichen und modernen Sonnenmaxima (um 1150 und 1970) eine hohe Sonnenaktivität und während der Wolf-, Spörer- und Maunder-Cluster der Sonnenminima (um 1300-1700) eine niedrige Sonnenaktivität aufweist.

Hundertjährige und tausendjährige Änderungen der Sonnenaktivität sind ein wichtiger Klimaantrieb, da sie sich dauerhaft auf den MT auswirken. Änderungen der Sonnenaktivität verändern den Energiehaushalt des globalen Klimasystems. Kürzere Änderungen der Sonnenaktivität (dekadisch) sind weniger wichtig, weil der MT in diesen Zeiträumen stärker von anderen Modulatoren beeinflusst wird, wie z. B. der Stadiumwelle, ENSO und dem QBO, die häufig entgegengesetzt zur solaren Modulation wirken.

5.3 Die Winterförtner-Hypothese

Die derzeitige Sicht auf den Klimawandel, wie sie sich in den IPCC-Zustandsberichten widerspiegelt, ist eine Strahlungstheorie des Klimas. Im Rahmen dieser Theorie wird die solare Variabilität nur im Hinblick auf die geringen Strahlungsveränderungen des TSI (etwa 0,1 % pro Sonnenzyklus) betrachtet, obwohl es starke Hinweise auf solar induzierte dynamische Veränderungen der globalen atmosphärischen Zirkulation gibt, die in Teil II vorgestellt werden. Diese nichtlinearen, indirekten, dynamischen Auswirkungen der solaren Variabilität auf das Klima sind in Klima-Reanalysen nachweisbar (siehe [Abb. 2.2](#); Lean 2017) und werden von Modellen reproduziert (Kodera et al. 2016), aber sie werden nicht in die moderne Theorie des Klimawandels einbezogen, weil kein Platz für sie

gelassen wurde.

Die Änderung der Sonnenaktivität wirkt sich nicht das ganze Jahr über aus, wie man es von einer globalen Änderung des solaren Strahlungsantriebs erwarten würde. Der Effekt ist in den kalten Jahreszeiten der Hemisphären stärker und während des borealen Winters maximal, wie die Änderungen der Erdrotationsgeschwindigkeit zeigen (siehe [Abb. 2.5](#); Le Mouél et al. 2010). Die Änderungen der Tageslänge (ΔLOD) sind auf Änderungen der meridionalen atmosphärischen Zirkulation zurückzuführen, die für den Anstieg der zum Winterpol transportierten Wärmemenge verantwortlich sind. Dieser für die kalte Jahreszeit spezifische solare Effekt, der mit der Stärke der PV zusammenhängt, tritt in Klima-Reanalysen und Beobachtungen hervor, was darauf hindeutet, dass er sowohl atmosphärische als auch ozeanische Phänomene beeinflusst, einschließlich der AO und NAO, der Häufigkeit von Blocking-Ereignissen, der Stärke der zonalen Winde, der Stärke des subpolaren Wirbels und der Zugbahn der nordatlantischen Wintersturmwirbel. Die jahreszeitlich bedingte dynamische Wirkung der Sonnenaktivität muss zu bedeutenden Veränderungen in der Wärmemenge führen, die zum dunklen Pol geleitet wird. Der größte Teil dieser Wärme verlässt den Planeten in der langen Polarnacht als OLR-Strahlung. Der Wärmefluss über das Meereis geht immer in Richtung Atmosphäre, und die Zunahme der nicht kondensierenden Treibhausgase begünstigt den Energieverlust durch eine stärkere Strahlungskühlung von Treibhausgasmolekülen, die wärmer sind als die Oberfläche (van Wijngaarden & Happer 2020). Der Strahlungswärmeverlust erhöht sich auch durch die starke Abnahme der Wolkenbedeckung, die mit dem polaren Winter einhergeht (Eastman & Warren 2010), und durch die niedrige absolute Feuchtigkeit der winterlichen Polaratmosphäre.

Die jahreszeitlich asymmetrische Auswirkung der Sonnenaktivität auf das Klima zeigt, dass die Sonnenvariabilität die wichtigste langfristige Steuerung der großen Wärmemenge ist, die den Planeten in jeder kalten Jahreszeit an den Polen verlässt. Die Pole sind die Hauptwärmesenke des Planeten (siehe [Abb. 3.2](#)). Daher wird die Hypothese, wie Veränderungen der Sonnenaktivität den MT regulieren, als Winter-Gatekeeper-Hypothese (WGK-h) bezeichnet. Die WGK-h ([Abb. 5.3](#)) besagt, dass das Niveau der Sonnenaktivität einer von mehreren Faktoren ist, die die Stärke der zonalen Winde und damit die Ausbreitung der planetarischen Wellen in der Winteratmosphäre bestimmen. Die polwärts und aufwärts gerichtete Wellenausbreitung steuert die PV-Stärke, die der Hauptmodulator von Wärme und Feuchtigkeit MT zum Winterpol ist. Winter mit hoher Sonnenaktivität begünstigen eine stärkere zonale Zirkulation, die den MT reduziert und zu einem kälteren arktischen Winter, einem wärmeren Winter in den mittleren Breiten, einem wärmeren tropischen Band aufgrund eines geringeren BDC-Auftriebs und einem geringeren Energieverlust am Winterpol führt. Winter mit geringer Sonnenaktivität bewirken das Gegenteil. Der Unterschied im Energieverlust am Winterpol ist groß genug, um das Klima des gesamten Planeten stark zu beeinflussen, wenn die Sonnenaktivität über mehrere aufeinanderfolgende Sonnenzyklen (d. h.

Jahrzehnte) konstant hoch oder niedrig ist.

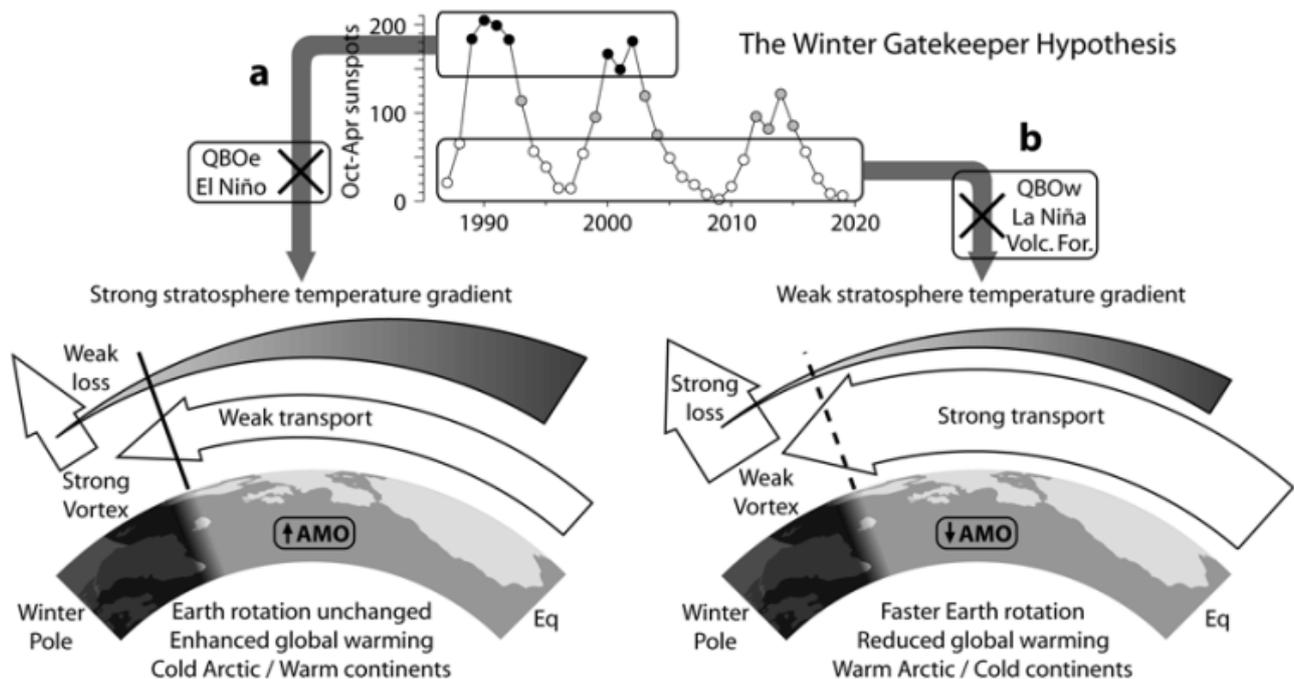


Abbildung 5.3. Die Winter-Gatekeeper-Hypothese über die Auswirkungen der Sonnenvariabilität auf das Klima.

In Abbildung 5.3 sind die Schlüsselemente der Winter-Gatekeeper-Hypothese zur Auswirkung der Sonnenvariabilität auf das Klima schematisch dargestellt. Diagramm (a) zeigt, wie Winter mit hoher Sonnenaktivität einen starken stratosphärischen Breitengradienten durch erhöhtes Ozon und verstärkte Ozonerwärmung aufgrund höherer UV-Strahlung fördern. Hohe Sonnenaktivität verstärkt durch Veränderungen in der thermischen Windbilanz die zonalen Winde und verringert die Ausbreitung planetarer Wellen. Dadurch kann der Polarwirbel den ganzen Winter über stark bleiben, was den meridionalen Transport und den Wärmeverlust am Winterpol verringert. Die Auswirkungen der hohen Sonnenaktivität auf den stratosphärischen Temperaturgradienten können durch östliche QBO- und El-Niño-Bedingungen ausgeglichen werden. Der meridionale Transport in der Troposphäre wird stark von der ca. 65-jährigen Oszillation beeinflusst, die hier über dem Atlantik durch die AMO repräsentiert wird, die einen schwächeren Transport bedeutet, wenn sie zu höheren Werten wechselt (Wärmestau im Nordatlantik). Die klimatische Auswirkung ist eine verstärkte globale Erwärmung und ein kaltes Arktis-/warmes Kontinentalwintermuster.

Die rechte Darstellung (b) zeigt, dass Winter mit geringer Sonnenaktivität aufgrund der geringeren UV-Strahlung einen schwachen stratosphärischen, vom Breitengrad abhängigen Temperaturgradienten begünstigen, der zu einem schwachen Polarwirbel führt, der den meridionalen Transport und den Wärmeverlust am Winterpol verstärkt. Die Auswirkungen der geringen Sonnenaktivität auf den stratosphärischen

Temperaturgradienten können durch den westlichen QBO, La-Niña-Bedingungen und vulkanischen Aerosolantrieb ausgeglichen werden. Der troposphärische Meridionaltransport ist stark, wenn sich die ca. 65-jährige Oszillation in einer absteigenden Phase befindet und die AMO zu niedrigeren Werten wechselt (Wärmerückgang im Nordatlantik). Ein verstärkter meridionaler Transport erhöht die Rotationsgeschwindigkeit der Erde, da die zonalen Winde abnehmen und weniger Drehimpuls in der Atmosphäre verbleibt. Die klimatische Auswirkung ist eine geringere globale Erwärmung und ein warmes Wintermuster in der Arktis und auf den kalten Kontinenten. Abbildung 5.3 stammt aus Vinós 2022.

Die WGK-h stützt sich auf den Nachweis, dass MT ein, wenn nicht sogar der wichtigste Faktor für den Klimawandel ist. Aber wie bereits erwähnt, wird MT durch klimatische Bedingungen moduliert, die die Stärke der zonalen Winde beeinflussen, darunter nicht nur die Sonnenaktivität, sondern auch ENSO, der QBO, stratosphärische vulkanische Aerosole und die Stadium-Welle (die multidekadische Oszillation des troposphärischen MT). Da der MT vom atmosphärischen und ozeanischen Transport abhängt, reagiert er nicht nur auf das stratosphärische Signal, das mit der Sonnenaktivität zusammenhängt, sondern auch auf ein troposphärisches Signal, das den Ozean einbezieht (Abb. 5.3). Diese doppelte Abhängigkeit führt zu einer Ungereimtheit bei den solaren Effekten, die die Studien zum Sonnenklima belastet hat. Das Sonnensignal ist Teil eines komplexen Systems, das die Stärke des Winter-MT bestimmt, aber seine lange Fluktuationsrate (dekadisch bis hundertjährlich) akkumuliert sich im Laufe der Zeit.

Die Prozesse des Einflusses der Sonne auf das Klima sind von mehreren Autoren beschrieben worden. Die unterschiedliche Erwärmung von Ozon durch UV-Strahlung erzeugt einen Temperaturgradienten in der Stratosphäre, der die Stärke der zonalen Winde beeinflusst. Die Stärke der zonalen Winde bestimmt die Ausbreitung planetarischer Wellen, die sich auf die PV-Stärke auswirken. Zonale Winde und PV-Bedingungen in der Stratosphäre breiten sich durch die thermische Windbilanz und die Kopplung zwischen Stratosphäre und Troposphäre auf die Troposphäre aus. In der Troposphäre werden die Position und Stärke der Jets und die Bedingungen der Arktischen Oszillation beeinflusst (Lean, 2017). Die WGK-h schlägt jedoch vor, dass die langfristige klimatische Wirkung der Sonnenvariabilität durch ihre Wirkung auf den MT der Wärme in Richtung Winterpol vermittelt wird und dass die stärkeren globalen klimatischen Auswirkungen auf den kumulativen Energieverlust am Winterpol während längerer Perioden geringer Sonnenaktivität zurückzuführen sind. Die Hauptrolle der Sonnenvariabilität im Klima besteht darin, dass sie als Torwächter für den Winter fungiert, indem sie in Jahren mit hoher Sonnenaktivität die Energieerhaltung fördert und in Jahren mit geringer Sonnenaktivität einen höheren Energieverlust ermöglicht. Da MT geografisch variabel ist, hat die Rolle der Sonnenenergie als Torwächter eine stärkere Wirkung auf die nordatlantische Sturmwirbel-Aktivität und eine geringere Wirkung auf die südliche Polkappe, wobei die pazifischen und sibirischen arktischen Wintertore dazwischen liegen.

Die WGK-h bietet eine Erklärung für die starken paläoklimatischen Auswirkungen von Perioden mit lang anhaltender geringer Sonnenaktivität, wie der Kleinen Eiszeit (LIA), und deren Wechsel mit wärmeren Perioden wie der MWP oder der modernen globalen Erwärmung, die dem etwa 1000-jährigen Eddy-Sonnenzyklus entsprechen, wie er durch Sonnen- und Klimaproxies nachgewiesen wurde (Marchitto et al. 2010). Sie kann auch das Verhalten der nordatlantischen Region als Hotspot der Klimavariabilität erklären. Paläoklimatologen haben seit langem festgestellt, dass viele prominente Klimaveränderungen wie Bond-Ereignisse, Dansgaard-Oeschger-Ereignisse, Heinrich-Ereignisse, die MWP oder die LIA stärker oder sogar ausschließlich in der nordatlantischen Region zu beobachten sind. Diese Region ist ein bevorzugter Korridor für MT und damit das Gebiet, das am empfindlichsten auf MT-Veränderungen reagiert.

5.4 Beweise für die Winter-Gatekeeper-Hypothese

Die WGK-h erklärt, wie die bekannten kurzfristigen dynamischen Effekte der solaren UV-Variabilität auf die atmosphärische Zirkulation (d.h. der Top-Down-Mechanismus; Matthes et al. 2016) für eine übergroße längerfristige Modulation des Klimawandels verantwortlich sind, und zwar durch anhaltende Veränderungen des MT, der die Strahlungseigenschaften des Planeten verändert.

Die Auswirkung der solaren Variabilität auf das Klima auf einer hundert- bis tausendjährigen Zeitskala ist seit langem durch die Paläoklimatologie bekannt (Engels & van Geel 2012), aber dieses Wissen konnte nicht in unser Verständnis des Klimawandels einfließen, da es keinen bekannten, dafür verantwortlichen Prozess gibt. Die solare Variabilität während des Holozäns ist durch die Aufzeichnungen kosmogener Isotope (hauptsächlich ^{14}C und ^{10}Be) relativ gut bekannt. Die LIA ist nicht die einzige säkulare Periode des Holozäns, in der ein Zusammenhang zwischen einer anhaltend verringerten Sonnenaktivität in Form von solaren großen Minima (SGM) und einer deutlichen Abkühlung auf der Nordhalbkugel sowie einer Veränderung der Niederschlagsmuster in großen Regionen, einschließlich der tropischen Monsune, hergestellt werden kann (Wang et al. 2005b).

Wie in [Abbildung 2.1](#) dargestellt, fällt das präboreale SGM um ca. 11,4 kyr BP mit der präborealen Oszillation zusammen (Björck et al. 1997). Um ca. 10,3 kyr BP fällt das Boreal 1 SGM mit der Borealen Oszillation 1 zusammen (Björck et al. 2001). Um ca. 9,3 kyr BP fällt der Boreal 2 SGM-Cluster mit der Borealen Oszillation 2 zusammen (Zhang et al. 2018). Zwischen 7,7 und 7,2 kyr BP fällt eine LIA-ähnliche Periode mit dem Jericho-Cluster von SGM zusammen (Berger et al. 2016). Bei ca. 6,3 kyr BP fällt eine weitere Periode geringer Sonnenaktivität mit einer weiteren Klima-Kaltphase zusammen (Fleitmann et al. 2007). Um ca. 5,2 kyr BP fiel der große globale Gletschervorstoß, der Ötzi, den Eismann in den Alpen, zum Erfrieren brachte, mit dem sumerischen Cluster von SGM zusammen (Thompson et al. 2006). Um ca. 2,8 kyr BP fiel eine weitere

Klima-Kaltphase, das mit dem Großen Winter der bronzezeitlichen nordischen Sagas (Fries 1956) identifiziert wurde, mit dem homerischen SGM zusammen (Chambers et al. 2007). Und um ca. 0,5 kyr BP fiel die LIA mit dem Wolf-, Spörer- und Maunder-Cluster der SGM zusammen (Kokfelt & Muscheler 2012). Fünfundzwanzig SGM wurden während des Holozäns identifiziert (Usoskin 2017), aber da 12 von ihnen zu 4 Clustern gehören, gibt es 17 Perioden mit anhaltend reduzierter Sonnenaktivität in 11.700 Jahren. Trotz der Schwierigkeiten, das Klima vergangener Jahrtausende zu untersuchen, wurde die Hälfte davon bereits überzeugend mit Perioden tiefgreifender Klimaverschlechterung in Verbindung gebracht, die in einigen Fällen mit dem Kampf der menschlichen Bevölkerung einhergingen (siehe Abb. 2.1; Bevan et al. 2017). Es überrascht nicht, dass so viele Paläoklimatologen davon überzeugt sind, dass die Sonnenvariabilität einen tiefgreifenden Einfluss auf den Klimawandel hat (Rohling et al. 2002; Hu et al. 2003; Engels & van Geel 2012; Magny et al. 2013).

Die WGK-h setzt voraus, dass die solare Modulation des Klimas durch einen dynamischen Top-Down-Mechanismus erreicht wird, der sich auf den MT auswirkt. Colin Hines entwickelte 1974 die Grundlagen des Top-Down-Mechanismus, und der erste Beweis wurde 1996 von [Joanna Haigh](#) veröffentlicht, wobei die entscheidende Rolle von Ozon als Sensor und Übermittler der UV-Variabilität einbezogen wurde. Seitdem hat der Top-Down-Mechanismus in Beobachtungen, Reanalysen und Modellierungen Unterstützung gefunden (Gray et al. 2010; Gruzdev 2017; Kodera et al. 2016). Die WGK-h verbindet den Top-Down-Mechanismus mit den festgestellten langfristigen Auswirkungen der Sonnenvariabilität auf das Klima durch anhaltende Änderungen der wichtigsten Klimavariablen, nämlich des MT von Energie aus den Tropen zu den Polen.

Die WGK-h wird durch Beweise für einen solaren Effekt auf das Klima gestützt, die sich sonst nur schwer in alternative Hypothesen einfügen lassen. Sie erklärt, warum die halbjährliche Komponente der Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit der Erde, die sich als Änderungen der Tageslänge (ΔLOD ; siehe Teil II) manifestiert, auf Änderungen der Sonnenaktivität reagiert (Le Mouél et al. 2010). Die LOD-Änderungen sind eine Manifestation der solaren Modulation der winterlichen atmosphärischen Zirkulation. Dies erklärt auch, warum der multidekadische Trend der ΔLOD -Änderungen mit klimatischen Veränderungen korreliert (Lambeck & Cazenave 1976; Mazzarella, 2013).

Die solare Modulation von ENSO (siehe Teil II) unterstützt ebenfalls die WGK-h. Geringe Sonnenaktivität fördert einen stärkeren MT und begünstigt La-Niña-Bedingungen im äquatorialen Pazifik, wahrscheinlich als Reaktion auf einen stärkeren BDC-Auftrieb durch die Kopplung zwischen tropischer Stratosphäre und Troposphäre. Das Gegenteil ist der Fall bei tropischen Vulkanausbrüchen, die einen schwächeren MT und einen stärkeren PV hervorrufen, was zu El-Niño-Bedingungen im äquatorialen Pazifik führt, wahrscheinlich durch eine Verringerung des tropischen Auftriebs durch den entgegengesetzten Mechanismus.

Das Wintermuster warme Arktis/kalte Kontinente (WACC), das mit geringer Sonnenaktivität verbunden ist (Kobashi et al. 2015; Porter et al. 2019), ist ebenfalls ein Beleg für die WGK-h. Während längerer Perioden geringer Sonnenaktivität ist die Arktis durch wärmere Winter gekennzeichnet, während die Kontinente der mittleren Breiten aufgrund häufigerer Einbrüche polarer Luftmassen kältere Winter erleben. Das Gegenteil geschieht während längerer Perioden hoher Sonnenaktivität, was erklärt, warum das arktische Meereis während der Klimaverschiebung von 1997 (siehe Teil IV) stark zurückging und nicht während der vorangegangenen Jahrzehnte der starken globalen Erwärmung. Die Amplifikation der Arktis seit dem Jahr 2000 ist ein Phänomen der kalten Jahreszeit mit einem geringen Temperaturanstieg im Sommer, was die zugrundeliegenden jahreszeitlichen Veränderungen im MT bestätigt, die stattgefunden haben.

Wie in der Hypothese gefordert, wird die Amplitude der stratosphärischen planetarischen Wellen durch die Sonnenaktivität moduliert (Powell & Xu 2011; siehe [Abb. 2.8](#)), wobei eine niedrige Sonnenaktivität zu einer erhöhten Amplitude der planetarischen Wellen führt, die eine stärkere BDC und einen schwächeren PV fördern sollte.

Die zweijährliche Oszillation (B0) verändert den PV von einer starken Konfiguration in einem Winter zu einer schwachen Konfiguration im nächsten (Abb. 5.4a). Dies resultiert aus der Modulation der QB0-Bimodalität durch den Sonnenzyklus und deren Wechselwirkung mit der starken polaren Jahresschwankung (Baldwin & Dunkerton 1998; Salby & Callaghan 2006; Christiansen 2010). Nach der Klimaverschiebung 1976-77 schwächte sich die Bimodalität der QB0 und des B0 ab, was zu einer überwiegend starken Wirbelphase führte (Abb. 5.4a; Christiansen 2010). Bei der Klimaverschiebung von 1997-98 änderte sich die Bimodalität der QB0 und des B0 erneut in eine Phase mit stärkerer Bimodalität und schwächerem Wirbel. Diese Klimaverschiebungen definieren den Zeitraum 1977-97, in dem sich der Einfluss der QB0 auf die Stärke des PV durch den Holton-Tan-Mechanismus erheblich abschwächte (Lu et al. 2008; siehe Teil II). In den 1970er Jahren brachen der QB0 auf 50 hPa und die außertropischen Winde auf 54°N und 10 hPa ihre Korrelation und wurden überwiegend westlich (positiv), wie ihr kumulativer Wert zeigt (Abb. 5.4b; Lu et al. 2008), was die winterliche Kopplung zwischen dem QB0 und der PV für den Zeitraum 1977-97 schwächte, da stärkere Westwinde die Ausbreitung von planetarischen Wellen mit geringerer Amplitude behindern. Der stärkere PV, der aus der hohen Sonnenaktivität während der Sonnenzyklen 21 und 22 resultierte, führte zu einer leichten Abkühlung der winterlichen arktischen Temperatur (Abb. 5.4c, graue Fläche), während der schwächere PV, die aus der geringeren Sonnenaktivität der Sonnenzyklen 20 und 23 (und 24) resultierte, zu einem Erwärmungstrend in der winterlichen Arktis führte (Abb. 5.4c, weiße Flächen). Die Beziehung zwischen der Stärke der PV und der Oberflächentemperatur der winterlichen Arktis ist sehr deutlich. Man beachte, dass die winterliche arktische Temperaturentwicklung der NH-Temperaturentwicklung entgegengesetzt ist, was ihre negative Korrelation

unterstreicht.

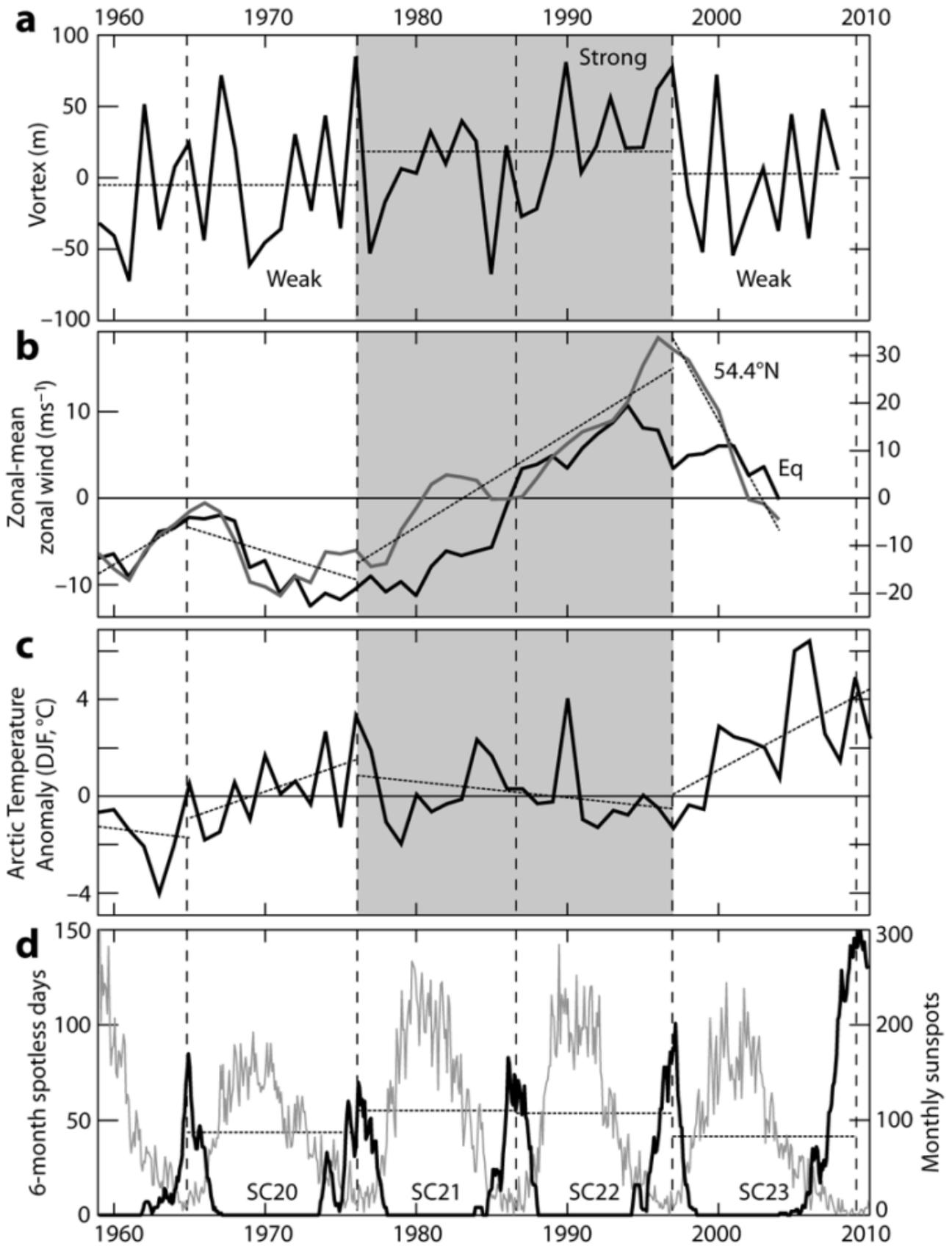


Abbildung 5.4. Polarwirbel, zonaler Wind, arktische Temperatur und der Sonnenzyklus.

Abbildung 5.4 zeigt, wie der Polarwirbel, die zonale Windgeschwindigkeit und die arktische Temperatur mit dem Sonnenzyklus zusammenhängen. Vertikale gestrichelte Linien markieren die solaren Minima, und der graue Bereich entspricht der Klimaperiode zwischen den Klimaverschiebungen von 1976 und 1997. Feld (a) zeigt den mittleren Wirbel von Oktober bis März bei 20 hPa als führende Hauptkomponente der mittleren geopotentiellen Höhe nördlich von 20°N in der empirischen orthogonalen Funktion aus dem NCEP/NCAR-Reanalyse-Datensatz. Höhere Werte weisen auf einen starken Wirbel in diesem Winter hin. Um 1976 fand ein Regimewechsel von einem allgemein schwachen Wirbel mit Bimodalität zu einem stärkeren Wirbel mit Unimodalität statt. Die umgekehrte Verschiebung fand um 1997 statt. Die gepunkteten Linien sind Durchschnittswerte für die Zeiträume zwischen 1976 und 1997. Die Darstellung ist nach Christiansen 2010.

Die schwarze Linie im Feld (b) ist das kumulative 3-Jahres-Mittel der zonal-gemittelten Windgeschwindigkeit von November bis März am Äquator bei 50 hPa. Die graue Linie ist der kumulative 3-Jahres-Mittelwert der zonal-gemittelten Windgeschwindigkeit von November bis März auf 54,4°N bei 10 hPa. Die gepunkteten Linien sind lineare Trends für die kumulativen 54,4°N-Daten für die Zeiträume 1959-65, 1965-76, 1976-97 und 1997-2004. Die Daten für Feld (b) stammen von Lu et al. 2008.

Feld (c) ist die mittlere Temperaturanomalie im Winter (Dezember-Februar), berechnet aus dem operationellen atmosphärischen Modell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage [EZMW] für die Region +80°N. Die gepunkteten Linien sind lineare Trends wie in Feld (b), außer dass der letzte Zeitraum im Jahr 2010 endet. Die Daten stammen vom Dänischen Meteorologischen Institut [DMI]. Die schwarze Linie im Feld (d) zeigt die Anzahl der sonnenfleckenfreien Tage in einem laufenden 6-Monats-Fenster. Die graue Linie ist eine Darstellung der monatlichen Sonnenflecken. Die horizontalen gepunkteten Linien sind die durchschnittliche monatliche Anzahl der Sonnenflecken für jeden Sonnenzyklus (SC). Die Daten stammen von WDC-SILSO. Die Illustration stammt von Vinós (2022).

Wie von der WGK-h gefordert, zeigen die saisonalen Muster der 80-90 °N Temperaturanomalie sehr wichtige Veränderungen im Laufe der Zeit. Die arktischen Sommer- und Wintertemperatur-Anomalien wiesen im Zeitraum 1970-99 keine signifikante langfristige Abweichung vom Durchschnitt auf, was auf einen überraschenden Unterschied zur globalen Erwärmung hinweist, die der größte Teil des Planeten zu dieser Zeit erlebte, und in starkem Kontrast zur polaren Verstärkung steht, die von der Theorie und den Klimamodellen vorhergesagt wurde.

Ab 1997 zeigt die arktische Sommertemperatur-Anomalie einen leichten Rückgang von etwa einem halben Grad (siehe [Abb. 4.6a](#)), während die arktische Wintertemperatur-Anomalie einen enormen Anstieg von durchschnittlich +8 °C im Winter 2017-18 aufweist (Abb. 5.5). Die Wärme, die für diesen winterlichen Temperaturanstieg verantwortlich ist, wird

aus niedrigeren Breiten in die Arktis transportiert (siehe Teil III). Es ist paradox und widerspricht der vorherrschenden Meinung, dass die Erwärmung der Arktis während der raschen globalen Erwärmung in den 1980er und 1990er Jahren weniger ausgeprägt war und während der jüngsten Periode der geringeren Erwärmung, die oft als Pause oder Hiatus der globalen Erwärmung bezeichnet wird, stärker ausgeprägt ist. Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich auflösen, wenn die Sonnenaktivität die Wärmemenge reguliert, die im Winter an die Pole geleitet wird. Dem WGK-h zufolge ist der Anstieg des winterlichen polwärts gerichteten Wärmetransports, der für den Temperaturanstieg in der Arktis in dieser Jahreszeit verantwortlich ist, auf die anhaltende Abnahme der Sonnenaktivität seit 2004 zurückzuführen. Die negative Korrelation zwischen der langfristigen Sonnenaktivität und der arktischen Wintertemperatur ist eindeutig (Abb. 5.5).

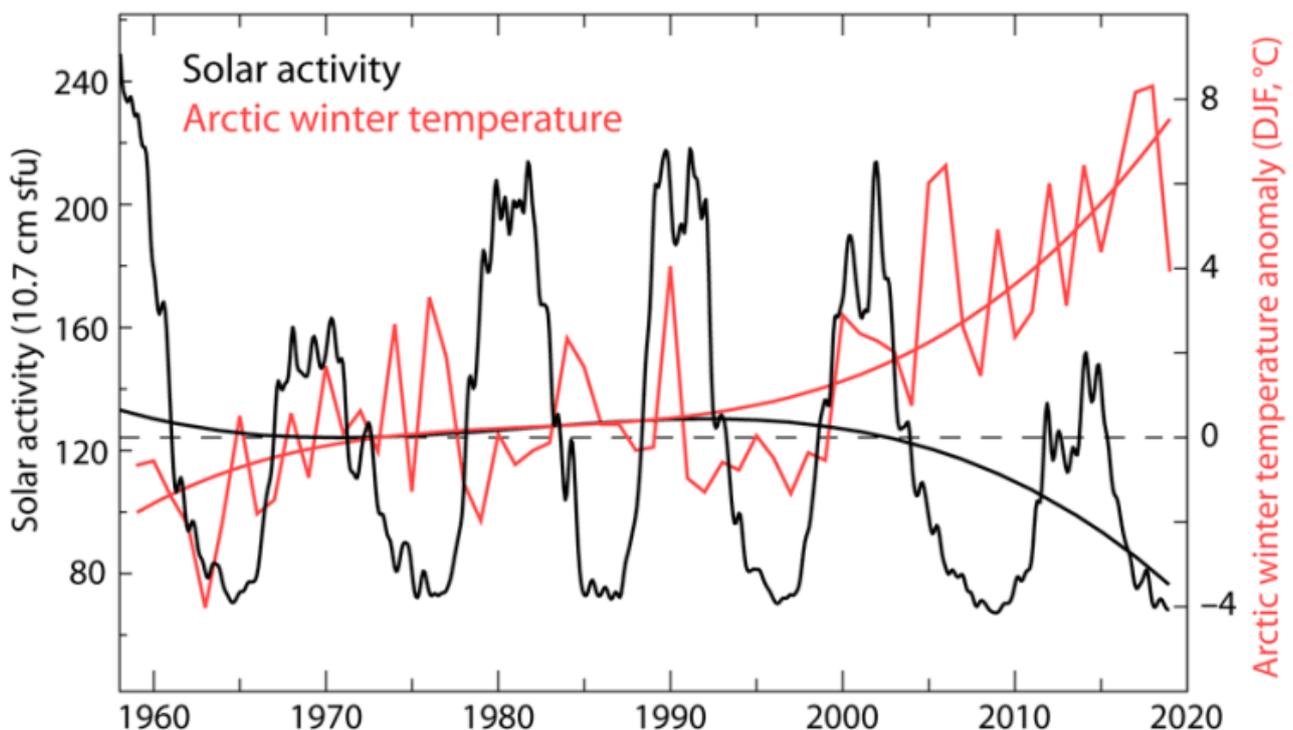


Abbildung 5.5. Die arktische Wintertemperatur ist solar moduliert.

Abbildung 5.5 zeigt, dass die arktische Wintertemperatur solar moduliert ist. Die schwarze Kurve ist der geglättete 10,7-cm-Sonnenfluss als Indikator für die Sonnenaktivität. Die gezeigte polynomiale Kleinstquadrat-Anpassung dritter Ordnung wurde unter Verwendung aller nach 1947 verfügbaren Daten berechnet, um den Randeffekt im dargestellten Zeitraum zu reduzieren. Die Daten stammen aus dem STAFF-Viewer des Königlichen Observatoriums von Belgien. Die rote Kurve ist die mittlere Temperaturanomale im Winter (Dezember-Februar), die anhand des operationellen Atmosphärenmodells des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage für die Region +80 °N berechnet wurde. Die glattere rote Linie ist eine polynomiale Kleinstquadratanpassung

dritter Ordnung. Die Daten stammen vom Dänischen Meteorologischen Institut. Die Illustration stammt von Vinós (2022).

Die durch die Sonne verursachten Veränderungen in der Arktis haben viele Konsequenzen. Die WGK-h verlangt einen Anstieg der arktischen OLR in der kalten Jahreszeit, wenn die dekadische Sonnenaktivität abnimmt. Dieser Anstieg wurde bei der Klimaverschiebung von 1997 beobachtet (siehe [Abb. 4.7](#)). Der erhöhte Energieverlust an den Polen seit 1997 trug zur Pause der globalen Erwärmung bei. Gleichzeitig hat die starke winterliche Erwärmung in der Arktis kaum Auswirkungen auf die regionale Kryosphäre, da die arktische Wintertemperatur im Durchschnitt etwa 25 °C unter dem Gefrierpunkt liegt. Gleichzeitig wirkt sich der leichte Temperaturrückgang im Sommer stabilisierend auf die sommerliche Meereisausdehnung aus, die seit 2007 eine Pause einlegt (Abb. 5.6).

Paradoxerweise wird der starke Anstieg der Jahresmitteltemperatur in der Arktis als Beweis für eine starke arktische Verstärkung angeführt, doch fällt er mit einer Pause im Rückgang der sommerlichen Meereisausdehnung in der Arktis zusammen, die während des gegenwärtigen Sonnenzyklus (SC25, 2020-c. 2031) sogar zu einem leichten Anstieg führen könnte. Solange der Temperaturanstieg in der Arktis nicht jahreszeitlich analysiert wird, ist es schwierig zu verstehen, was passiert, aber dann wird klar, dass die arktische Verstärkung keine Verstärkung der globalen Erwärmung ist. Die Erwärmung der Arktis im Winter ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die klimatischen Auswirkungen der Sonnenvariabilität grundlegend missverstanden werden und dass der Beitrag des MSM der Sonnenaktivität zur heutigen globalen Erwärmung viel größer ist, als in den IPCC-Berichten und den aktuellen Klimamodellen berücksichtigt wird. Eine klare Vorhersage dieser Hypothese ist, dass die Temperaturanomalie im arktischen Winter abnehmen wird, wenn ein neuer aktiverer Sonnenzyklus stattfindet. Dies könnte mit dem Sonnenzyklus 26 geschehen, für den eine Zunahme der Aktivität um 2032 vorhergesagt wird (Abb. 5.7). Dieser Temperaturrückgang dürfte mit einer Zunahme des arktischen Meereises einhergehen.

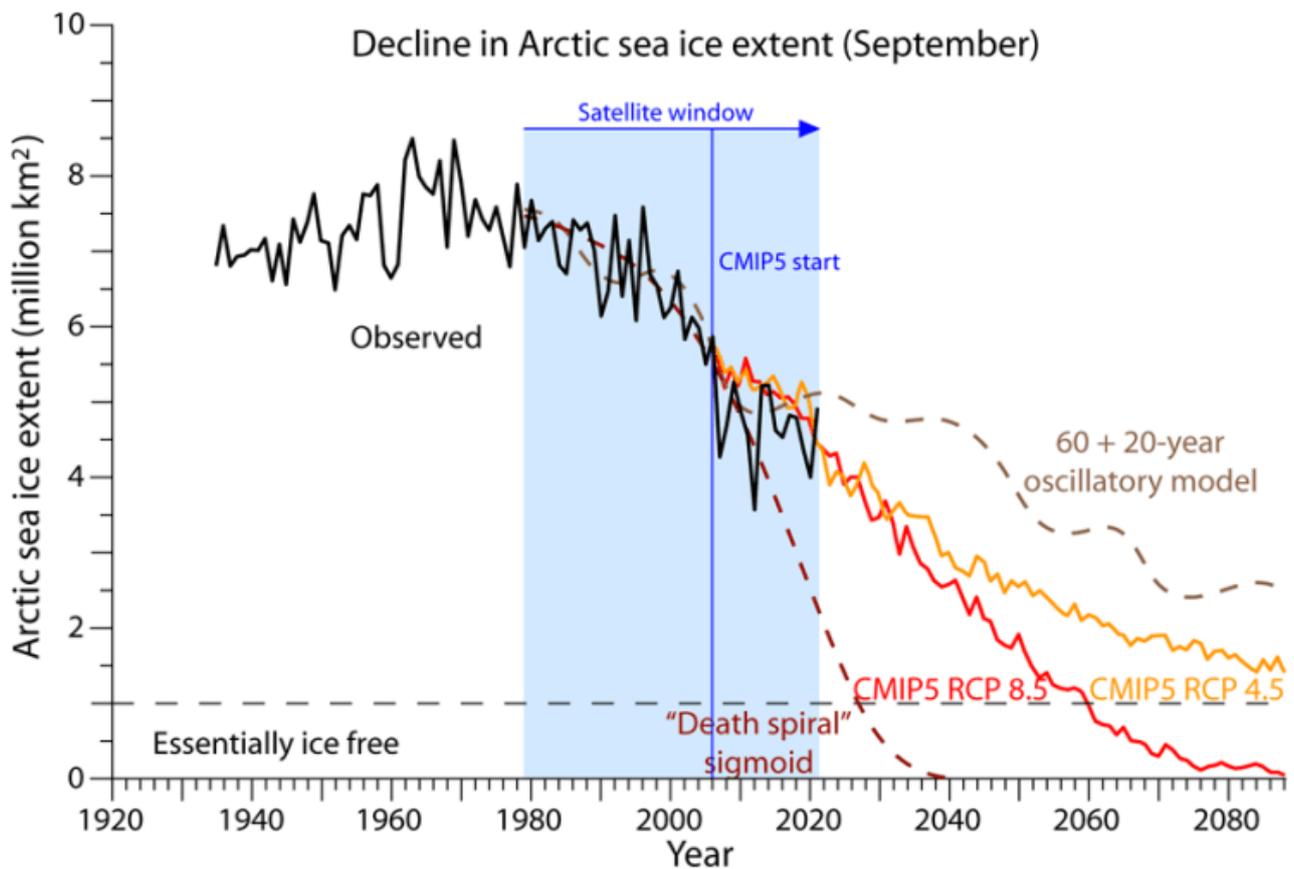


Abbildung 5.6. Projektionen zum Rückgang des arktischen Meereises.

Abbildung 5.6 zeigt verschiedene Projektionen des arktischen Meereisrückgangs. Die Modellsimulationen sind als durchgehende farbige Linien für 2006-2090 dargestellt, die Beobachtungen als schwarze Linie für 1935-2021. Alle zeigen die arktische Meereisausdehnung im September. Die farbigen Linien sind CMIP5-Modellmittelwerte aus verschiedenen RCP-Szenarien, nach Walsh et al. (2014). Die hellbraune gestrichelte Linie ist ein Modell, das auf bekannten 60- und 20-jährigen Periodizitäten des arktischen Meereises basiert. Die schwarze durchgehende Linie ist die NSIDC-September-Meereisausdehnung für das Satellitenfenster (1979-2021), während die Daten zur arktischen September-Meereisausdehnung von 1935-1978 aus einer Rekonstruktion von Cea Pirón & Cano Pasalodos (2016) stammen. Die dunkelrote gestrichelte Linie ist eine sigmoidale Fortbestands-Kurve, die an die Daten von 1979-2012 angepasst wurde, unter der Annahme eisfreier Bedingungen bis zum Jahr 2030, entsprechend der von Mark Serreze (2010) vorgeschlagenen Todesspirale des arktischen Meereises. Die konservative Projektion, die hellbraune gestrichelte Linie, erklärt die Pause in der arktischen Meereisschmelze seit 2007 und deutet darauf hin, dass bis zum Sommer 2100 über 2 Millionen km² arktisches Meereis verbleiben. Die Illustration stammt von Vinós 2022.

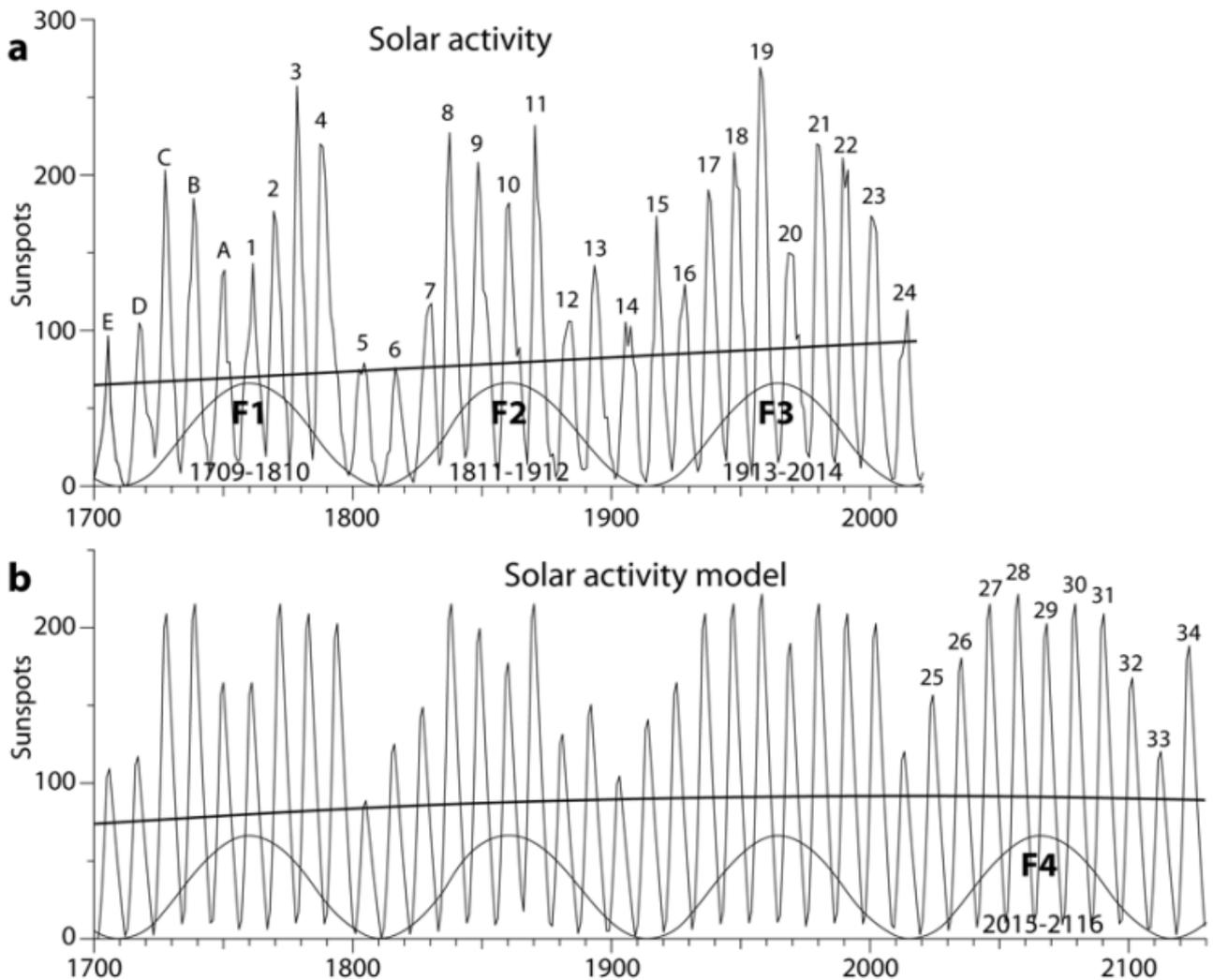


Abbildung 5.7. Sonnenfleckenvorhersage auf der Grundlage von Sonnenaktivitätszyklen.

Abbildung 5.7 zeigt eine Sonnenfleckenvorhersage auf der Grundlage von Sonnenaktivitätszyklen. In Feld (a) ist die internationale jährliche Sonnenfleckenanzahl für den Zeitraum 1700-2020 zusammen mit dem steigenden linearen Trend dargestellt. Die hundertjährige Feynman-Periodizität ist als Sinuskurve mit Minima zu den Zeiten der niedrigsten Sonnenfleckenanzahlen dargestellt und definiert die hundertjährigen Perioden F1 bis F3. Ihre Spannweite wird durch die Daten unterhalb der Sinuskurve bestimmt. Die Periode F3 weist die höchste Sonnenfleckenanzahl der drei Perioden auf. Die Periode F2 wurde durch das Vorhandensein eines de Vries-Tiefs im zweihundertjährigen Zyklus bei SC12-13 beeinflusst und weist weniger Sonnenflecken auf als die beiden anderen Perioden. Quelle der Daten ist das WDC-SILSO, Königliches Observatorium von Belgien, Brüssel.

Panel (b) ist ein Sonnenmodell, das auf den spektralen Eigenschaften der Sonnenaktivität aus kosmogenen und Sonnenfleckenaufzeichnungen beruht. Das Modell geht von einem Standard-Maximum der Aktivität für jeden Zyklus aus, das dann um den Abstand zu den Tiefstständen der fünf

betrachteten Zyklen – 2500-Jahre-, 1000-Jahre-, 210-Jahre-, 100-Jahre- und 50-Jahre-Zyklus – verringert wird. Die aus der vergangenen Aktivität abgeleiteten Zyklusdaten und -perioden werden in die Zukunft projiziert und ergeben eine Prognose der Sonnenaktivität für 2022-2130. F4 wird voraussichtlich mit einem Höhepunkt des tausendjährigen Eddy-Zyklus zusammenfallen, der anhand von solaren Proxy-Aufzeichnungen aus dem Holozän ermittelt wurde, und wahrscheinlich ebenso viele Sonnenflecken aufweisen wie F3, obwohl für SC31-32 ein weiterer de-Vries-Zyklus-Tiefpunkt erwartet wird. Die Sonnenzyklen SC1, SC10, SC20 und SC29 stellen Tiefpunkte in der pentadekadischen Sonnenperiodizität dar, was die Sonnenfleckenanzahl auf dem Höhepunkt der hundertjährigen Periodizität reduziert. Das Modell stammt von [Vinós 2016](#) und prognostiziert das Aktivitätsmaximum nicht sehr gut, da es variabler ist, aber die Sonnenfleckensumme wird über den gesamten Zyklus hinweg richtig prognostiziert. Das Modell von 2016 prognostizierte für SC25 eine höhere Aktivität als für SC24 und eine niedrigere als für SC23. Jetzt prognostiziert es eine erhöhte Sonnenaktivität von SC24 bis SC28. Die Illustration stammt von Vinós 2022.

5.5 Das asymmetrische Paradoxon „hohe Sonnenaktivität/geringe Wirkung“ und „geringe Sonnenaktivität/hohe Wirkung“

Da die Sonne das Klimasystem antreibt, ist es logisch anzunehmen, dass eine aktivere Sonne, die mehr Energie liefert, eine proportionale Auswirkung auf das Klima haben sollte, die der Auswirkung einer Verringerung der Energie durch eine weniger aktive Sonne entgegengesetzt ist. Die Untersuchung der Paläoklimatologie zeigt jedoch, dass dies nicht der Fall ist. Die Auswirkung der Sonnenaktivität auf das Klima ist höchst asymmetrisch, wobei eine geringe Sonnenaktivität eine viel stärkere Auswirkung auf das Klima hat als eine hohe Sonnenaktivität.

Andrew Douglass (1919) leistete Pionierarbeit auf dem Gebiet der solaren Paläoklimatologie, die durch die bahnbrechende Studie von John Eddy (1976) über das Maunder-Minimum wiederbelebt wurde. SGM [Solar Grand Minima] während des gesamten Holozäns und die damit verbundenen klimatischen Auswirkungen wurden von vielen Autoren festgestellt (Vinós 2022). Die SGM der letzten 1.000 Jahre haben die Namen von Astronomen erhalten, während die SGM der letzten 7.000 Jahre Namen aus der Menschheitsgeschichte erhielten (siehe oben und in Vinós 2022). Was eklatant fehlt, ist die entsprechende Identifizierung, Benennung und klimatische Untersuchung der solaren Grand Maxima. Sie können zwar mathematisch anhand der Sonnenaktivität definiert werden (Usoskin 2017), aber nur die beiden jüngsten, das mittelalterliche und das moderne Sonnenmaximum, sind benannt worden. Paläoklimastudien ergeben keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen hoher Sonnenaktivität und Klima. Es scheint, dass die großen Sonnenmaxima einen viel kleineren Fußabdruck in den paläoklimatischen Aufzeichnungen hinterlassen als das SGM.

Was die Paläoklimatologie uns sagt ist, dass Sonnenklimaforscher den Auswirkungen geringer Sonnenaktivität auf das Klima mehr Aufmerksamkeit

schenken sollten. Das WGK-h hilft zu erklären, warum geringe Sonnenaktivität das Klima stärker beeinflusst als hohe Sonnenaktivität.

Das 11-jährige Maximum des Sonnenzyklus' ist viel variabler als das solare Minimum. Obwohl Sonnenflecken vielleicht nicht der beste Weg sind, um die Sonnenaktivität während des Sonnenminimums zu messen, zeigt die Aufzeichnung der Sonnenflecken (13-monatig geglättet; SILSO 2022), dass die Sonnenmaxima zwischen 81 Sonnenflecken im Jahr 1816 und 285 im Jahr 1958 schwankten, ein Unterschied von 204 Sonnenflecken. Im Gegensatz dazu schwankten die Sonnenminima nur zwischen 0 Sonnenflecken im Jahr 1810 und 18 Sonnenflecken beim höchsten Minimum im Jahr 1976, ein Unterschied von 18 Sonnenflecken. Während eines solaren Grand Maximums, wie dem heutigen (1935-2005; siehe Abb. 1.6), folgen auf 6 Jahre mit hoher oder sehr hoher Sonnenaktivität 5 Jahre mit niedriger oder sehr niedriger Sonnenaktivität. Während eines SGM weisen alle Jahre, Jahrzehnt für Jahrzehnt, eine geringe oder sehr geringe Sonnenaktivität auf.

Bei geringer Sonnenaktivität ist der Einfluss der äquatorialen Stratosphäre auf den PV (Holton-Tan-Effekt) stärker und der PV wird anomal schwächer. Beim solaren Minimum ist der solare Effekt also am größten. Die größten positiven Abweichungen vom Trend bei der arktischen Wintertemperatur finden in der Regel während solarer Minima statt (Abb. 5.5). Die Klimaverschiebungen von 1976 und 1997 fanden während des solaren Minimums statt, was ein Beweis für die WGK-h ist. Die Verschiebung von 1925 fand ebenfalls direkt nach dem Minimum von SC15-16 statt, die von 1946 nach dem Minimum von SC17-18 (siehe Abb. 4.8c & f; Mantua et al. 1997). Das Niveau der Sonnenaktivität zwischen den Minima bestimmt den Grad der äquatorialen und polaren atmosphärischen Kopplung und das arktische Klima während dieses Zyklus (Abb. 5.4d). Da Regimewechsel in der atmosphärischen Zirkulation und im Klima bei solaren Minima stattzufinden scheinen, bestimmt in den folgenden Jahren die Aktivität des solaren Maximums, ob ein Wechsel stattfindet. Ist die Aktivität ähnlich wie im vorangegangenen Zyklus, gibt es keine Verschiebung, ist sie deutlich anders, wird die Verschiebung ab dem solaren Minimum bestätigt. Ein vorhersehbares Ergebnis ist die Häufigkeit von Klimaphasen, die sich über zwei Sonnenzyklen erstrecken, wie der Zeitraum 1976-1997. Dies erklärt die wiederholten Berichte über 22-jährige solare Signale in Klimaproxies, wie den bidekadischen Dürreerhythmus im Westen der USA (Cook et al. 1997) oder die Baumringbreite in der Arktis (Ogurtsov et al. 2020) und in Südchile (Rigozo et al. 2007).

Damit liefert die WGK-h eine Erklärung für das Paradoxon des asymmetrischen Sonneneffekts. Nach dieser Hypothese führen Jahre mit hoher Sonnenaktivität zu einem geringeren Energieverlust am Winterpol aufgrund eines stärkeren PV und eines geringeren MT (Abb. 5.3a), während Jahre mit geringer Sonnenaktivität aufgrund des gegenteiligen Effekts zu einem höheren Energieverlust führen (Abb. 5.3b). Während hochaktiver Sonnenzyklen fördern 5-6 Jahre mit überdurchschnittlicher

Sonnenaktivität einen geringeren Energieverlust an den Polen, gefolgt von 4-5 Jahren mit unterdurchschnittlicher Sonnenaktivität, die einen höheren Energieverlust an den Polen bewirken, was zu einer moderaten Erwärmung führt. Zyklen mit geringer Sonnenaktivität weisen alle oder fast alle Jahre eine unterdurchschnittliche Sonnenaktivität auf, was zu einer verstärkten Abkühlung führt.

Die Asymmetrie in der Variabilität des 11-Jahres-Zyklus und in der solaren Wirkung auf das Klima durch den WGK-h erklärt, warum Paläoklimatologen nur die übergroße klimatische Wirkung der SGM auf das Klima feststellen. Theoretische Überlegungen lassen erwarten, dass lange ununterbrochene Perioden geringer Sonnenaktivität einen größeren Klimaeffekt haben sollten als lange Perioden mit intermittierender Aktivität. Paläoklimatologische Beobachtungen bestätigen diese Erwartung und belegen, dass die klimatische Wirkung der Sonnenaktivität real ist.

5.6 Das Paradoxon Zykluslänge/Klimaeffekt

Einer der Haupteinwände gegen eine stärkere Rolle der Sonne beim Klimawandel ist, dass der 11-jährige Sonnenzyklus keine großen Auswirkungen auf das Klima zu haben scheint. Moderne Klimaanalysen mit Satellitendaten seit 1979 haben fast vier vollständige Sonnenzyklen abgedeckt, und es ist klar, dass die beobachteten Veränderungen zwar signifikant, aber bescheiden sind (Lean 2017; siehe Abb. 2.2). Und zwischen den Zyklen ist keine Veränderung zu erkennen, geschweige denn ein Trend bei einer Klimavariablen, der mit dem Trend der Sonnenaktivität korrelieren würde.

Die Sonnenaktivität weist aber auch längere Zyklen auf. Die Sonnenzyklen tragen die Namen bedeutender Sonnenforscher. Der 11-Jahres-Schwabe-Zyklus, der 22-Jahres-Hale-Zyklus, der 100-Jahres-Feynman-Zyklus, der 200-Jahres-de-Vries-Zyklus, der 1000-Jahres-Eddy-Zyklus und der 2500-Jahres-Bray-Zyklus wurden in der wissenschaftlichen Literatur als klimatisch wirksam beschrieben (siehe Vinós 2022 und Verweise darin). Der 100-jährige Feynman-Zyklus ist verantwortlich für zwei 11-jährige Zyklen mit geringer Aktivität in den frühen 1800er Jahren (Zyklen 5 & 6, 1798-1823), den frühen 1900er Jahren (Zyklen 14 & 15, 1902-1923) und den frühen 2000er Jahren (Zyklen 24 & 25, seit 2008 und bis ca. 2030). Der 200-jährige de-Vries-Zyklus ist für die Abstände der Wolf-, Spörer- und Maunder-Grand-Minima während der LIA verantwortlich. Der 1000-jährige Eddy-Zyklus ist für die wichtigsten Klimaperioden der letzten 2000 Jahre verantwortlich: die Römische Warmzeit, die Kaltzeit des Dunklen Zeitalters (auch als Kleine Eiszeit der Spätantike bekannt), die mittelalterliche Warmzeit, die LIA und die moderne Warmzeit, die um 1850 begann, mit einem gewissen anthropogenen Beitrag in den letzten sieben Jahrzehnten.

Aus paläoklimatischen Studien geht hervor, dass die klimatischen Auswirkungen umso tiefgreifender sind, je länger der Sonnenzyklus ist. Die größte Wirkung hat der 2500-jährige Bray-Zyklus, der längste

eindeutig erkennbare Zyklus in Sonnen- und Klimastudien. Dieser Zyklus, der in Teil II (Abschnitt 2.2) und in [Abb. 2.1](#) vorgestellt wird, hat nicht nur die biologische Unterteilung des Holozäns (boreale, atlantische, subboreale und subatlantische Periode) begründet, sondern auch große periodische Schwankungen der menschlichen Populationen in der Vergangenheit verursacht. Bevan et al. (2017) sagen dazu:

„Wir zeigen, dass es im Laufe des Holozäns mehrfach zu einem Rückgang der menschlichen Bevölkerung kam, der mit periodischen Episoden geringerer Sonnenaktivität und klimatischer Umstrukturierung zusammenfiel. ... Diese Belege deuten insgesamt auf eine quasi-periodische solare Beeinflussung der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation mit weitreichenden klimatischen Folgen hin.“ – Bevan et al. (2017)

Diese periodischen Episoden des Bevölkerungsrückgangs entsprechen zum großen Teil dem 2500-Jahre-Bray-Zyklus, wie in [Abb. 2.1](#) oder in ihrer Abbildung 3 zu sehen ist. Man kann sich nur vorstellen, welche Art von Klimaeffekt der 2500-Jahre-Bray-Zyklus hat, um solche Rückgänge der menschlichen Bevölkerung zu verursachen.

Es erscheint paradox, dass die Sonnenvariabilität auf kurze Sicht (11-Jahres-Zyklus) fast keine Auswirkungen hat, aber auf lange Sicht (2500-Jahres-Zyklus) eine enorme Wirkung hat. Der WGK-h liefert auch eine Erklärung für dieses Paradoxon von Zykluslänge und Klimaeffekt. Wie in [Abb. 5.3](#) gezeigt, ist die Sonnenaktivität nicht der einzige Modulator des MT. Zumindest der QBO, ENSO, die Stadiumwellen-Oszillation und Vulkanausbrüche wirken als Modulatoren des MT, und daher kann der Effekt in einem bestimmten Jahr das Gegenteil von dem sein, was die Sonnenaktivität allein vorgeben würde. Hinzu kommt, dass während eines durchschnittlich aktiven 11-jährigen Sonnenzyklus fast die Hälfte der Jahre in die eine Richtung und fast die andere Hälfte in die andere Richtung wirken. Das Ergebnis ist ein moderater Effekt, bei dem die Kausalität unklar ist.

Die Auswirkungen von QBO und ENSO tendieren in einigen Jahren gegen Null und in einigen Jahrzehnten gegen die multidekadische Oszillation. Je länger der Sonnenzyklus ist, desto länger ist die Periode mit geringer Sonnenaktivität an ihren Tiefpunkten. Wie wir gesehen haben, wird der größte Klimaeffekt durch kontinuierliche Perioden von Jahrzehnten erzeugt, in denen die meisten Jahre eine geringe Sonnenaktivität aufweisen. Der kleine Zuwachs der großen Energiemenge, die der Planet in sonnenarmen Jahren an jedem Winterpol verliert, ist kumulativ, ebenso wie die erhöhte Energie, die durch den Anstieg des CO₂ zurückgehalten wird. Nach und nach verliert der Planet mehr Energie, als er gewinnt, und kühlt sich ab. Je länger der Zyklus dauert, desto länger ist der Abschwung und desto stärker ist die Abkühlung. Die Gebiete in den MT-Hauptpfaden, insbesondere die nordatlantische Region (einschließlich Europa und Nordamerika), kühlen sich zuerst, länger und stärker ab, aber der Energieabfluss betrifft den gesamten Planeten. Und obwohl sich die arktische Region aufgrund eines größeren Energiezuflusses durch den

verstärkten MT zunächst erwärmt, kühlt sie sich schließlich auch ab, da der gesamte Planet kälter wird.

Das Klima reagiert daher erst dann sehr empfindlich auf die Sonnenaktivität, wenn mehrere aufeinanderfolgende 11-Jahres-Zyklen mit gleichbleibend niedriger oder hoher Sonnenaktivität den Effekt über das Hintergrundrauschen hinaus ansteigen lassen. Und das auch nur dann, wenn die multidekadische Stadiumwelle nicht in entgegengesetzter Richtung auf MT einwirkt. Die Sonnenaktivität und die Stadium-Welle wirkten während der Klimaphase 1976-1997 zusammen, um eine beschleunigte Erwärmung durch eine starke Abnahme von MT zu bewirken, was zu einer langen Periode der globalen Windstille führte (McVicar & Roderik 2010; Zeng et al. 2019), für die es bisher keine Erklärung gab. Seit 1998 hat MT zugenommen, was zu einer Erwärmung der Arktis und einer Pause in der globalen Erwärmung führte. Die Verkettung von zwei aufeinanderfolgenden Zyklen geringer Sonnenaktivität seit 2008 und die sich abzeichnende Verschiebung der Stadium-Welle hin zu einer Abkühlungsphase der AMO, die durch die jüngste Abkühlung des nordatlantischen Erwärmungslochs (46°N - 62°N & 46°W - 20°W ; Latif et al. 2022) signalisiert wird, bedeutet ein Problem für die CO_2 -Hypothese des Klimawandels. Die CO_2 -Hypothese geht von einer beschleunigten Erwärmung aus, solange der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre ansteigt. Der natürliche Klimawandel ist jedoch zyklisch, und die moderne Theorie des Klimawandels versteht das nicht.

In diesem Teil der Serie haben wir gesehen, wie Veränderungen in der Sonnenaktivität zu Klimaveränderungen führen, indem sie den MT der Energie in Richtung der Pole in einer jahreszeitlich abhängigen Weise modulieren. Das Ergebnis ist, dass das moderne Sonnenmaximum erheblich zur modernen globalen Erwärmung beigetragen hat, und das derzeitige ausgedehnte Sonnenminimum ist zumindest teilweise für eine anhaltend geringere globale Erwärmung verantwortlich. Die Rolle der Sonne als Modulator des polwärts gerichteten Energietransports lässt sich jedoch nicht aus ersten Prinzipien ableiten. Die Reaktion des stratosphärischen Ozons auf UV-Änderungen beeinflusst MT über das Charney-Drazin-Kriterium, den Holton-Tan-Effekt und die stratosphärisch-troposphärische Kopplung. Alle diese atmosphärischen Phänomene beruhen auf Beobachtungen, nicht auf Theorien. Der IPCC geht davon aus, dass die Sonnenvariabilität das Klima durch kleine Veränderungen der gesamten einfallenden Energie leicht beeinflusst. Der Top-down-Mechanismus wirkt durch kleine UV-Änderungen, die noch weniger Energie beinhalten. Die Änderung der UV-Energie, die auf das Ozon der Stratosphäre übertragen wird, wird teilweise in Änderungen der Windgeschwindigkeit umgewandelt. Die Energie zur Veränderung der stratosphärischen Zirkulationsdynamik und – durch Kopplung – der troposphärischen Zirkulation wird durch atmosphärische Wellen in der Troposphäre erzeugt, nicht durch die einfallende Sonnenstrahlung. Die WGK-h schlägt vor, dass die Energie, die das Klima als Reaktion auf solare Veränderungen verändert, Energie ist, die sich bereits im Klimasystem befindet. Bei geringer Sonnenaktivität wird diese Energie zu den Polen gelenkt und in den Weltraum abgestrahlt, wodurch der Planet abgekühlt wird, während sie bei

hoher Aktivität länger im Klimasystem bleibt und den Planeten erwärmt. Diese unerwartete Energieumleitung, die sich nicht aus der Theorie ableiten lässt, hat die Sonnen-Klima-Frage so lange unlösbar gemacht. Im letzten Teil werden wir uns mit den Beweisen dafür befassen, dass MT der wahre Klimaregler ist und wie er die Klimaveränderungen erklären kann, die auf dem Planeten stattgefunden haben, vom frühen Treibhaus des Eozäns, vor 52 Millionen Jahren, bis zum gegenwärtigen Eishaus.

References

Glossary/abbreviations

The earlier parts of this series on Meridional transport and the Winter Gatekeeper hypothesis:

[Part 1](#): The Search for a solar signal. [\[Deutsch\]](#)

[Part 2](#): Solar activity and climate, unexplained and ignored. [\[Deutsch\]](#)

[Part 3](#): Meridional transport of energy, the most fundamental climate variable. [\[Deutsch\]](#)

[Part 4](#): The unexplained climate shift of 1997. [\[Deutsch\]](#)

This post originally appeared on Judy Curry's website, [Climate, Etc.](#)

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2022/08/28/the-sun-climate-effect-the-winter-gatekeeper-hypothesis-v-a-role-for-the-sun-in-climate-change/>

Übersetzt von [Christian Freuer](#) für das EIKE