

Vergleich der Zeitreihen von Sonnenstunden und Temperatur durch Fourier Analyse und Anstiegsverhalten

geschrieben von Admin | 23. März 2026

Dr. Konrad Voge

Abstract

Zeitreihen von Naturerscheinungen wie Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmengen, Temperaturen oder Anzahl der Sonnenstunden werden in ihrem Verhalten meist mit Regressionsmethoden, gleitenden Mittelwerten usw. untersucht. Allerdings können die Zeitreihen auch als Schwingungen aufgefasst und demnach mit Methoden der Schwingungsanalyse behandelt werden. Dieser Weg wurde hier beschritten.

Die Methode der Harmonischen Analyse, auch als Fourier Analyse geläufig, wird hier auf die Untersuchung des Zusammenhangs von Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur angewendet. Als Vergleichszeitreihen zur Überprüfung der Nullhypothese: „Es existiert kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur“, wurden fiktive Zeitreihen aus Zufallszahlen erzeugt. Es hat sich gezeigt, dass mit hoher statistischer Sicherheit die Nullhypothese zu verwerfen ist und somit erneut ein Zusammenhang zwischen den beiden Größen statistisch nachgewiesen ist.

Ein zweiter hier untersuchter Ansatz ist die Zählung des Anstiegsverhaltens der Zeitreihen. Es werden die Jahre gezählt, in denen eine gleiche Richtung des Anstiegs vorliegt. Die Nullhypothese wurde wie bei der Fourier Analyse gegen die Zeitreihen aus Zufallszahlen geprüft und ebenfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit verworfen.

Teil 1 Fourier Analyse

Vorbemerkung

Die Sonne ist der einzige wesentliche Energiespender für die Erde. Sie bestimmt die Temperatur. Der Zusammenhang zwischen Sonneneinstrahlung und Temperatur wurde schon häufig durch Regressions- und Korrelationsanalysen dargestellt. Die Frage der Kausalität; die eigentlich nicht gestellt werden dürfte, da der Zusammenhang jedem Kind bekannt ist, soll hier untermauert werden. Als Hilfsmittel dient dazu die Fourier Analyse.

Mit dieser lassen sich Schwingungen dahingehend analysieren, dass sie in ihre harmonischen Bestandteile zerlegt werden und deren Amplituden und Phasenlagen zu weiteren Betrachtungen verwendet werden. Eine Harmonische ist eine Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschwingung ist.

Erste Harmonische Grundschwingung – eine Schwingung über der Gesamtdauer

Zweite Harmonische Zwei Schwingungen über der Gesamtdauer

Dritte Harmonische Drei Schwingungen über der Gesamtdauer usw.

Jede dieser Schwingungen trägt mit einer bestimmten Amplitude und Phase zum Gesamtsignal (hier die Zeitreihe) bei.

Die Fourier Analyse ist in der Technik zum Beispiel ein grundlegendes Verfahren zur Beurteilung des Verhaltens einer Konstruktion auf die Erregung durch Schwingungen. Beispielsweise bei der Konstruktion von Werkzeugmaschinen die Kenntnisse von Eigenfrequenz, Erregerfrequenz und deren Amplituden von Bedeutung. Ein Beispiel über das Zusammenspiel von Eigenfrequenz und Erregerfrequenz ist der Einsturz der Takoma-Narrow-Bridge von 1940 (Film 2:30 min).

Im folgenden Artikel wird untersucht, wie die gemessene Anzahl der Sonnenstunden mit den gemessenen Temperaturen korrespondiert. Dazu werden die Zeitreihen beider Größen in Relation (Normierung auf Maximalwert) gebracht und deren Harmonischen verglichen. Bild 1 zeigt den Verlauf der beiden Größen für den Zeitraum 1973 bis 2022. Es ist erkennbar, dass die Verläufe weitgehend korrespondieren.

Vorgehensweise

Es werden Zeitreihen von Meßstationen in Deutschland gesucht, die über einen genügend langen Zeitraum lückenlos Werte von der Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur liefern. Diese werden der Fourier Analyse unterzogen. Mit denselben Zeitreihen der Anzahl der Sonnenstunden und Zufallszahlen anstelle der Temperaturzeitreihen werden ebenfalls Fourier Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse beider Analysen werden miteinander verglichen. Somit kann eingeschätzt werden, ob der Einfluss der Anzahl der Sonnenstunden zufällig oder systembedingt ist.

In einem weiteren Schritt wird geprüft, ob ein Einfluss der geographischen Lage der betrachteten Meßstationen vorhanden ist.

Eine weitere einfache Vergleichsmöglichkeit beider Zeitreihen besteht im gemeinsamen Verlauf des Anstiegs zwischen zwei aufeinanderfolgenden Jahren. Auch hier werden wieder die Zeitreihen der Sonnenstunden, mit denen der Temperaturen und mit denen durch erzeugte Zufallszahlen verglichen.

Es sind somit die folgenden Fragen zu beantworten.

Fragestellung

1. In wieviel Harmonische ist eine Zeitreihe zu zerlegen, um die beste Anpassung der zerlegten Zeitreihe an die Originalzeitreihe zu erzielen.
2. In welchen Harmonischen liegt die beste Übereinstimmung zwischen den Zeitreihen von Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur vor. Das heißt, existiert ein Muster des Einflusses der Anzahl der Sonnenstunden auf die Temperatur.
3. Liegt ein Einfluss der geografischen Lage der Meßstationen auf die Übereinstimmung zwischen den Zeitreihen von Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur vor.
4. Sind die Zusammenhänge von Sonneneinstrahlung und Temperatur zufällig.

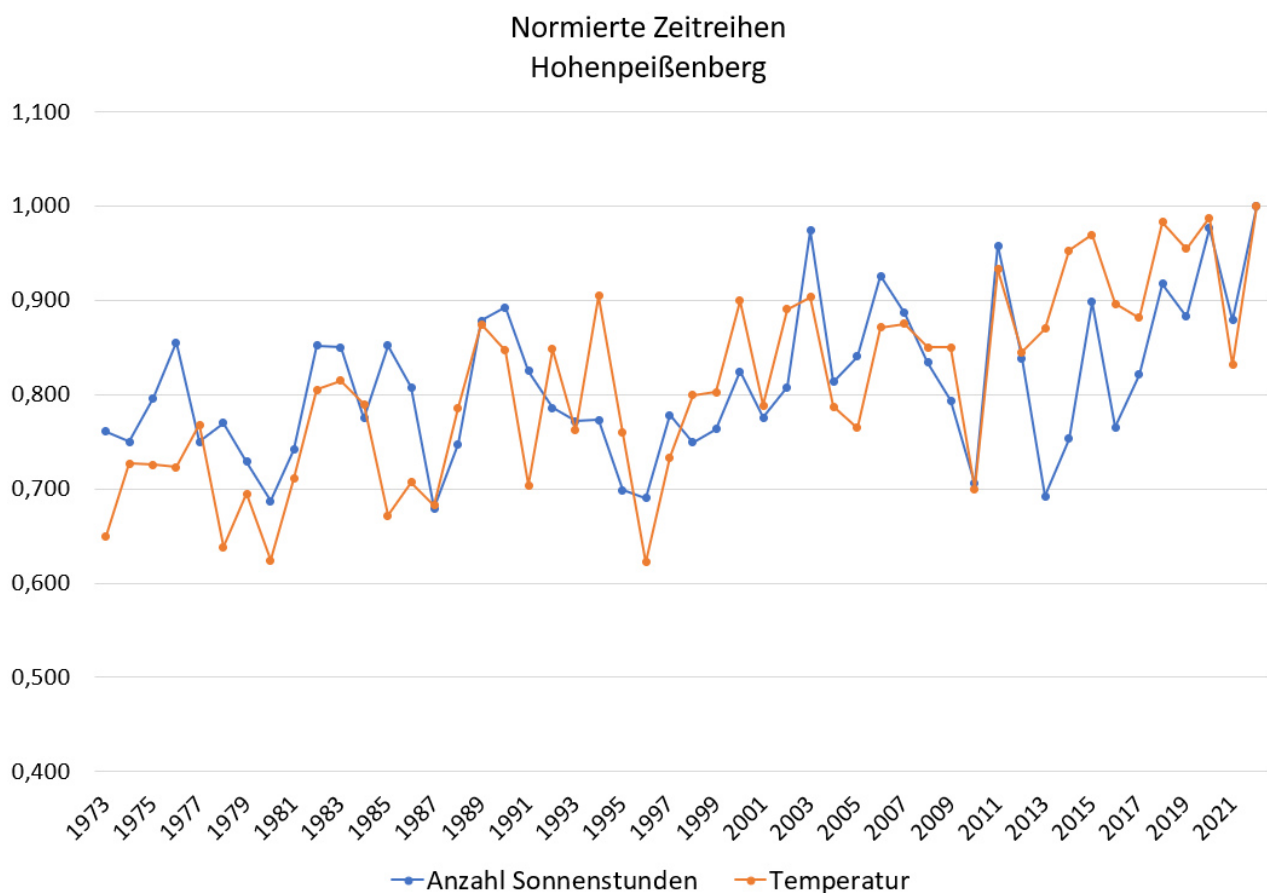


Bild 1 Normierte Zeitreihen der Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur

Daten

Es werden die Jahreswerte der vom DWD zur Verfügung gestellten Zeitreihen zur Auswertung verwendet. Hierbei ist zu beachten, dass die Zeitreihen genügend lang sind, um Aussagen auch in höheren Harmonischen (also 5. und höher) treffen zu können. Des Weiteren muss aber auch eine genügende Anzahl von Datensätzen vorliegen. Das Problem sind Datensätze zu der Anzahl der Sonnenstunden. Diese sind in der Regel kurz und nur

für relativ wenige Meßstationen verfügbar. Weiterhin dürfen sie keine Fehlstellen aufweisen. Es hat sich gezeigt, dass Datensätze mit dem Umfang von 50 Jahren in genügender Anzahl vorliegen. Die ausgewählten Zeitreihen betreffen den Zeitraum 1973 – 2022. Damit ergeben sich für die Bundesländer die in Tabelle 1 zusammengestellten Anzahlen der auswertbaren Datensätze.

Bundesland	Anzahl Datensätze	Anzahl Werte	
Baden-Württemberg	13	650	
Bayern	22	1100	
Brandenburg/Berlin	8	400	
Bremen/Hamburg	3	150	
Hessen	6	300	
Mecklenburg-Vorpommern	4	200	
Niedersachsen	8	400	
Nordrhein-Westfalen	6	300	
Rheinland-Pfalz	6	300	
Saarland	3	150	
Sachsen	5	250	
Sachsen-Anhalt	3	150	
Schleswig-Holstein	5	250	
Thüringen	3	150	
Summe	95	4750	

Tabelle 1 Verwertbare Datensätze zur Fourier Analyse

Vor weiteren Berechnungen sind die Datensätze auf Ihre Verteilungsform geprüft worden. Dazu wurden der Shapiro-Wilk-Test, der Kolmogorov-Smirnov-Test und der Anderson-Darling-Test zur Prüfung auf Normalverteilung angewendet. Es wurden alle 95 Datensätze geprüft, mit dem Ergebnis, dass mit Ausnahme von fünf Sätzen der Anzahl der Sonnenstunden und zwei Sätzen der Temperatur alle normalverteilt sind. Damit sind keine Verzerrungen der Ergebnisse durch unterschiedliche Verteilungsformen zu erwarten.

Fourier Analyse

Jede Zeitreihe wird als eine Schwingung mit der Länge 2π aufgefasst. Eine Harmonische ist definiert als die Anzahl der Schwingungen über 2π , die der Nummer der Harmonischen entspricht. Da 2π hier den Zeitraum von 50 Jahren bedeutet, beträgt die Wellenlänge in Jahren ausgedrückt $50/H$, mit H als Nummer der Harmonischen. Somit betragen die Wellenlängen der ersten sieben Harmonischen 50; 25; 16,67; 12,50;

10,0; 8,33 und 7,14 Jahre. Die mathematische Behandlung der Fourier Analyse ist in der entsprechenden Literatur nachzulesen.

Die Anzahl der zu bestimmenden Harmonischen ist, wie oben erwähnt, von der Aufgabenstellung abhängig. Bild 2 ist die Darstellung der sieben Harmonischen der in Bild 1 gezeigten Zeitreihen von Hohenpeißenberg

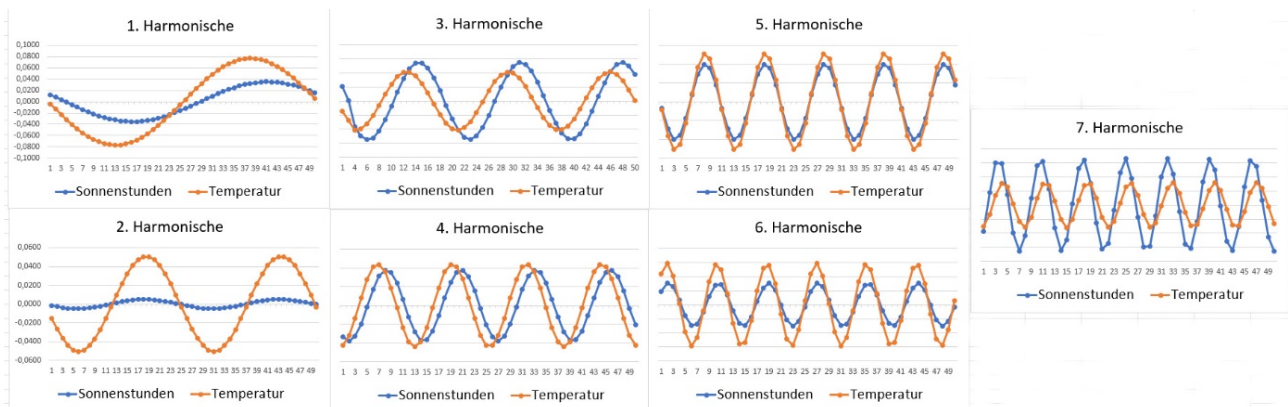


Bild 2 Harmonische 1 bis 7 der Sonnenstunden (blau) und der Temperatur (rot) von Hohenpeißenberg (normiert)

Festlegung der Anzahl der Harmonischen

Die erforderliche Anzahl der Harmonischen lässt sich aus einem Vergleich der Originalzeitreihe mit ihrer harmonisierten Zeitreihe bestimmen. Es ist anzustreben, dass die Abweichungen zwischen der Originalzeitreihe und der durch die Harmonischen nachgebildete Zeitreihe (harmonisierte Zeitreihe) möglichst klein sind. Alle 95 Zeitreihen der Sonnenstunden wurden bis zur 12. Harmonischen entwickelt und jeweils mit der Originalzeitreihe über die Summe der Quadrate der Abweichungen (SQR) verglichen. Es liegen somit $95 \cdot 12 = 1140$ Ergebnisse vor.

Sonnenstunden pro Jahr - Hohenpeißenberg Harmonische 1 bis 7

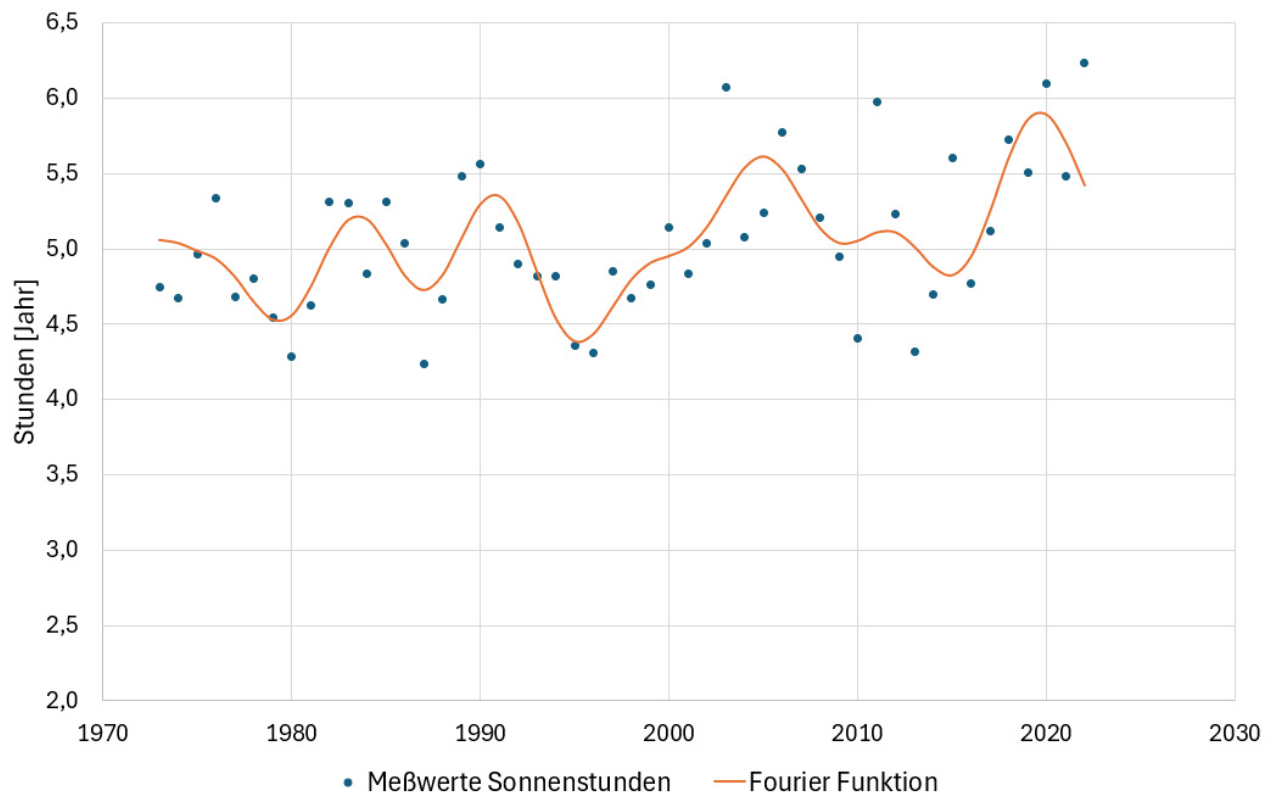


Bild 3 Vergleich der natürlichen Zeitreihe der Anzahl der Sonnenstunden mit der harmonisierten Fourier Reihe mit sieben Harmonischen

In Bild 3 ist als Beispiel die Anzahl der Sonnenstunden und die Fourier Reihe mit den ersten sieben Harmonischen als Vergleich dargestellt. Aus den so gewonnenen SQR-Werten lässt sich abschätzen, bis zu welcher Anzahl Harmonischer die Zeitreihen zu entwickeln sind. Mittels des Ansatzes als quadratisches Polynom für die Ausgleichsrechnung folgt die Kurve nach Bild 4. Das Minimum des Polynoms liegt bei 6,34. Damit ist gezeigt, dass eine größere Anzahl als sieben Harmonische keine Verbesserung der Genauigkeit bringt.

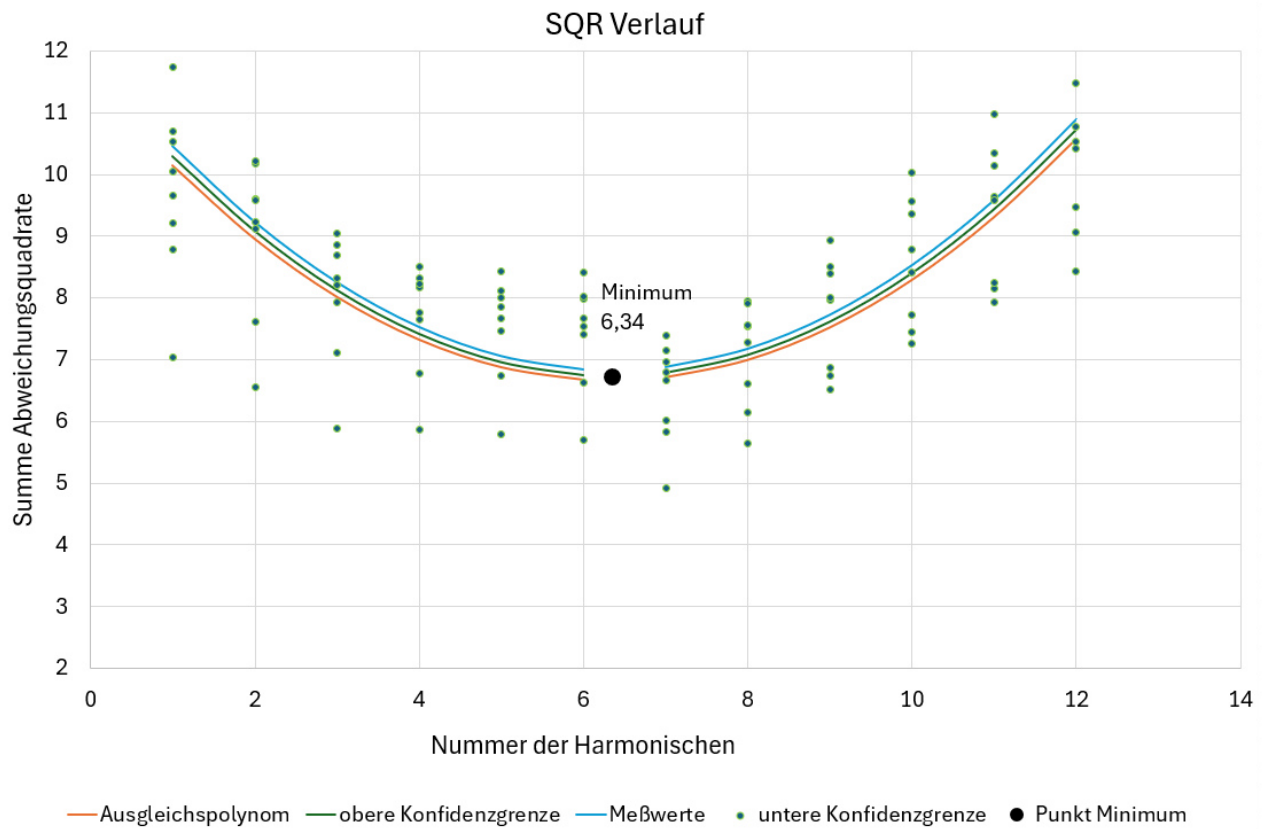


Bild 4 Verlauf der Summe der Quadrate der Abweichung (1140 Werte) als Funktion der Anzahl der Harmonischen

Berechnung der Anpassungszahlen

In Bild 2 ist ersichtlich, dass es zwischen den Harmonischen der beiden Größen (Sonnenstunden und Temperatur) Abweichungen in Amplitude und Phasenlage gibt. Wären die jeweiligen Harmonischen deckungsgleich, wäre eine Zahl, die die Abweichung beschreibt, Null. Die Abweichungen werden hier berechnet, indem für jede Harmonische an jedem Meßpunkt (Jahr) der Betrag der Differenz gebildet und dann über die gesamte Zeit (50 Jahre) summiert wird. Damit liegt eine Vergleichsgröße für die Güte der Anpassung beider Zeitreihen vor. Je kleiner die Anpassungszahl ist, umso geringer ist die Abweichung zwischen beiden Zeitreihen.

Für jede Aufgabenstellung (Sonnenstunden mit Temperatur oder mit Zufallszahlen) folgen 665 (95 Meßreihen x 7 Harmonische) Werte. Ihre Verläufe sind in Bild 5 dargestellt. Hier ist schon ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Verläufen sichtbar. Es ist demnach zu vermuten, dass ein signifikanter Unterschied vorliegt, sodass ein zufälliger Zusammenhang zwischen Sonnenstunden und Temperatur auszuschließen ist.

Interessant ist auch, dass das Minimum der Abweichung der Harmonischen zwischen Sonnenstunden und Temperatur bei einer Harmonischen von 4.38 (falls es diese geben würde) liegt, was umgerechnet 11,4 Jahre bedeutet. Es korrespondiert demnach mit dem Schwabe Zyklus.

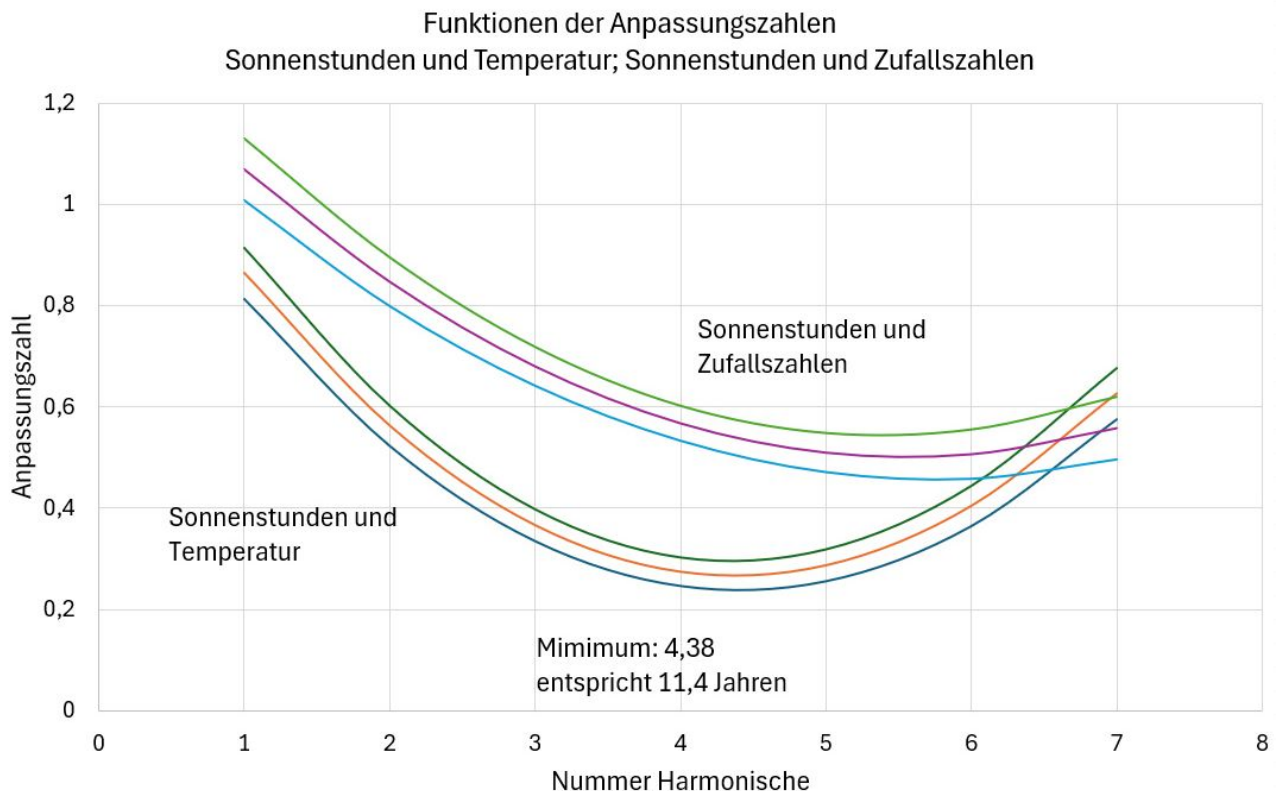


Bild 5 Verlauf der Ausgleichspolynome Sonnenstunden und Temperatur, sowie Sonnenstunden und Zufallszahlen mit 95 % Konfidenzintervallen in Abhängigkeit von den Harmonischen

Signifikanztest der Anpassungszahlen über alle sieben Harmonischen

Für jede der 95 Zeitreihen (Meßstationen) wird die Summe der Anpassungszahlen über alle sieben Harmonische gebildet. Bild 6 zeigt die Verteilung dieser Anpassungszahlen. Da nur 95 Werte zur Verfügung stehen, ist eine Klassifizierung mit mehr als 10 Klassen nicht sinnvoll.

Es wurden folgende Verteilungen geprüft: Normalverteilung, Logarithmische Normalverteilung, Gamma Verteilung und Weibull Verteilung. Gemäß Modellvergleich genügen die Verteilungen Sonnenstunden mit Temperatur und die Verteilung Sonnenstunden mit Zufallszahlen der Weibull Verteilung. Naturprozesse lassen sich häufig durch die Weibull Verteilung beschreiben, wie z.B. die Häufigkeit der Windgeschwindigkeit.

Beide Verteilungen (Sonnenstunden – Temperatur, Sonnenstunden – Zufallszahlen) werden auf signifikanten Unterschied getestet. Es wird dazu die Nullhypothese H_0 : „Beide Verteilungen sind gleich“ geprüft.

Als Test wird der Kolmogorov-Smirnov Test angewendet. Dieser liefert auf dem Signifikanzniveau von 99,5 % einen D-Wert 0,42 (kritischer D-Wert 0,19). Der p-Wert ist mit $p < 10^{-17}$ als Null anzusehen.

Damit ist die Nullhypothese abzulehnen. Es liegt somit ein

hochsignifikanter Unterschied sowohl auf dem 95,5 % als auch auf dem 99,9 % Niveau zwischen beiden Verteilungen vor. Es ist mit sehr hoher statistischer Sicherheit ein Zusammenhang von Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur nachgewiesen.

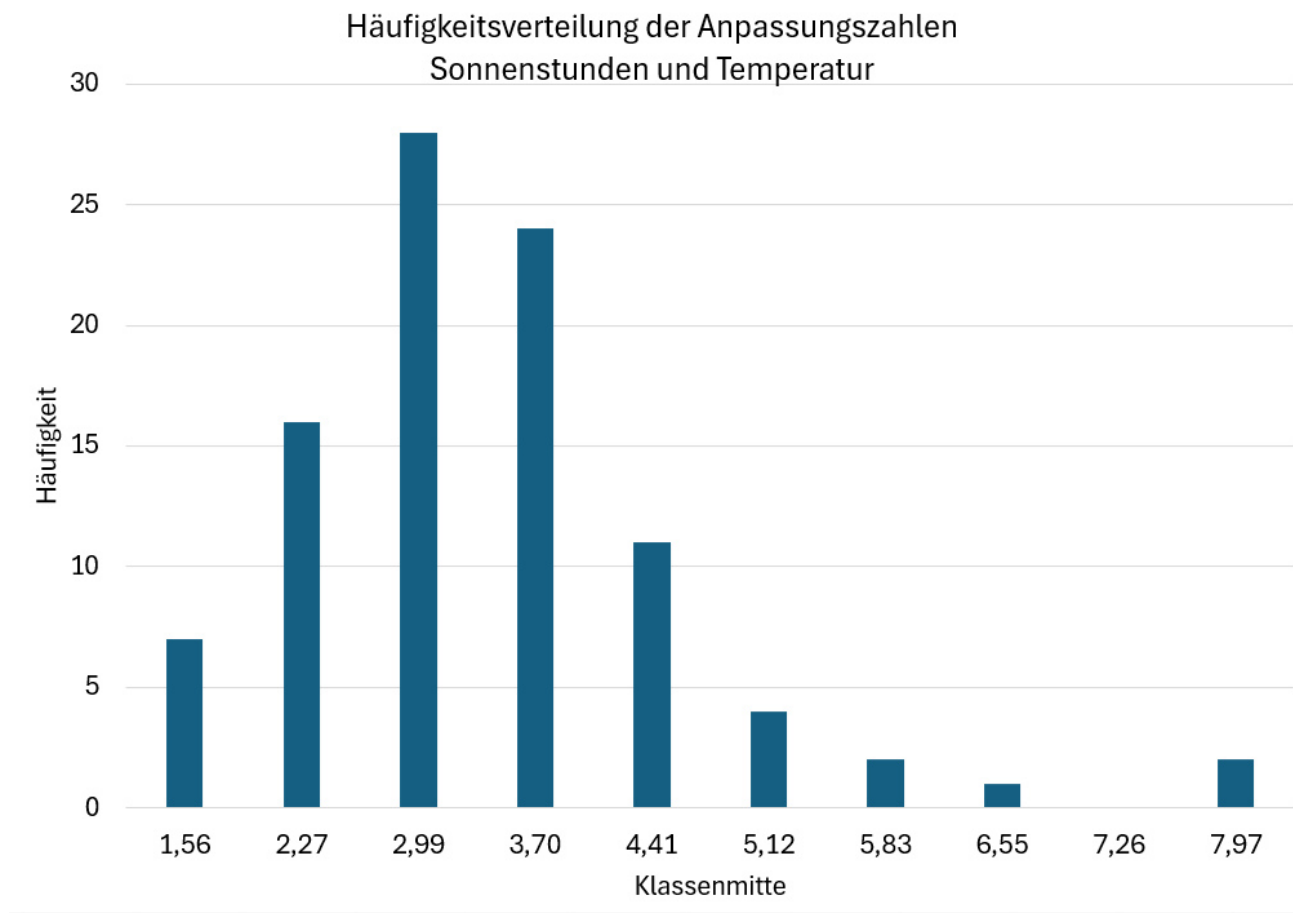


Bild 6 Häufigkeitsverteilung der Anpassungszahl von Anzahl Sonnenstunden mit Temperatur (Weibull Verteilung)

Zusammenfassung

Es wurde die Fourier Analyse auf 95 Zeitreihen für Anzahl der Sonnenstunden, Temperatur und Zufallszahlen angewendet. Dabei wurden einerseits Anzahl Sonnenstunden mit Temperatur und als Vergleich Anzahl Sonnenstunden mit Zufallszahlen der Fourier Analyse unterzogen. Dieses Vorgehen sollte die Frage beantworten, ob der Zusammenhang von Anzahl der Sonnenstunden und der Temperatur zufällig oder bedingt ist. Als weiteres Ergebnis konnte auch der Schwabe Zyklus nachgewiesen werden.

In Teil 2 wird der Frage nachgegangen, ob die gleichen Anstiege der Originalzeitreihen systembedingt oder zufällig sind. Weiterhin wird der Einfluss der geografischen Lage auf die Anpassungszahlen untersucht.

Vergleich der Zeitreihen von Sonnenstunden und Temperatur durch Fourier Analyse und Anstiegsverhalten

Teil 2 Anstiegsvergleich

Dr. Konrad Voge

In Teil 1 Bild 1 sind die normierten Zeitreihen von Anzahl Sonnenstunden und Temperatur abgebildet. Bild 7 zeigt zusätzlich noch die zum Vergleich eingetragenen Zufallszahlen. Wie leicht zu erkennen ist, gibt es bei einer Vielzahl von Jahren übereinstimmendes Anstiegsverhalten. Zum Anstiegsvergleich werden in den zu vergleichenden Zeitreihen die Jahre gezählt, in der gleiches Anstiegsverhalten vorliegt. Liegt im Zeitabschnitt vom Jahr i zum Jahr $i+1$ ($i = 1 \dots n$; z.B.: 1997 – 1998) in beiden Zeitreihen die gleiche Anstiegsrichtung (der Betrag des Anstiegs ist nicht maßgebend, nur die Richtung) vor, wird eine 1 vergeben, andernfalls eine 0. Die Summe über der gesamten Zeitreihe wird durch die Länge der Zeitreihe dividiert und ergibt eine Anstiegsszahl α mit $0 \leq \alpha \leq 1$.

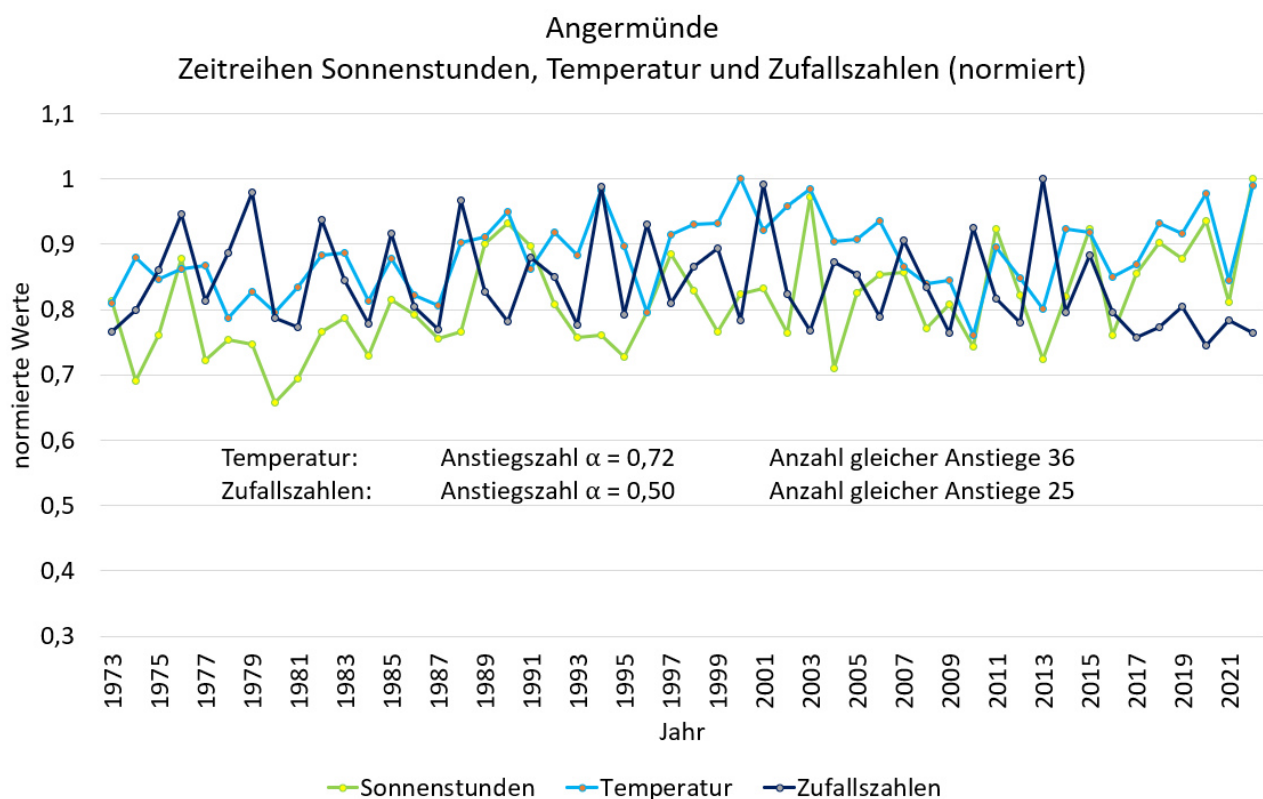


Bild 7 Zeitreihen von Anzahl der Sonnenstunden, Temperatur und Zufallszahlen der Station Angermünde

Beispiel: Zeitreihe Angermünde:

Temperatur: Anzahl gleicher Anstiege: 36 $\alpha = 36 / 50 \alpha = 0,72$

Zufallszahlen: Anzahl gleicher Anstiege: 25 $\alpha = 25 / 50 \alpha = 0,50$

Das gleiche Verfahren wird mit Zufallszahlen als Ersatz für die Zeitreihen der Temperatur angewendet. Es stehen wie in Teil 1

„natürliche“ Zeitreihen und Zeitreihen mit Zufallszahlen zum Vergleich zur Verfügung.

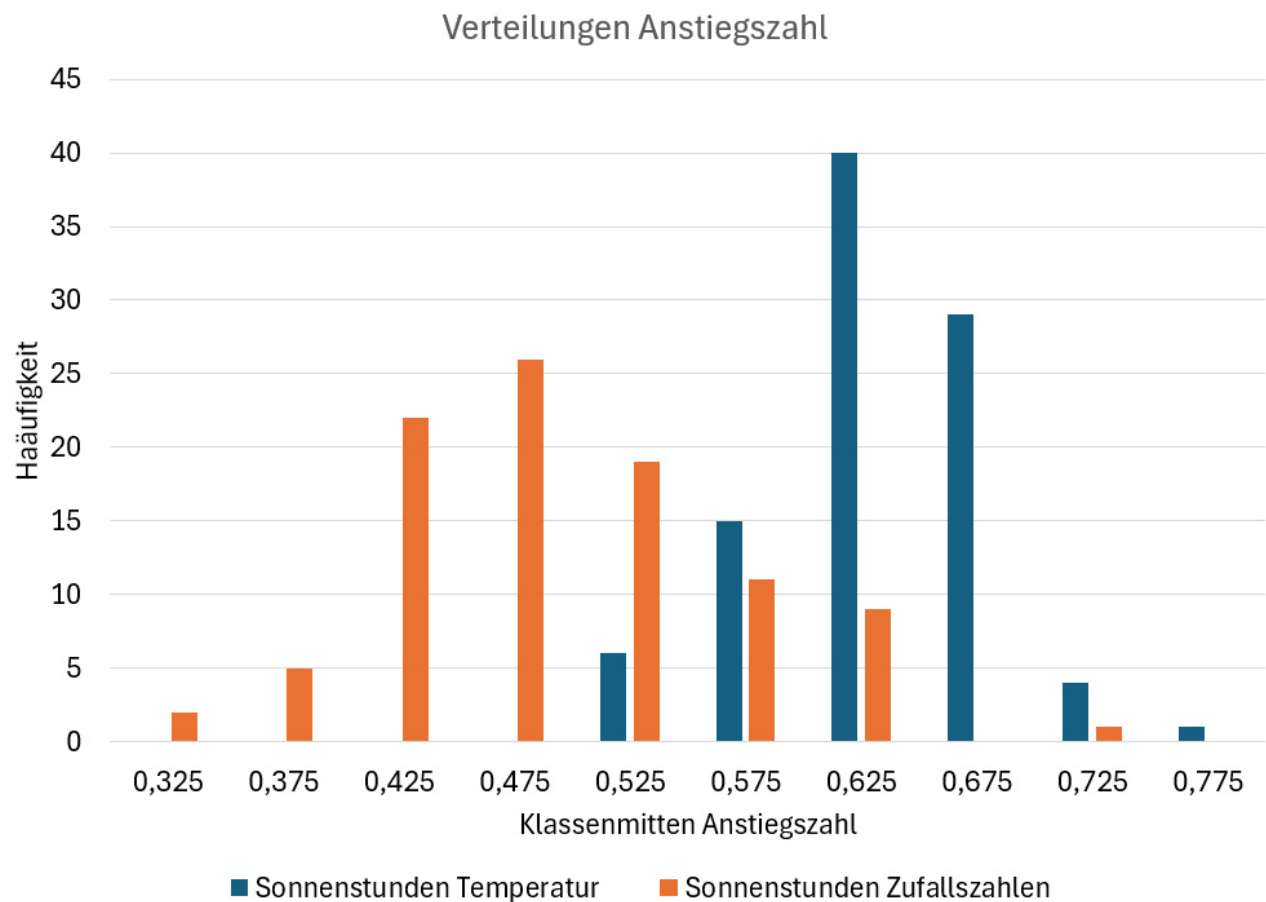


Bild 8 Verteilungen der Anstiegszahlen α

Die beiden in Bild 8 gezeigten Verteilungen werden auf die Nullhypothese H_0 : „Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen“, getestet.

Aufgabe	Methode	Sonnenstunden Temperatur	Sonnenstunden Zufallszahlen
Prüfung auf Normalverteilung	Shapiro -Wilk-Test	W = 0,986 p = 0,401	W = 0,977 p = 0,097
Mittelwertvergleich	Cohens D	D = 2,29	Sehr großer Unterschied
Effektstärke	Cliffs Delta	$\delta = 0,88$	Sehr großer Effekt Keine Überlappung
Verteilungsvergleich	Kolmogorov-Smirnov Test	KS = 0,27 p = $1,06 \times 10^{-21}$	Sehr großer Unterschied
Lagevergleich	Mann-Whitney-U-Test	p = $5,92 \times 10^{-23}$	Sehr großer Unterschied

Einordnung der Unterschiede:

- Cohens D 0,2 = klein 0,5 = mittel 0,8 = groß
- Cliffs Delta $|\delta| < 0,15 \rightarrow$ klein $|\delta| < 0,33 \rightarrow$ mittel $|\delta| < 0,47 \rightarrow$ groß

Tabelle 2 Ergebnisse der Tests der Verteilungen Sonnenstunden und Temperatur mit der Verteilung Sonnenstunden und Zufallszahlen

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der statistischen Tests zusammengestellt. Es ist ersichtlich, dass bei jedem Test ein signifikanter Unterschied festgestellt wird, der die Nullhypothese ablehnt (außer Test auf Normalverteilung). Insbesondere die p-Werte nahe Null weisen auf deutliche Ablehnung der Nullhypothese hin. Damit ist auch mit dieser Methode der Zusammenhang von Dauer der Sonnenstunden und der daraus resultierenden Temperatur nachgewiesen.

Geografischer Einfluss auf die Anstiegswerte α

Eine weitere interessante Frage ist die nach dem Einfluss geografischer Variabler. Dazu werden die berechneten Anstiegswerte α aus den Vergleichen von Sonnenstunden und Temperatur der Zeitreihen der 95 Meßstationen mit den geografischen Daten der Stationen in Verbindung gebracht. Mittels des Ausgleichspolynoms

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{23} x_2 x_3 +$$

$$a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{33} x_3^2$$

ist der Einfluss der geografischen Daten Länge, Breite und Höhe untersucht worden. Die Koeffizienten sind nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate berechnet und in Tabelle 3 zusammengestellt.

a_0	a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{13}	a_{23}
-0,7527	0,0676	-0,08365	0,0001616	0,001037	-4,34E-07	-7,89E-07
a_{11}	a_{22}	a_{33}				
0,00073658	0,00130406	-7,91E-08				

Wertebereich: $47,40^\circ \leq x_1 \leq 55,01^\circ$ Geografische Breite

$6,08^\circ \leq x_2 \leq 14,95^\circ$ Geografische Länge

$4 \text{ m} \leq x_3 \leq 1468 \text{ m}$ Höhe über NN

y Anstiegswert α

Tabelle 3 Koeffizienten des Ausgleichspolynoms zur Berechnung von α

Es hat sich gezeigt, dass alle drei Variablen Einfluss auf die Anstiegswerte ausüben. Da die Darstellung in räumlichen Diagrammen bei drei unabhängigen Variablen unübersichtlich ist, werden in den folgenden

Bildern die Tendenzen dargestellt.

Die Funktion hat bei den Werten nach Tabelle 4 ein Maximum und ein Minimum. Die Bestimmung der Extremwerte wurde mittels eigenen Programms bei 10^6 Iterationen ermittelt. Das heißt, jeder Wertebereich der Variablen wurde in 100 Teile zerlegt.

	Anstiegzahl α	Geografische Breite	Geografische Länge	Höhe über Normalnull
Maximum	0,697	49,987	6,169	849
Minimum	0,571	47,476	13,176	19

Tabelle 4 Extremwerte der Ausgleichsfunktion

Bild 9 zeigt die Abhängigkeit der geografischen Breite und Länge von der Höhe über Normalnull. Die Verläufe sind konvex mit einem Maximum bei ca. 849 m Höhe. Bei diesen Parametern liegen keine Wechselwirkungen zwischen den Variablen vor. Der Einfluss der quadratischen Glieder ist deutlich. Zwischen den Geografischen Längen 10° und 15° gibt es keinen Unterschied mehr. Das heißt, ab der Mitte Deutschlands bis zur Ostgrenze spielt die Geografische Länge keine Rolle.

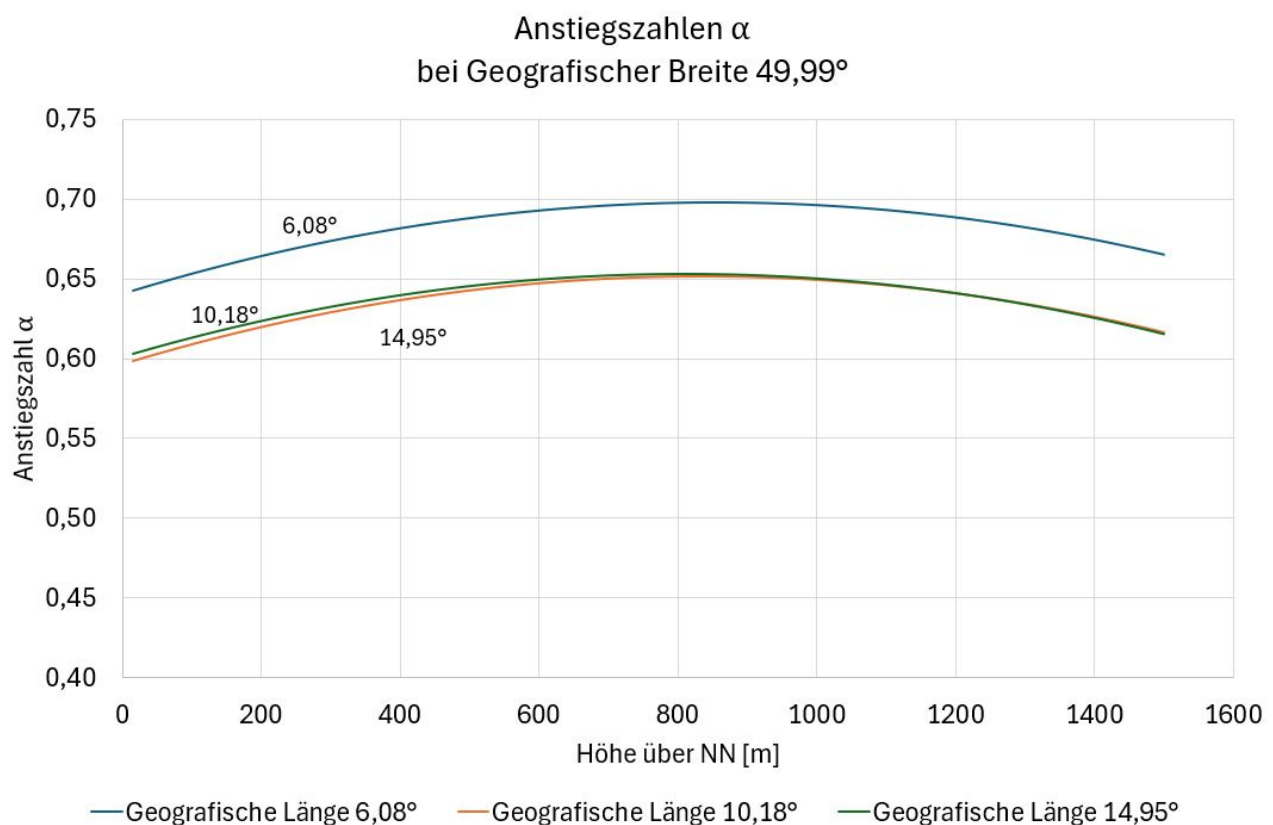


Bild 9 Anstiegswert α bei der Geografischen Breite von $49,99^\circ$ (Maximum der Ausgleichsfunktion)

Bild 10 stellt das Verhalten der geografischen Breite und Länge bei dem festen Wert der Höhe von 849 m (Maximum) dar. Neben dem Einfluss der quadratischen Glieder ist auch die Wechselwirkung zwischen Breite und Länge zu erkennen.

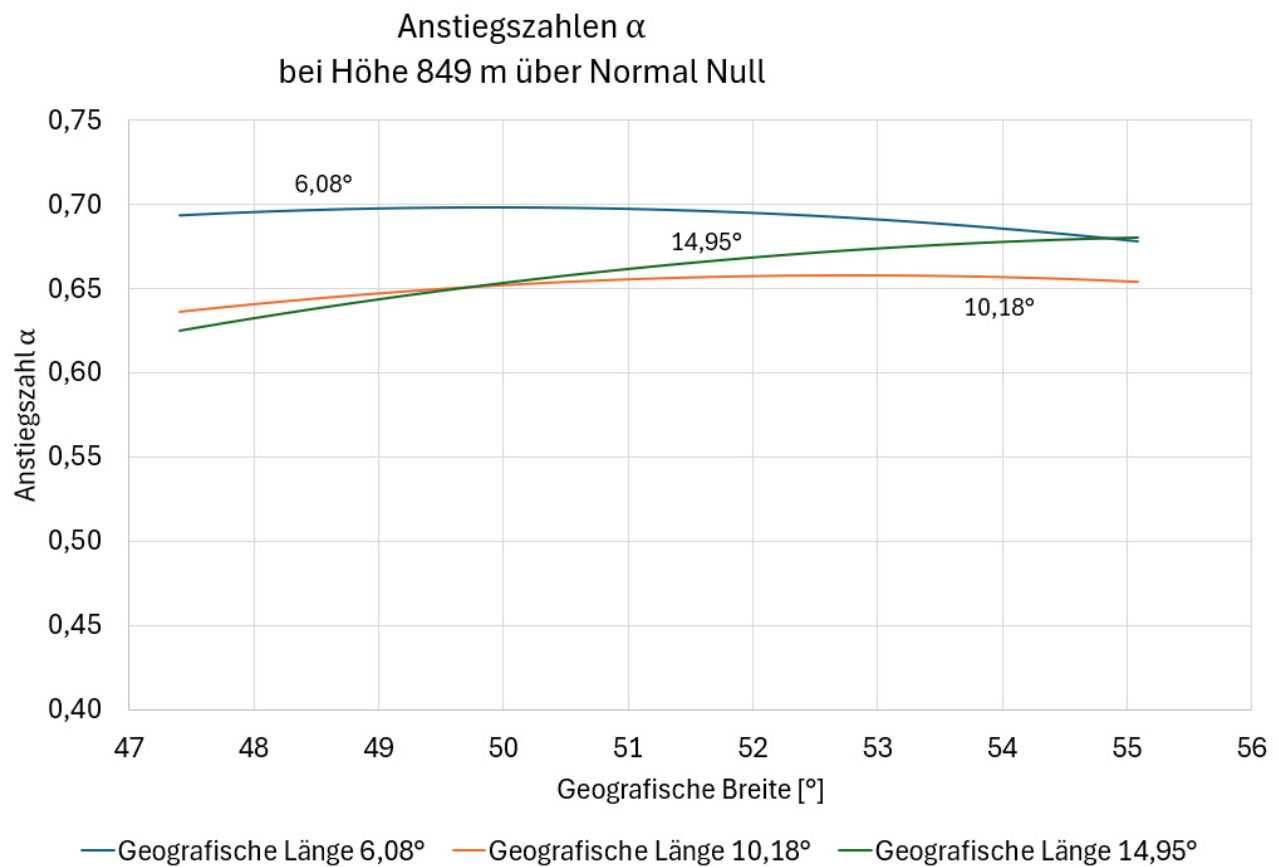


Bild 10 Anstiegsszahl α bei der Höhe von 849 m (Maximum der Ausgleichsfunktion)

Anstiegsszahlen α
bei Höhe 18,82 m über Normal Null

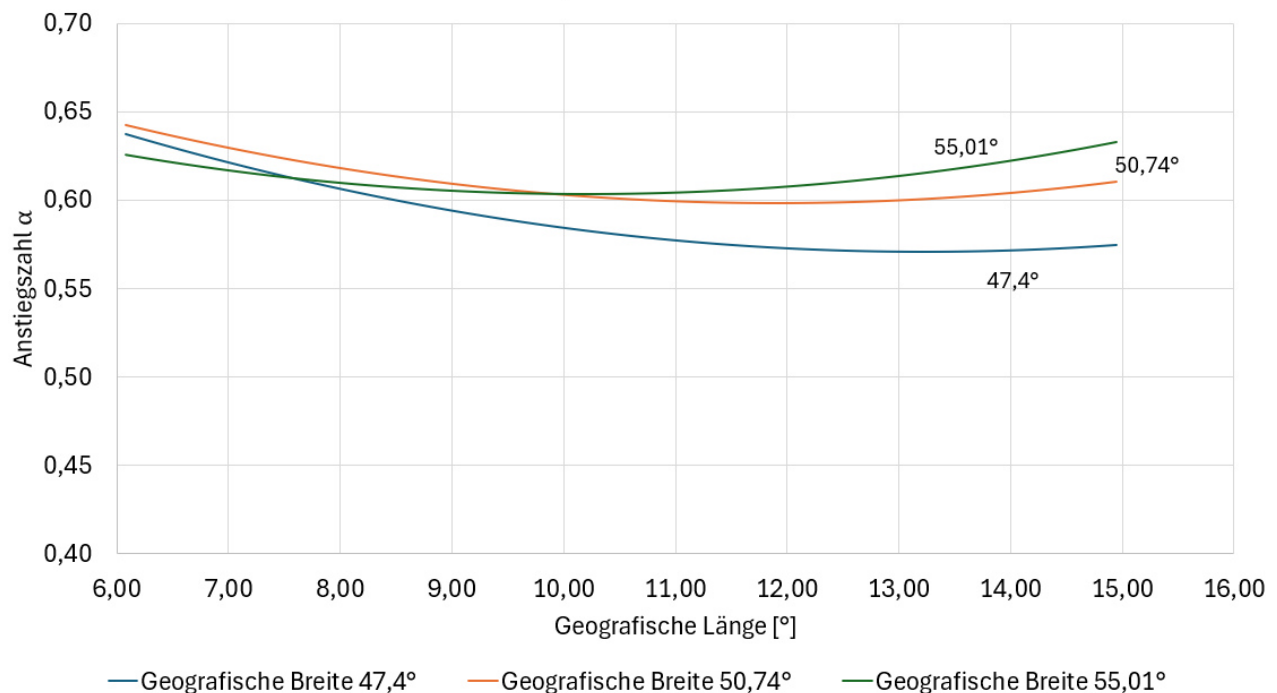


Bild 11 Anstiegsszahl α bei der Höhe von 19 m (Minimum der Ausgleichsfunktion)

In Bild 11 ist die Krümmung der Funktion konkav und es wird der quadratische Einfluss und die Wechselwirkung zwischen den Variablen sichtbar. Damit sind die wesentlichen Tendenzen der Ausgleichsfunktion gezeigt.

Zusammenfassung

In Teil 1 sind die Zeitreihen der Anzahl der Sonnenstunden, mit denen der Temperaturen mittels Fourier Analyse untersucht und verglichen worden. Es wurde für die ersten sieben Harmonischen eine Anpassungszahl berechnet. Diese gibt an, inwieweit die jeweiligen Harmonischen (Sonnenstunden und Temperatur) voneinander abweichen. Sind diese deckungsgleich in Amplitude und Phase, ist die Anpassungszahl Null. Je größer diese Zahl ist, umso mehr weichen die Zeitreihen voneinander ab. Das gleiche Verfahren wurde auf die Paarung Anzahl Sonnenstunden und Zufallszahlen als Ersatz für die Temperatur angewendet. Die Nullhypothese „Es existiert kein Unterschied zwischen den Abweichungszahlen Sonnenstunden-Temperatur und Sonnenstunden-Zufallszahlen“ wurde mit hoher Signifikanz abgelehnt.

In Teil 2 ist ein Verfahren beschrieben, das den Anstieg der zu vergleichenden Zeitreihen bewertet. Es wird gezählt, wie viel gleiche Anstiegsrichtungen bei beiden Zeitreihen vorliegen (natürlich immer zwischen den gleichen Jahren). Es wurden auch hier die Ersatzzeitreihen aus Zufallszahlen wie bei der Fourier Analyse anstelle der Temperatur

Zeitreihen verwendet. Wie bei der Fourier Analyse ist auch hier die Nullhypothese abgelehnt.

Weiterhin wurde durch die Fourier Analyse gezeigt, dass die minimale Abweichungszahl zwischen der vierten und fünften Harmonischen (4,38) liegt, was einem Zeitraum von 11,4 Jahren, also ungefähr dem Schwabe Zyklus; entspricht.

Wenn also der statistische Nachweis des Einflusses der Anzahl der Sonnenstunden auf die Temperatur hoch signifikant ist, wieviel Raum bleibt dann noch für den Einfluss des CO₂?

Meiner Ehefrau Dr. Ines Voge danke ich für ihre Anregungen und die Endkontrolle.