Mitt. POLLICHIA	101	45-68	Bad Dürkheim 2022

ISSN 0641-9665 (Druckausgabe)
ISSN 2367-3168 (Download-Veröffentlichung)

Stephan Traup & Wolfgang Lähne

Methoden zur Berechnung historischer Werte der Sonnenscheindauer in der nördlichen Oberrheinebene

Kurzfassung

Traup, S. & Lähne, W. (2022): Methoden zur Berechnung historischer Werte der Sonnenscheindauer in der nördlichen Oberrheinebene. – Mitt. POLLICHIA **101**: 45–68, Bad Dürkheim.

Die vorliegende Arbeit bildet einen Baustein zur Rekonstruktion vieljähriger Klimareihen und deren meteorologischer Parameter für Zeiten, in denen sowohl Instrumentarium als auch Beobachtungsmethoden noch nicht unbedingt einheitlichen Standards und den heutigen Ansprüchen genügten.

Konkret beschäftigt sich die Arbeit mit der Nachberechnung monatlicher Werte der Sonnenscheindauer aus Messwerten des Bewölkungsgrades. Ziel ist es, Werte der Sonnenscheindauer für Zeiträume zu bestimmen, in denen noch keine Messwerte derselben vorliegen, wohl aber der Bewölkungsgrad des Himmels beobachtet wurde. Dabei liegt der Fokus auf den langjährigen Beobachtungsreihen in der nördlichen Oberrheinebene von Karlsruhe bis Frankfurt am Main. Es werden zwei Methoden vorgestellt, deren Ergebnisse anhand realer Messdaten verifiziert und bewertet werden. Es zeigt sich, dass unter gewissen Einschränkungen eine Rekonstruktion historischer Werte der monatlichen Sonnenscheindauer möglich ist und so Rückschlüsse auf diesen meteorologischen Parameter bis zurück in die Anfänge des 19. Jahrhunderts gemacht werden können.

Abstract

Traup, S. & Lähne, W. (2022): Methods for calculating historical values of sunshine duration in the northern Upper Rhine Valley. – Mitt. POLLICHIA **101**: 45–68, Bad Dürkheim.

This work deals with the reconstruction of long-term climate series and their meteorological parameters for times when both the instruments and the observation methods did not necessarily meet uniform standards and today's requirements.

Specifically, the work deals with the recalculation of monthly values of sunshine duration from measured values of cloudiness. The aim is to determine values of the sunshine duration for periods in which no measurement values are available, but the cloudiness of the sky was observed. The focus is on the long-term observation series in the northern Upper Rhine Valley from Karlsruhe to Frankfurt am Main. Two methods are presented, the results of which are verified and evaluated using real measurement data. It is shown that, subject to certain restrictions, a reconstruction of historical values of the monthly sunshine duration is possible and information about this meteorological parameter can be gained back to the beginning of the 19th century.

Résumé

Traup, S. & Lähne, W. (2022): Méthodes de calcul des valeurs historiques de la durée d'ensoleillement dans la nord Plaine du Haut-Rhin. – Mitt. POLLICHIA **101**: 45–68, Bad Dürkheim.

Le présent travail constitue un élément constitutif de la reconstruction de séries climatiques pluriannuelles et de leurs paramètres météorologiques pour des périodes où tant les instruments que les méthodes d'observation ne répondaient pas encore nécessairement à des normes uniformes et aux exigences actuelles.

Concrètement, le travail porte sur le calcul a posteriori des valeurs mensuelles de la durée d'ensoleillement à partir des valeurs mesurées de la nébulosité. L'objectif est de déterminer les valeurs de la durée d'ensoleillement pour des périodes où l'on ne dispose pas encore de valeurs de mesure, mais où l'on a observé le degré de nébulosité du ciel. L'accent est mis sur les séries d'observations à long terme dans le nord de la Plaine du Haut-Rhin, de Karlsruhe à Francfort-sur-le-Main. Deux méthodes sont présentées, dont les résultats sont vérifiés et évalués à l'aide de données de mesure réelles. Il s'avère que, sous certaines restrictions, une reconstruction des valeurs historiques de la durée mensuelle d'ensoleillement est possible et qu'il est ainsi possible de tirer des conclusions sur ce paramètre météorologique en remontant jusqu'au début du 19ème siècle.

1 Einleitung

Mit dem Klimawandel ist das Interesse an langjährigen Klimareihen, die ihren Anfang vor Beginn flächendeckender Beobachtungen haben, gestiegen. Meist ist dabei von den Parametern Temperatur, Niederschlag und Wind die Rede. Auch die großräumigen Strömungsmuster und deren zeitlicher Verlauf gehören dazu. In dieser Arbeit wird das Augenmerk auf einen Parameter gelenkt, der meist erst im Laufe des vergangenen Jahrhunderts beobachtet wurde, nämlich der Sonnenscheindauer. Sie wird als Tagessumme, Monatssumme oder Jahressumme in Stunden angegeben.

Die tägliche Sonnenscheindauer beschreibt die Dauer, an der an einem Tag die Sonne scheint. Im günstigsten Fall ist dies die Dauer von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang. Bis zur Jahrtausendwende war der Sonnenscheinautograf von Campbell-Stokes das gängigste Messgerät. Dieser bestand aus einer Glaskugel, hinter der auf einem skalierten Papierstreifen eine Brennspur durch das gebündelte Sonnenlicht erzeugt wird. Bei tiefstehender Sonne und bei nur schwachem Sonnenschein wird kein Brennstreifen generiert. Heutiger Stand der Technik sind photoelektrische Sensoren, die die Bestrahlungsstärke messen und ab einem international festgelegten Wert von 120 W/m^2 Sonnenschein registrieren.

Für klimatische Betrachtungen ist die monatliche oder jährliche Sonnenscheindauer von Bedeutung. Sie ergibt sich aus der Summe der täglich gemessenen Sonnenscheindauer. Die frühesten Messungen in der nördlichen Oberrheinebene erfolgten im Rhein-Main-Gebiet ab April 1889 in Geisenheim. Vielfach liegen aber erst im Laufe des 20. Jahrhunderts verlässliche Beobachtungen vor. In dieser Arbeit sollen nun Verfahren gezeigt werden, mit denen mittels eines anderen meteorologischen Parameters eine Abschätzung der monatlichen Sonnenscheindauer vor Beginn der systematischen Messungen möglich ist. Es ist dies der Bewölkungs- oder Bedeckungsgrad des Himmels. Von ihm liegen bereits wesentlich früher systematische Beobachtungen vor.

Der Zusammenhang von Bewölkungsgrad und Sonnenscheindauer ist schon mehrfach untersucht und diskutiert worden. Beispielsweise haben sich Hartmann (1960), Grunow (1958) und Steinhauser (1954) des Themas angenommen. Stanghellini (1981) hat mit linearer Regression den Zusammenhang zwischen monatlicher Sonnenscheindauer und der Anzahl der Tage mit klarem, wolkigem und bedecktem Himmel für sechs verschiedene Orte Italiens dargestellt. In neuerer Zeit hat Matuszko (2011) basierend auf den Beobachtungen von Krakau in Polen von 1884 bis 2007 mittels quadratischer Regression den Zusammenhang zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung beschrieben. Sie hat dabei auch den unterschiedlichen Einfluss von Wolkenformen untersucht.

Gerade bei den langen Beobachtungsreihen von Karlsruhe seit 1779 (Kunz et al. 2022), von Mannheim seit 1781 und von Frankfurt seit 1826 ergäbe sich so eine Möglichkeit, Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer für das 19. Jahrhundert und für den Anfang des 20. Jahrhundert zu ergänzen. Die annähernde Homogenität der Beobachtungen des Bewölkungsgrades ist dabei eine Grundvoraussetzung und soll deshalb im Rahmen dieser Arbeit im Vorfeld untersucht werden.

Hier sollen zwei Methoden diskutiert werden und Anwendung finden, die auf dem Zusammenhang zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkungsgrad des Himmels beruhen. Dabei wird bei der einen Methode der Zusammenhang mittels Regression monatsweise mathematisch in Form von Regressionsgleichungen dargestellt. Es zeigte sich dabei eine Abhängigkeit vom Standort der Messungen, sodass die Regressionsgleichungen für Frankfurt, Mannheim und Karlsruhe separat ermittelt werden mussten.

Die andere Methode nützt den Zusammenhang anhand der tageweisen Auswertung von dreimal täglich vollzogenen Beobachtungen des Bewölkungsgrades und der sich damit im Mittel ergebenden monatlichen Sonnenscheindauer. Auch hier herrscht eine, wenn auch geringere Abhängigkeit vom Standort der Messungen. Die anhand der Mannheimer Daten empirisch gewonnenen Bezüge ergeben auch für Karlsruhe gute Ergebnisse und konnten nach einer Anpassung für das Rhein-Main-Gebiet auch für Frankfurt verwendet werden.

2 Verfahren zur Berechnung von Monatssummen der Sonnenscheindauer aus dem Bewölkungsgrad des Himmels

Um das in der Einleitung formulierte Ziel zu erreichen, gilt es also Stationen mit langjährigen und homogenen Messungen der Sonnenscheindauer und des Bewölkungsgrades im nördlichen Oberrheingraben zu finden.

2.1 Prüfung der Homogenität bei den Beobachtungen der Sonnenscheindauer

Hinsichtlich der Sonnenscheindauer eignet sich für das Rhein-Main-Gebiet die Station in Geisenheim am besten für eine Verifizierung von Messungen der Sonnenscheindauer. Sie liegt zwar am westlichen Rand des Rhein-Main-Gebiets, ist aber hinsichtlich der Monatssummen der Sonnenscheindauer, wie ein Vergleich mit der Station Frankfurt am Main-Flughafen in Kapitel 4.2, Abbildung 5 zeigt, sehr gut geeignet. Sie ist vor allem die einzige Station in der Region, die, wie Abbildung 1 zeigt, eine durchgängige und zuverlässige Sonnenschein-Registrierung seit April 1889 aufzuweisen hat. Warum ausgerechnet dort und so früh? Man wollte aus agrarmeteorologischer Sicht Erkenntnisse über Sonnenscheindauer und Weinbau gewinnen. Der Standort hat seither nur wenige Wechsel erfahren und diese fanden auch nur im Umkreis von einem Kilometer statt. Auch hat das Stationsumfeld in den vergangenen hundert Jahren nur unbedeutende Veränderungen erfahren (Schmitt 2009: 29).

Nur in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gab es Messausfälle bei der Sonnenscheinmessung. Diese

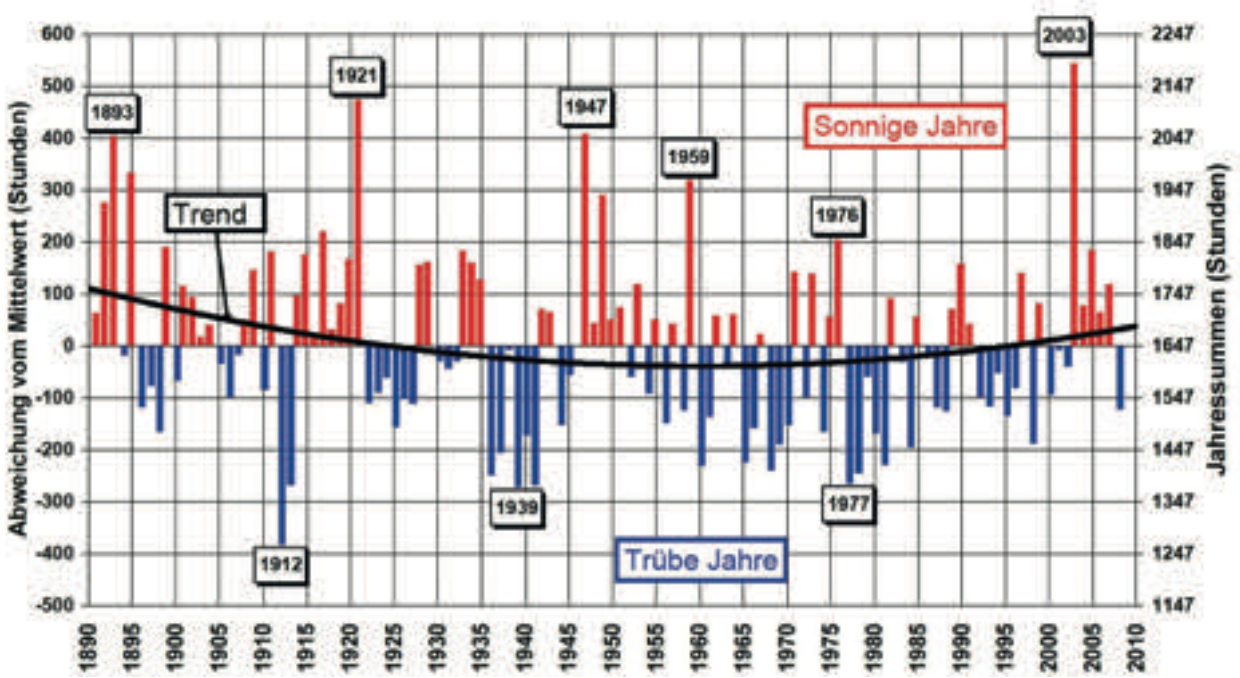


Abb. 1: Jahressummen der Sonnenscheindauer in Geisenheim 1890 bis 2008 (SCHMITT 2009: 31)

Lücken, meist nur von einzelnen Tagen und nur vereinzelt ganzer Monate, konnten durch die Werte von Frankfurt am Main-Flughafen ergänzt werden.

Informationen über die Standortveränderungen der Station Geisenheim seit ihrem Entstehen liefert eine Übersicht in Tabelle 1.

Im Raum Mannheim-Karlsruhe eignet sich die auf dem Königstuhl bei Heidelberg gelegene Station am ehesten für eine Homogenitätsprüfung. Von dort liegen bereits seit 1901 Messungen vor, die allerdings schon 1969 enden. Andererseits ist die Lage dieser Station durchgehend unverändert geblieben und war verschont von Veränderungen im näheren Umfeld.

Ein Vergleich der Sonnenscheindauer benachbarter Stationen ist in jedem Falle eine Grundvoraussetzung, denn gerade in der Anfangszeit solcher Messungen waren diese qualitativ nicht immer dem heutigen Standard entsprechend. Die folgende Liste gibt einen Überblick über mögliche Qualitätsminderungen bei der Sonnenscheinerfassung:

- Mit Reif, Schnee oder Eis besetzter Sonnenscheinautograf.
- Unterschiedlich empfindliche Papierstreifen. Im Deutschen Meteorologischen Jahrbuch Hessen für 1927 (Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde 1928, S. III) ist beispielsweise die Rede von Problemen mit verschieden gefärbten Sonnenschein-

Tabelle 1: Standortveränderungen der Station Geisenheim seit ihrem Entstehen (DEUTSCHER WETTERDIENST 2022, Geisenheim).

Stations-ID	Stationshöhe m	Geogr. Breite ° N	Geogr. Länge ° E	von (Datum) jjjjmmtt	bis (Datum) jjjjmmtt
1580	108,1	49,9840	7,9609	18840701	18850830
1580	103,4	49,9840	7,9609	18850831	19001231
1580	101,0	49,9840	7,9609	19010101	19090526
1580	101,0	49,9840	7,9609	19090527	19150930
1580	96,0	49,9836	7,9602	19151001	19360331
1580	109,0	49,9856	7,9563	19360401	19460331
1580	109,0	49,9856	7,9563	19460401	19491116
1580	109,0	49,9856	7,9563	19491117	19720709
1580	109,0	49,9856	7,9563	19720710	19830731
1580	118,0	49,9866	7,9548	19830801	19971130
1580	118,0	49,9865	7,9548	19971201	20061130
1580	110,2	49,9859	7,9548	20061201	

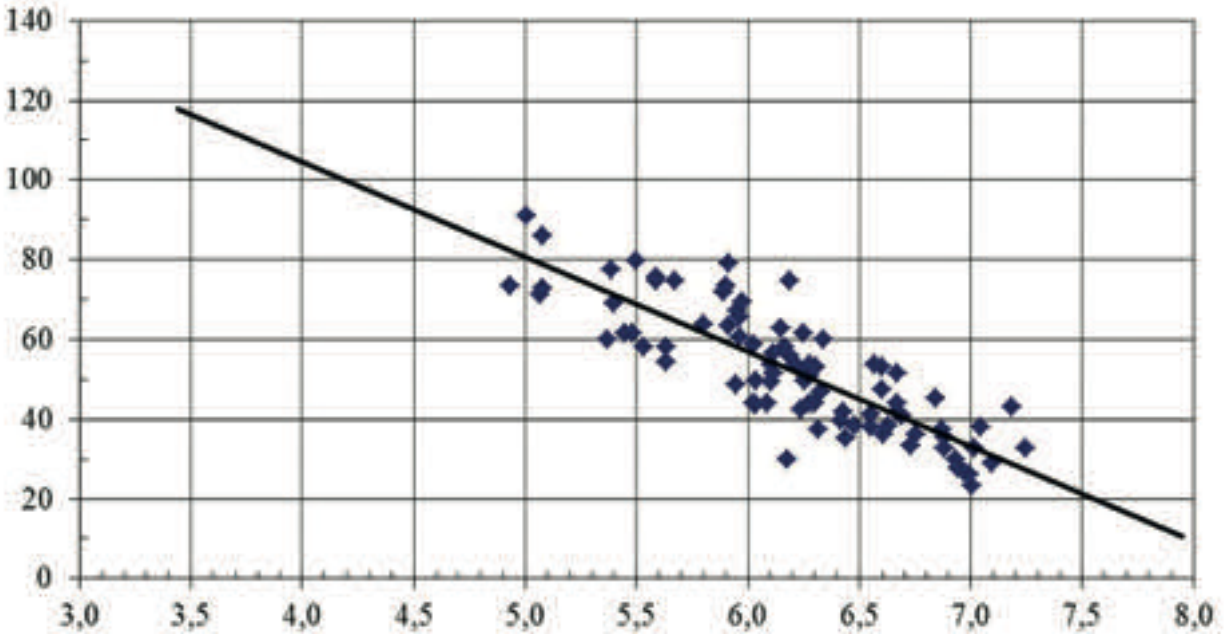


Abb. 2: Regressionsgerade zur Bestimmung einer monatlichen Sonnenscheindauer in Stunden (Ordinate) aus einem mittleren monatlichen Bewölkungsgrad in Achtel (Abszisse) im Monat Januar für Karlsruhe. Die zugrunde liegenden Datenpaare (Punkteschar) sind die realen Messungen und stammen aus dem Zeitraum 1919 bis 2008.
Die sich ergebende Regressionsgleichung lautet: y = -23,78x + 199,59 mit y als Sonnenscheindauer in Stunden und x als Bewölkungsgrad in Achtel (0 = wolkenlos, 8 = vollständig bedeckt). Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgerade beträgt 0,701.

streifen in den Autografen. Dunklere Registrierstreifen erwiesen sich wesentlich lichtempfindlicher als helle.
- Mitunter uneinheitliche Interpretation, ab welcher Intensität eine Brennspur im Papierstreifen als Sonnenschein gilt.
- Hindernisse in der Umgebung wie Bäume, Gebäude, Masten, usw.
- Abschattung durch Geländeformen.

Auch konnten in früheren Jahren im Stadtgebiet Rauch und starker Dunst verursacht durch Industrie- und Hausbrand weitaus mehr Einfluss auf die Messwerte haben als in heutiger Zeit. Besonders im Herbst und im Winter dürfte dies zu deutlich niedrigeren Werten der Sonnenscheindauer geführt haben. So konnte es im Extremfall vorkommen, dass eine durch Rauch und Dunst getrübte Sonne an einem wolkenlosen Wintertag zu schwach auf den Sonnenscheinautograf schien und im Registrierstreifen keine oder kaum eine Brennspur hinterließ.

2.2 Prüfung der Homogenität bei den Beobachtungen des Bewölkungsgrades

Eine weitere Bedingung für die folgenden Auswertungen ist die Homogenität der Daten des Bewölkungsgrades. Dieser wurde über lange Zeit von dem für die Beobachtung vorgesehenen Personal zu den üblichen Terminwerten der meteorologischen Messungen geschätzt. Erst zum Ende des 20. Jahrhunderts kamen allmählich Geräte zum Einsatz, die in der Lage waren, dies automatisch zu bewerkstelligen. Leider – und das kann bereits im Vorfeld gesagt werden – häufig nicht zum Vorteil für die vorliegende Auswertung. So mag die automatische Messung weitaus weniger subjektiv sein, aber sie beurteilt den Bewölkungsgrad eben auch anders. So wird ein weitgehend mit Cirrus-Bewölkung überzogener Himmel, der die Sonne dennoch fast unvermindert scheinen lässt, nun vielfach mit 6/8, 7/8 oder gar 8/8 Bewölkungsgrad erfasst, während in Zeiten manueller Beobachtung in diesen Fällen weitaus niedrigere Bewölkungsgrade notiert wurden. Zudem gab es gerade in der Anfangszeit der neuen Technologie vermehrt Messausfälle.

Abgesehen davon war aber auch in Zeiten manueller Beobachtung längst nicht alles perfekt. So hatten sich bis in die siebziger Jahre des 19. Jahrhundert häufig noch keine einheitlichen Regeln zur Bewölkungsbeobachtung eingespielt. Eine Bewertung des Bewölkungsgrades, anfangs in Zehntel, dann in Achtel Himmelsbedeckung, setzte sich beispielsweise in Frankfurt am Main ab 1880 durch, anderswo erst später. Die Begrifflichkeiten zur Beschreibung des Bewölkungsgrades unterschieden sich oft von Station zu Station und waren durchaus Beobachter-spezifisch. Ein Beispiel, wo sogar auf die Veröffentlichung von Bewölkungsdaten verzichtet wurde, gab es im Deutschen Meteorologischen Jahrbuch für Hessen, 1901, wo die Beobachtungen von Oktober 1900 bis Januar 1901 weggelassen wurden (Grossherzogliches Hydrographisches Bureau 1902: 7). Sie fanden erst wieder Eingang nach einer entsprechenden Schulung des Personals.

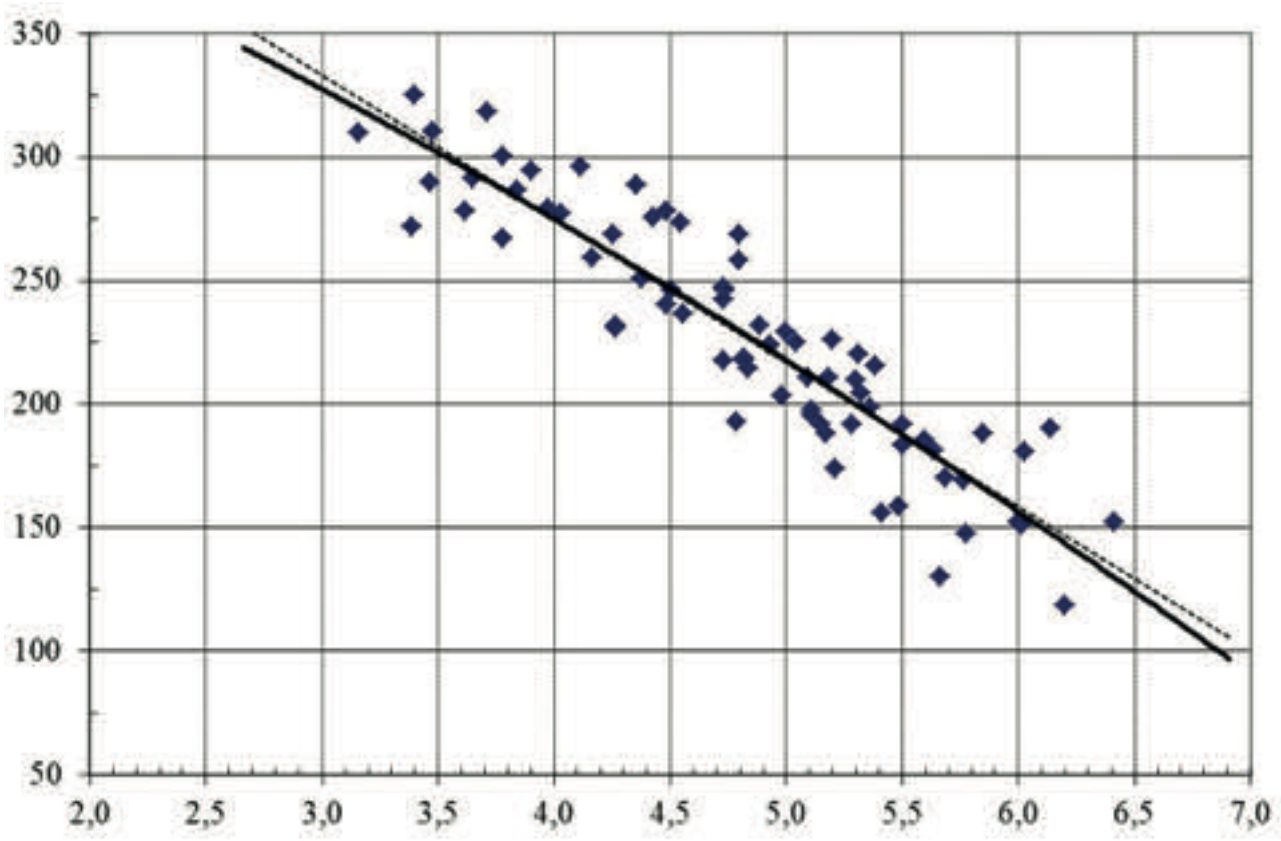


Abb. 3: Regressionskurve zur Bestimmung einer monatlichen Sonnenscheindauer in Stunden (Ordinate) aus einem mittleren monatlichen Bewölkungsgrad in Achtel (Abszisse) im Monat Juli für Frankfurt am Main. Die zugrunde liegenden Datenpaare (Punkteschar) sind die realen Messungen und stammen aus dem Zeitraum 1929 bis 2021. Die gestrichelte Linie zeigt die Gerade, die sich bei einer linearen Regression ergäbe.
Die sich ergebende Regressionsgleichung lautet: $y = -2{,}3x^2 – 37{,}95x + 465{,}61$ mit y als Sonnenscheindauer in Stunden und x als Bewölkungsgrad in Achtel (0 = wolkenlos, 8 = vollständig bedeckt). Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgerade beträgt 0,838.

2.3 Verfahren 1 - Regressionsverfahren

Die im Folgenden als Regressionsverfahren bezeichnete Methode, die in ganz ähnlicher Weise von Matuszko (2011) für die lange Klimareihe von Krakau angewandt wurde, gliedert sich in mehrere Schritte:

- (1) Auswahl geeigneter Datensätze in Form von Monatssummen von Sonnenscheindauer und Monatsmitteln des Bewölkungsgrades für die Standorte Karlsruhe, Frankfurt und Mannheim.
- (2) Homogenitätsprüfung und gegebenenfalls Aussortierung zweifelhafter oder ungeeigneter Datensätze und nach Möglichkeit Ergänzung dieser durch die von Nachbarstationen.
- (3) Ermittlung einer Gleichung per Regression für jeden Monat, um die monatliche Sonnenscheindauer aus Monatsmitteln des Bewölkungsgrades zu berechnen. Dabei wird für jeden Monat aus den Datenpaaren Sonnenscheindauer/Bewölkungsgrad eine Gleichung ermittelt, mithilfe derer aus alleiniger Kenntnis des Bewölkungsgrades die Sonnenscheindauer berechnet werden kann.

Als anschauliches Beispiel seien zwei Monatsgrafiken ausgewählt, eine für Januar (Karlsruhe) in Abbildung 2 und eine für Juli (Frankfurt am Main) in Abbildung 3.

Für Karlsruhe, Mannheim und Frankfurt am Main werden für jeden Monat Regressionsgleichungen ermittelt, mittels derer die Nachberechnung der monatlichen Sonnenscheindauer für Zeiten ohne vorliegende Messwerte möglich ist. Voraussetzung ist die Kenntnis des jeweiligen Monatsmittels des Bewölkungsgrades. Die Entscheidung, welche Art der Regression – lineare oder polynome – optimal ist, kann anhand des Bestimmtheitsmaßes getroffen werden. Ein weiterer Gesichtspunkt aus klimatologischer Sicht ist aber auch die Treffsicherheit bei besonders niedrigen Werten des Bewölkungsgrades mit hoher Sonnenscheindauer als Folge, da für diese Fälle meist nur wenige Datenpaare vorliegen.

- (4) Erstellung einer langjährigen Reihe der Sonnenscheindauer von so errechneten Monatssummen für die langen Reihen von Karlsruhe, Mannheim und Frankfurt am Main, soweit Monatsmittel des Bewölkungsgrades des Himmels vorliegen.
- (5) Verifikation der Ergebnisse anhand von Zeiträumen, wo bereits zuverlässige Messungen der Sonnenscheindauer vorliegen.

2.4 Verfahren 2 – Berechnung anhand von Terminwerten des Bewölkungsgrades

Der im Folgenden als Terminwertverfahren bezeichneten Methode liegt der Ansatz zugrunde, dass ähnliche Bewölkungsgrade eine ähnliche Sonnenscheindauer zu Folge haben sollten, da die Sonnenscheindauer in erster Näherung umgekehrt proportional zum Bewölkungsgrad ist. Da Wolkenstrukturen und -arten jedoch nicht gleichartig sind, sondern unterschiedlich dicht, d. h. unterschiedlich durchlässig für Sonnenschein, wäre bei diesem Ansatz auch die Wolkenart/-dichte der drei Wolkenstockwerke zu berücksichtigen. Denn mäßig dichte Cirren hinterlassen oft noch eindeutige Brennspuren auf dem Autografen bzw. Messsignale bei automatischer Messung, während der gleiche Bewölkungsgrad an Cumulus-Bewölkung jedoch kürzere oder keine Messwerte der Sonnenscheindauer ergibt. Praktisch scheitert eine solche tiefe Differenzierung jedoch an der Variationsbreite der Bewölkung bzw. an einer sinnvollen Kategorisierung auch im Hinblick auf die unsichere Datenqualität der Bewölkungswerte. Praktikabler erscheint daher der nachfolgend gewählte Kategorisierungsansatz, zumal dessen Ergebnis lediglich auf die Terminwerte 7, 14, 21Uhr anwendet werden kann. Eine weitere Einschränkung betrifft die Tatsache, dass bis zur Einführung 3-stündlicher Messdatenerfassung in Mannheim ab 1949, bzw. stündlicher Erfassung ab 1979 keine hinreichenden Informationen über die Bewölkungsverhältnisse zwischen den Terminwerten vorliegen. Weiterhin besteht mit Umstellung auf automatisierte Messungen (Present Weather Sensor) zu Beginn der 2000er Jahre ein signifikanter Homogenitätsbruch (vgl. weiter oben).

Kontinuierliche Daten der Sonnenscheindauer liegen für die Klimastation Mannheim seit August 1948 vor bzw. im Gesamtstadtgefüge von Mannheim-Ludwigshafen seit 1912 (Ludwigshafen-Mundenheim in Form Monatssummenwerten) bzw. Limburgerhof seit 1922 (Tageswerte mit Lücke 1941–1946). Für die Korrelationsbeziehung zwischen den drei Klimaterminwerten des Bewölkungsgrades und der täglichen Sonnenscheindauer wurde der Zeitraum 1949–2000 der Klimastation Mannheim genutzt. Die dichteren Zeitreihenfolgen (dreistündlich, stündlich) des Bewölkungsgrades blieben unberücksichtigt. Die Informationslücke zwischen den Terminwerten wurde mit folgenden Vorannahmen gelöst:

- Herrscht am Folgebeobachtungstermin *b* der gleiche Bewölkungsgrad wie am ´augenblicklichen´ Beobachtungstermin *a*, gilt die Annahme weitgehend identischer Bedeckungsverhältnisse in der Zwischenzeit.
- Bei unterschiedlichen Bewölkungsgraden in der Terminfolge *a–b* wird ein Mittelwert zwischen den Terminen angenommen.

Da im Jahresgang die maximal mögliche astronomische Sonnenscheindauer ortsspezifisch stark schwankt, lag das Ziel zunächst darin mittlere Dekaden-Werte heranzuziehen und zu den Terminwerten in Bezug zu setzen. Hintergrund ist die Tatsache, dass beispielsweise im Dezember zum Terminwert I die Sonne noch nicht aufgegangen ist, im Juni dagegen bei wolkenfreiem Himmel bereits bis zu 4 Stunden geschienen haben kann. Ähnliches gilt analog für den Terminwert III, während der Terminwert II höchstens teilweise betroffen ist. Dies führt zu einer Aufteilung des „Sonnenscheintages“ in drei gleiche Zeitabschnitte mit Zentrierung um die Terminwerte nach dem Muster

- Terminwert I (07:30 Uhr MEZ) ≡ Sonnenaufgang bis 11 Uhr,
- Terminwert II (14:30 Uhr MEZ) ≡ 11 Uhr bis 18 Uhr,
- Terminwert III (21:30 Uhr MEZ) ≡ 18 Uhr bis Sonnenuntergang,

wobei Sonnenaufgang und -untergang den entsprechenden dekadenspezifisch mittleren Zeitpunkten zugeordnet wurden. Für den Zeitabschnitt um den Terminwert I ergibt sich demzufolge beispielsweise im März in der Dekade 1 bei klarem wolkenfreiem Himmel, abzüglich der noch zu schwachen Sonneneinstrahlung kurz nach der Aufgangsphase, eine theoretische Sonnenscheindauer von rund 3,7 Stunden, in der dritten Märzdekade hingegen von rund 4,4 Stunden. Zum Sonnenuntergang ist ein analoges Verhalten zu beobachten.

In ersten Tests zeigte sich allerdings, dass dieser optimierte Ansatz trotz eines Datenzeitraumes von immerhin 52 Jahren (1949–2000) für die terminspezifischen Bewölkungsgradkombinationen (3 Termine, 9 Bewölkungsgrade inkl. 0 wolkenlos = 729) in der überwiegenden Zahl der Verknüpfungen zu kleine Fallzahlen ergibt, so dass auf eine dichtere monatsspezifische Aggregierung auf Monatsbasis zurückgegriffen werden musste. Auf Basis der Abhängigkeitsbeziehungen der Faktoren Monat (M), Bewölkungsgrad (NN) und Terminwert (T_X) nach dem Muster

- M = 6, NN_T1 = 1, NN_T2 = 5, NN_T3 = 7

ergeben sich beispielsweise folgende Werte für mittlere Sonnenscheindauer (SDM), Minimum (SDN), Maximum (SDX) jeweils in Stunden, Standardabweichung (s) und die Anzahl der Fälle (N):

- SDM = 9,5 h
- SDN = 7,2 h
- SDX = 10,7 h
- s = 1,42
- N = 5

Die geringe Fallzahl, hier N = 5 aus dem Datenzeitraum von 52 Jahren (1949–2000), zeigt, dass eine weitere Aggregierung des Parameters Bewölkungsgrad notwendig ist. Dies erscheint auch im Hinblick auf den synoptisch nicht exakt erfassbaren Bewölkungsgrad (abhängig von der Erfahrung des Beobachters) sowie der Unklarheit bzgl. der Qualität des Beobachtungsmaterials im 18./19. Jhd. und der teilweise gröberen Auflösung der frühen Wolkenbeobachtungen zweckmäßig. In einem Folgeschritt wurde das obige Muster (Variante 1) mit einer gröberen Abstufung (Variante 2) erweitert:

- NN ≤ 2 = wolkenlos oder gering bewölkt
- NN 3–5 = bewölkt

- NN 6–7 = stark bewölkt
- NN 8 = bedeckt

Analog zu obigem Fallbeispiel ergibt sich eine deutlich höhere Fallzahl allerdings mit einer tendenziell zu großen Streuung:

- SDM = 10,8 h
- SDN = 5,2 h
- SDX = 14,1 h
- s = 2,07
- N = 45

Ein weiterer Differenzierungsvorschlag (Variante 3) wurde gemäß folgendem Ansatz getestet:

- NN ≤ 2 = wolkenlos oder gering bewölkt
- NN 3 = leicht bewölkt
- NN 4 = halb bedeckt
- NN 5 = wolkig
- NN 6 – 7 = stark bewölkt
- NN 8 = bedeckt

Analog zu obiger Variante ergibt sich eine „mittlere" Fallzahl mit mäßig großer Streuung:

- SDM = 9,5 h
- SDN = 5,6 h
- SDX = 12,7 h
- s = 1,75
- N = 19

Entsprechend den vorangehend dargestellten Beispielen wurde eine pragmatische Vorgehensweise gewählt, bei der alle drei Varianten auf das Datenkollektiv angewandt und die Ergebnisse der drei Varianten in eine Matrix übertragen wurden wobei lediglich Fallzahlen ≥ 5 Berücksichtigung fanden.

Um den Effekt der insbesondere während der Äquinoktialpunkte (Frühling, Herbst) sich rasch ändernden lichten Tageslängen zu kompensieren, wurde aus den jeweils benachbarten Monatsergebnissen zentrierte Mittelwerte für die Ergebnisse der Bewölkungsgradkombinationen gebildet (z. B. synthetischer Monat 15.3–15.4.) und in einem weiteren Folgeschritt mit Hilfe von Kurvenanpassungen in Anlehnung an den Sinus des Jahresganges der Sonne geglättet. Letztendlich ergibt sich hiermit eine Art idealisierte und in gewissem Maß auch intuitive Beziehung zwischen dem Bewölkungsgrad und der täglichen Sonnenscheindauer. Allerdings ist ein streng mathematisch-statistischer Ansatz aufgrund der zahlreichen Unwägbarkeiten bzw. unklaren potenziellen Fehlerquellen im Ist-Vergleich (Daten des Bewölkungsgrades und der Sonnenscheindauer vorhanden) und der Anwendung auf die historischen Daten (ohne Sonnenscheindauer) nicht zielführend. Letztendlich geht es bei den hier beschriebenen beiden Verfahren „Regression" und „Terminwerte" um eine Abschätzung und nicht um eine exakte Nachberechnung. Bei der Ergebnisanalyse zeigte sich, dass aufgrund der relativ analogen Beziehungen von Monaten mit ähnlicher lichter Tageslänge (z. B. März und September oder Mai, Juni und Juli) eine entsprechende Zusammenfassung vertretbar und praktikabel ist.

Um den spezifischen Gegebenheiten des Rhein-Main-Gebiets im Raum Frankfurt-Darmstadt Rechnung zu tragen, wurde die so im Verfahren „Terminwerte" auf der Basis von Mannheimer Daten gewonnene Matrix mit der Beziehung Bewölkungsgrad und Sonnenscheindauer für Frankfurt geringfügig angepasst.

Die prinzipiellen Schritte sind nun bei dem Verfahren 2 „Terminwerte" ganz ähnlich wie bei Verfahren 1 „Regression:

- (1) Auswahl geeigneter Datensätze in Form von täglichen Terminwerten des Bewölkungsgrades für die Standorte Karlsruhe, Frankfurt und Mannheim .
- (2) Homogenitätsprüfung und gegebenenfalls Aussortierung zweifelhafter oder ungeeigneter Datensätze und nach Möglichkeit Ergänzung dieser durch die von Nachbarstationen.
- (3) Ermittlung von täglichen Werten der Sonnenscheindauer anhand der Terminwerte des Bewölkungsgrades und Bildung von Monatssummen der Sonnenscheindauer.
- (4) Erstellung einer langjährigen Reihe der Sonnenscheindauer von so errechneten Monatssummen für die langen Reihen von Karlsruhe, Mannheim und Frankfurt am Main, soweit tägliche Terminwerte des Bewölkungsgrades vorliegen.
- (5) Verifikation der Ergebnisse anhand von Zeiträumen, wo bereits zuverlässige Messungen der Sonnenscheindauer vorliegen.

3 Daten

Die der Untersuchung zugrunde liegende Daten sollten langjährige Reihen der Sonnenscheindauer und des Bewölkungsgrades sein. In Betracht gezogen wurden Daten in der nördlichen Oberrheinebene vom Karlsruher Raum bis zum Rhein-Main-Gebiet, die möglichst anfangs des 20. Jahrhunderts oder noch davor eine Erfassung der Sonnenscheindauer vorweisen konnten.

Im Vorfeld galt es, sich einen groben Überblick über die Qualität der Datensätze der verschiedenen Standorte mit langjährigen Messungen der Sonnenscheindauer zu verschaffen. Als nächstes wurden offensichtlichen Fehler in den Datensätzen lokalisiert und nach Möglichkeit korrigiert. Des Weiteren wurden einzelne Lücken, sofern sie nur punktuell auftraten, durch die Werte von Nachbarstationen ergänzt.

3.1 Datenauswahl

Das in Frage kommende Datenmaterial basiert auf Tagessummen und Monatssummen der Sonnenscheindauer und den täglichen Terminwerten und den Monatsmitteln des Bewölkungsgrades bis einschließlich 2021. Die folgende Liste liefert eine stationsweise Übersicht.

Tagessummen der Sonnenscheindauer bis 2021:

Darmstadt	1911 bis 1937
Frankfurt am Main-Stadt	1928 bis November 1961 (Lücke von März bis Mai 1945)
Frankfurt am Main-Flugh.	Juli 1936 bis 1943 und ab August 1950
Mannheim	1922 bis Juli 1944 (mit einzelnen Lücken) und ab Oktober 1948

Monatssummen der Sonnenscheindauer bis 2021:

Frankfurt am Main-Stadt	1908 bis 1927
Geisenheim	ab April 1889
Karlsruhe	1895 bis Oktober 2008 (ohne 1941 und 1942, ohne November 1944 bis Juli 1946)
Königstuhl	1901 bis 1969 (ohne 1945, ohne Februar 1963 bis September 1963)
Oppenheim	1902 bis 1944

Tägliche Terminwerte des Bewölkungsgrades bis 2021:

Darmstadt	Juli 1862 bis Juli 1974, Oktober 1987 bis 2011
Frankfurt am Main-Stadt	1826 bis November 1961 (Lücke von März bis Mai 1945)
Frankfurt am Main-Flugh.	Juli 1935 bis Februar 1945 und ab Oktober 1948
Mannheim	1779, 1781 bis 1792, Juni 1821 bis Juni 1827 (mit Lücken) und ab September 1842 (mit Lücken 1850, 1945 und 1946)
Karlsruhe	1779 bis 1786, 1789, 1800 bis Oktober 2008 (ohne November 1944 bis September 1945)

Monatsmittel des Bewölkungsgrades bis 2021:

Darmstadt	August 1974 bis September 1987
Geisenheim	ab Juli 1884 (mit Lücken von Oktober 1990 bis März 1991, Dezember 2006 bis Oktober 2008, November 2011 und August 2015)

Die Daten ab 1880 stammen überwiegend aus der Klima-Datenbank des DWD und aus Unterlagen im Papierarchiv des DWD, oder wurden wie im Falle vom Königstuhl nachträglich anhand der entsprechenden Meteorologischen Jahrbücher digitalisiert. Die Daten zur Bewölkung vor 1880 wurden vielfach aus den Originalaufzeichnungen oder deren Abdrucke und Abschriften digitalisiert.

3.2 Fehler und Lücken in den Datensätzen

Folgende offensichtlich fehlerhafte Daten der Sonnenscheindauer wurden im Voraus eliminiert, korrigiert oder ergänzt:
Frankfurt am Main-Flughafen:
Aktueller KL-Datensatz der Tageswerte vom DWD für Frankfurt-Stadt (Deutscher Wetterdienst, 2022, Frankfurt-Stadt):
29. Juni 1950: 0,3 Stunden Sonnenschein; richtig ist: 13,8 Stunden!

Geisenheim:
Aktueller KL-Datensatz der Tageswerte vom DWD für Geisenheim (Deutscher Wetterdienst, 2022, Geisenheim):
22. und 23. Mai 1997: 16,7 Stunden. Diese Werte sind im ROW-Datensatz des DWD für Geisenheim nicht eingetragen. Dort ist stattdessen Datenausfall vermerkt. Die unrealistisch hohen Werte von über 16 Stunden wurden entfernt und durch Werte von Frankfurt-Flughafen ergänzt. Die Monats- und Jahressummen wurden entsprechend angepasst.

Fehlende Werte der Sonnenscheindauer für die Station Geisenheim wurden, soweit es sich um einzelne Tage im Monat handelt, durch die Werte von Frankfurt-Flughafen ergänzt. Dies betrifft vor allem die Zeit nach Einsatz von automatisierter Messerfassung in Geisenheim ab Anfang des 21. Jahrhunderts. Außerdem wurden die Monatssummen von Dezember 1996 und Juli 1997 durch die von Frankfurt am Main-Flughafen ergänzt.

Daten des Bewölkungsgrades wurden ebenso im Vorfeld betrachtet und bearbeitet:

Frankfurt-Stadt:
Die fehlenden Werte für Frankfurt vom 14. bis 21. Mai 1836 wurden durch die von Darmstadt ergänzt.

Die Frankfurter Bewölkungsdaten sind für den Zeitraum von Dezember 1907 bis Oktober 1908 erheblich zu niedrig, wie der Vergleich mit den Daten von Darmstadt in Abbildung 4 zeigt. Dieser Befund bestätigt sich auch im Vergleich mit den Werten anderer Orte im Umkreis, wie Geisenheim oder Mannheim. Die täglichen Bewölkungsdaten von Frankfurt für diesen Zeitraum wurden durch die von Darmstadt ersetzt.

4 Ergebnisse der Homogenitätsprüfung bei der Sonnenscheindauer

4.1 Sonnenscheindauer: Oppenheim

Die Station Oppenheim erwies sich bei genauerer Betrachtung als ungeeignet. Die Beobachtungen der Sonnenscheindauer begannen dort zwar sehr früh und zwar im Jahr

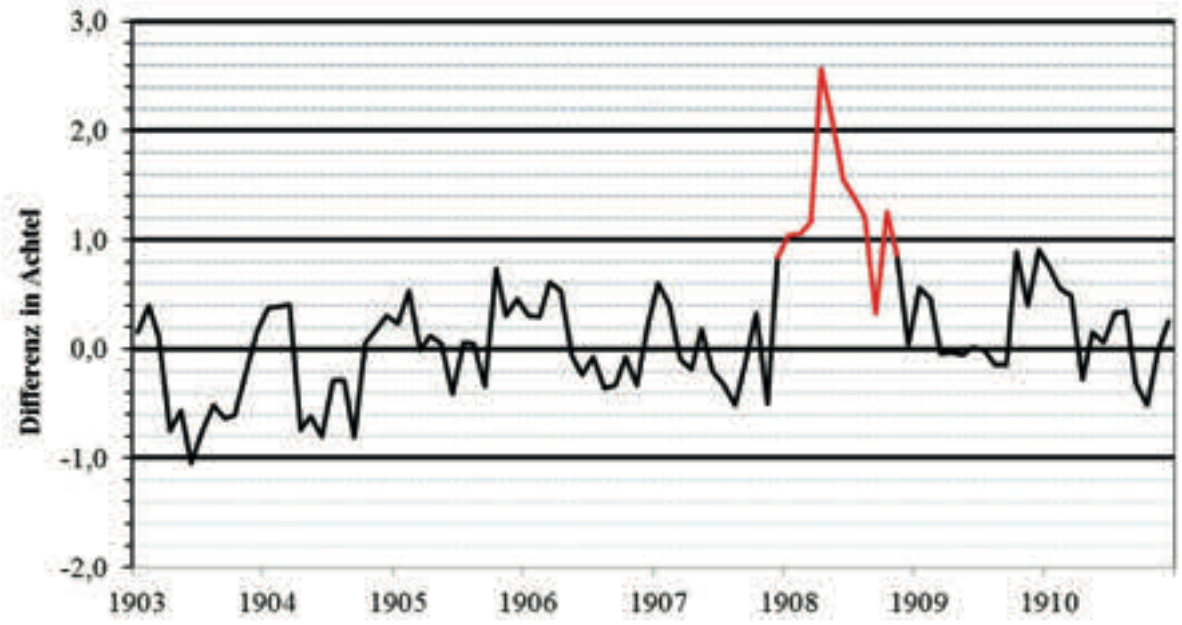


Abb. 4: Differenz der monatlichen Mittel des Bewölkungsgrades zwischen Darmstadt und Frankfurt von 1903 bis 1910. Auffallend hoch sind die rot markierten Abweichungen im Zeitraum vom Dezember 1907 bis zum Oktober 1908!

1902. Die Qualität der Daten und die eher ungünstige Lage sprach dann doch gegen eine Auswertung.

Im Meteorologischen Jahrbuch Hessen finden sich mehrmals Hinweise auf Fehler, z. B. im Jahrgang 1908 (Grossherzogliches Hydrographisches Bureau, 1909):

„Der Registrierstreifen des Sonnenscheinautographen zu Oppenheim vom 2. Juli ist bei der Einsendung abhanden gekommen. Nach der Wetterlage erscheint es jedoch sicher, dass an diesem Tag nur sehr wenig oder gar kein Sonnenschein geherrscht hat. Ausserdem zeigten die Brennspuren des gleichen Instruments im Juli mehrfach Eigenschaften, die auf unrichtiges Funktionieren der Glaskugel schliessen lassen."

Im Jahrgang 1924 (Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde 1925) heißt es:

„Registrierung nicht einwandfrei"

und im Jahrgang 1927 bezüglich der Erfassung in den Sommermonaten (Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde, 1928):

„Registrierung stellenweise zweifelhaft."

Auch verhinderte die Lage der Messstation im unteren Teil eines nach Westen ansteigenden Hanges eine Erfassung der abendlichen Sonnenscheinstunden (Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde 1932):

„Abends wird ein Teil des Sonnenscheins durch eine vorgelagerte Höhe abgeschirmt."

4.2 Sonnenscheindauer: Geisenheim – Frankfurt-Stadt – Frankfurt-Flughafen

Um die in Kapitel 2.1 getroffenen Annahme zu untermauern, dass die Station Geisenheim die am ehesten homogene und gleichzeitig sehr lange Messreihe der Sonnenscheindauer besitzt, ist in Abbildung 5 ein Vergleich mit der Messreihe Frankfurt-Flughafen im Zeitraum 1937 bis 2021 dargestellt.

Die Jahressummen von Geisenheim und Frankfurt-Flughafen sind hier meistens parallel und auf sehr ähnlichem Niveau. Kleinere und nur in einzelnen Jahren vorkommende Abweichungen der Kurven voneinander dürften in der unterschiedlichen geografischen Lage begründet sein. Es fallen aber zwei Zeiträume auf, an denen größere Abweichungen über mehrere Jahre anzutreffen sind. Diese sind zum einen der Zeitraum 1954 bis 1957, wo die Werte von Frankfurt um bis zu 100 Stunden niedriger liegen, und zum anderen der von 1991 bis 1997, wo die Jahressummen von Geisenheim durchgängig etwa 100 Stunden niedriger liegen.

Während zwischen der jährlichen Sonnenscheindauer von Geisenheim und Frankfurt-Flughafen also insgesamt eher geringe Unterschiede auszumachen sind, zeigt ein Vergleich von Geisenheim und der Station Frankfurt-Stadt mit Daten von 1908 bis 1961 ein anderes Bild, wie die Abbildung 6 bestätigt.

Die Jahressummen für 1908 bis 1927 von Frankfurt-Stadt fallen hier leider generell zu niedrig aus und eignen sich daher nicht zur Entwicklung von Regressionsgleichungen zur Darstellung des Zusammenhangs Sonnenscheindauer und Bewölkungsgrad. Dafür gibt es Gründe:

Die Sonnenscheindauer der Station Frankfurt-Stadt von 1908 bis in die zwanziger Jahre hinein mag zwar mit einem damals zeitgemäßen Campbell-Stokes Sonnenscheinschreiber zuverlässig erfasst worden sein, ist aber, wie schon Wachter (Wachter 1939) feststellte, besonders im Winter zu niedrig: „In der trüben Großstadtluft ist im Dezember die Schwächung der Sonnenstrahlung durch Rauch und

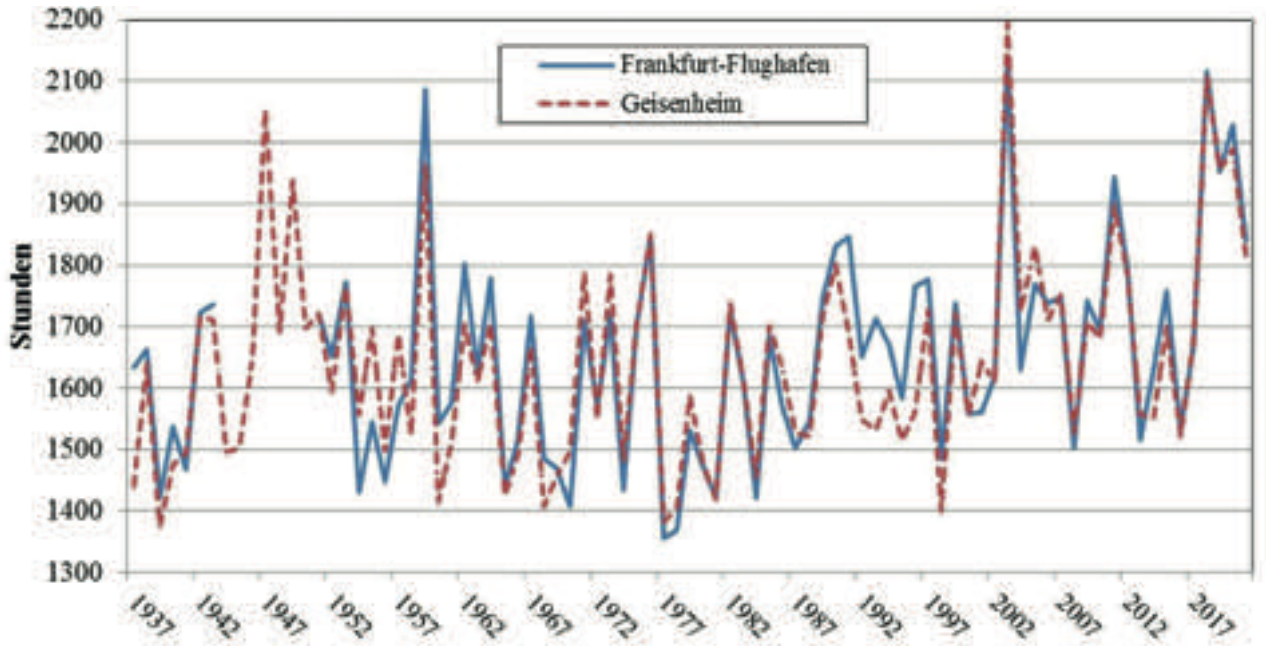


Abb. 5: Vergleich der jährlichen Sonnenscheindauer von Geisenheim (rot) und Frankfurt-Flughafen (blau) im Zeitraum 1937 bis 2021. Von 1944 bis 1950 liegen für Frankfurt-Flughafen keine oder nur unvollständige Daten vor.

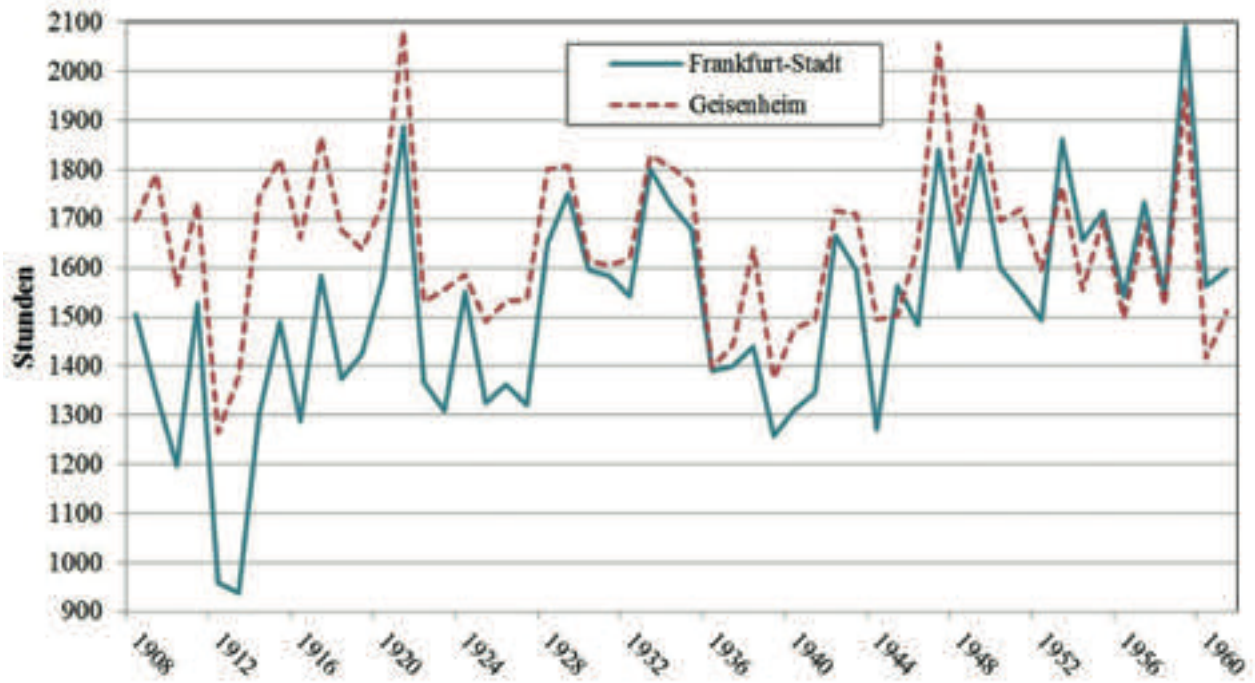


Abb. 6: Vergleich der jährlichen Sonnenscheindauer von Frankfurt-Stadt (blaugrün) und Geisenheim (rot) im Zeitraum von 1908 bis 1961. Die in der Jahressumme von Frankfurt-Stadt für 1945 fehlenden Werte der Monate März bis Mai wurden durch die von Geisenheim ergänzt.

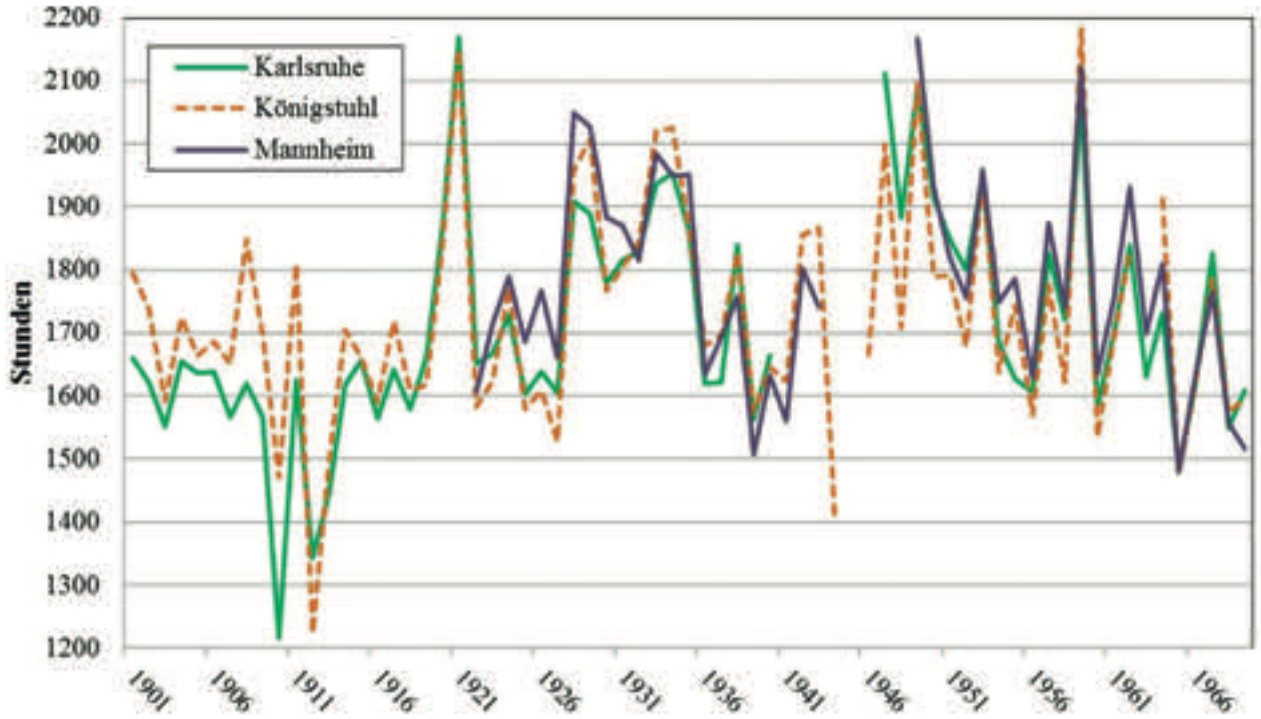


Abb. 7: Vergleich der jährlichen Sonnenscheindauer vom Königstuhl (orange) mit Mannheim (violett) und Karlsruhe (grün) im Zeitraum von 1901 bis 1969.

Dunst so stark, dass selbst um Mittag – bei fast 20° Sonnenhöhe – auch bei wolkenlosem Wetter keine Registrierung erfolgt." Die Folge sind Differenzen von teilweise mehr als 200 Sonnenscheinstunden bei den Jahressummen. Warum ab Ende der zwanziger Jahre eine Besserung erfolgte, kann nur gemutmaßt werden. Die Problematik mit Rauch und Hausbrand könnte sich gebessert haben, dank verbesserter Ablufttechnik. Womöglich wurden in späteren Jahren aber auch die schwächer in die Registrierstreifen des Sonnenscheinschreibers eingebrannten Spuren als Sonnenschein interpretiert.

4.3 Sonnenscheindauer: Karlsruhe – Mannheim – Königstuhl

Was die Sonnenscheinmessungen in Geisenheim für den nördlichen Oberrheingraben darstellen, ist weiter südlich im Raum Mannheim und Karlsruhe auf dem gut 500 Meter hoch gelegenen Königstuhl oberhalb von Heidelberg gegeben. Die Messreihe vom Königstuhl ist seit 1901 nahezu durchgängig und Stationsverlegungen sind nicht bekannt. Ein kleiner Wermutstropfen ist allerdings, dass sie bereits 1969 endet. Sie eignet sich dennoch für einen Vergleich mit den Messungen der Talstationen Karlsruhe und Mannheim, der in Abbildung 7 zu sehen ist.

Es fällt auf, dass die Karlsruher Jahressummen der Sonnenscheindauer vor 1919 teils deutlich niedriger sind als die vom Königstuhl. Der Grund dafür dürfte der gleiche sein, wie bei den Frankfurter Daten vor 1929, nämlich der Einfluss von Rauch und Smog, vor allem in den Monaten mit tiefer stehender Sonne.

Die Werte von Mannheim beginnen erst 1922 und zeigen diesen Effekt nicht.

5 Ergebnisse der Homogenitätsprüfung beim Bewölkungsgrad

Auch beim Bewölkungsgrad stellt sich die entscheidende Frage, ob die Messreihen homogen sind. Wenn auch maßgeblichen Veränderungen, wie Stationsverlegungen, Änderung der Messtechnik oder der Beobachtungsmethode, meist bekannt sind, muss dies hinsichtlich des Bewölkungsgrades noch keine Inhomogenität darstellen. Vielmehr spielt bei der bis Ende des letzten Jahrtausends manuell durch Augenbeobachtung durchgeführten Erfassung der Bewölkung die Interpretation des Beobachters eine Rolle. Selbst ohne Personalwechsel ist keine Gewähr auf Homogenität gegeben, andererseits kann auch ein Personalwechsel bei guter Schulung und klaren Standards ohne Inhomogenität ablaufen. Letztliche Klärung verschafft nur ein Vergleich der Messreihen untereinander, siehe dazu in den folgenden Abbildungen 8 bis 10:

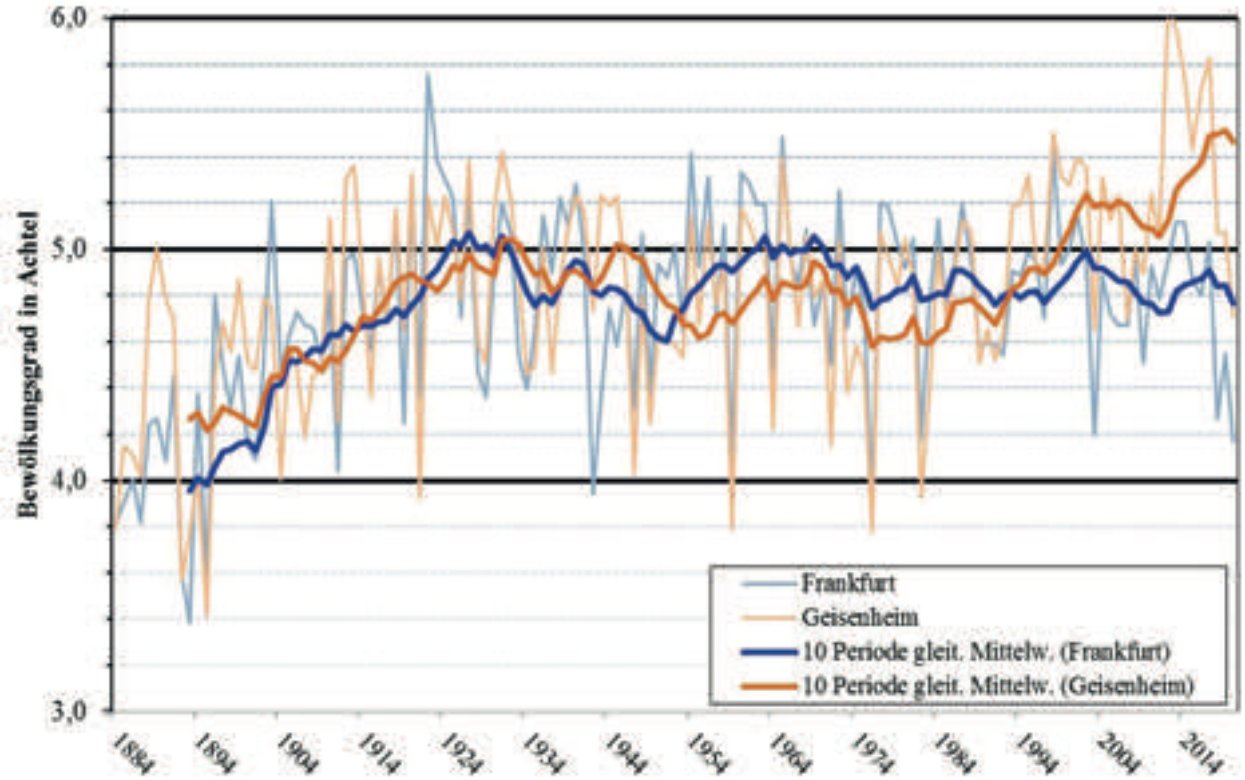


Abb. 8: Vergleich des mittleren jährlichen Bewölkungsgrades im Sommerhalbjahr von April bis September für Frankfurt (blau) und Geisenheim (orange) für den Zeitraum von 1884 bis 2020. Die für eine 10-Jahres Periode gleitenden Mittelwerte sind als fette Kurven dargestellt, die Kurven der jährlichen Mittelwerte sind blass im Hintergrund.

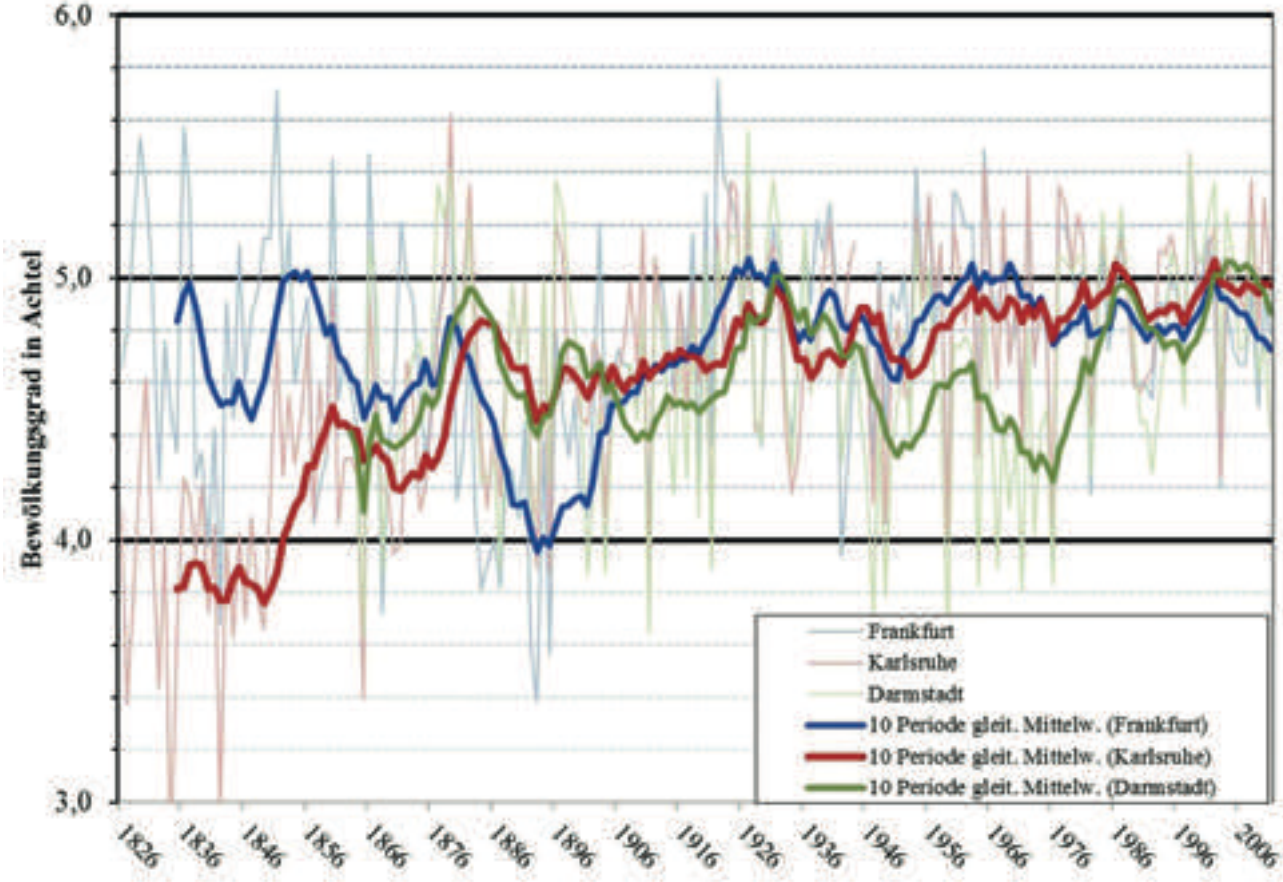


Abb. 9: Vergleich des mittleren jährlichen Bewölkungsgrades im Sommerhalbjahr von April bis September für Frankfurt (blau), Karlsruhe (rot) und Darmstadt (grün) für den Zeitraum von 1826 bis 2011. Die für eine 10-Jahres Periode gleitenden Mittelwerte sind als fette Kurven dargestellt, die Kurven der jährlichen Mittelwerte sind blass im Hintergrund.

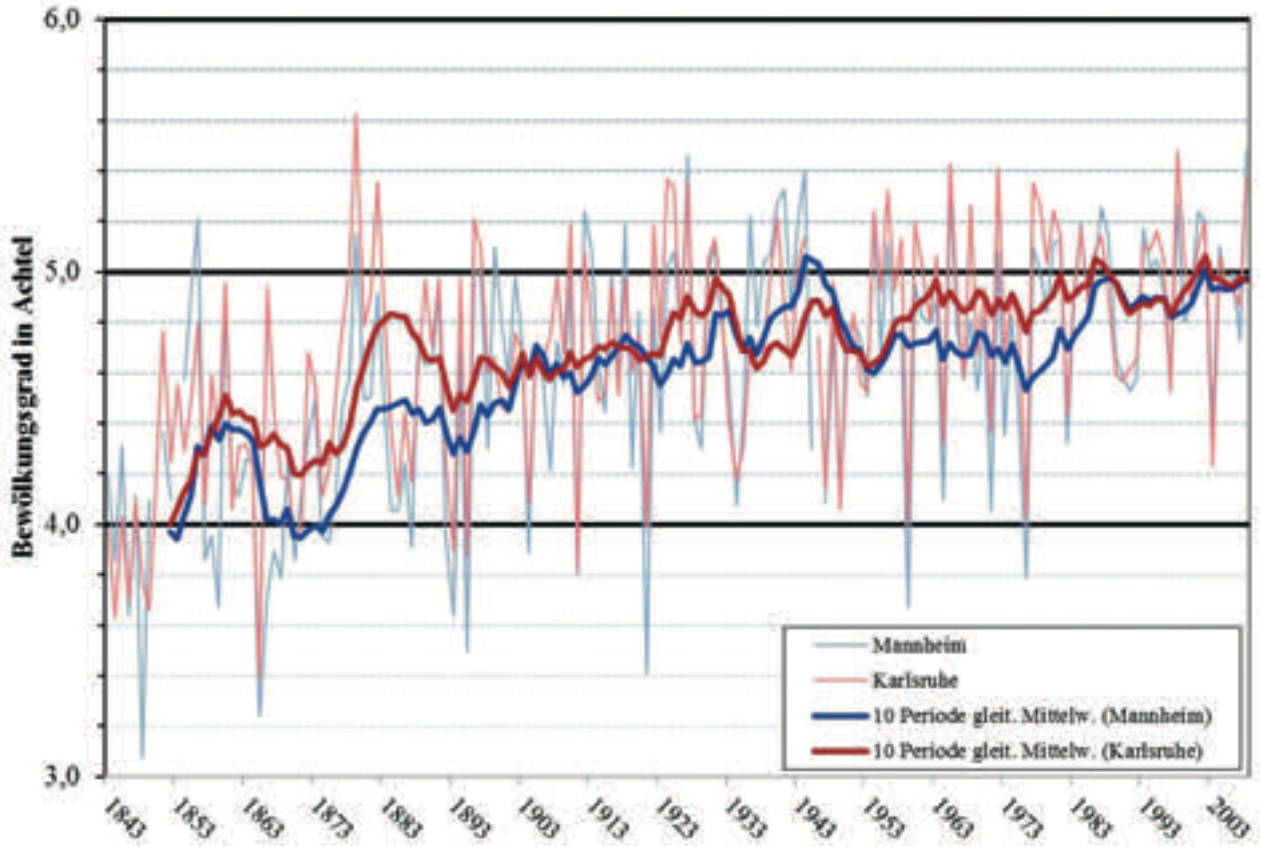


Abb. 10: Vergleich des mittleren jährlichen Bewölkungsgrades im Sommerhalbjahr von April bis September für Mannheim (blau) und Karlsruhe (rot) für den Zeitraum von 1843 bis 2008. Die für eine 10-Jahres Periode gleitenden Mittelwerte sind als fette Kurven dargestellt, die Kurven der jährlichen Mittelwerte sind blasser im Hintergrund.

5.1 Diskussion der Grafiken

Zu erwarten wären bei homogenen Bewölkungsbeobachtungen im 10-jährigen gleitenden Mittel und in der Schwankungsbreite einzelner Jahre einigermaßen gleichmäßige, annähern parallele Kurvenverläufe. Der Einfluss lokaler, zeitlich begrenzter Witterungscharakteristika sollte sich dann nicht mehr bemerkbar machen. Natürlich ist damit zu rechnen, dass sich aufgrund von Änderungen in der Stationsumgebung, Stationsverlegungen oder Beobachterwechsel, durchaus Unterschiede derart ergeben können, dass Station A über Jahrzehnte leicht höhere Werte als Station B liefert, dann sich dies aber umkehren kann.

Beim Vergleich von Frankfurt und Geisenheim in Abbildung 8 sind vor allem die Werte von Frankfurt vor 1893 niedriger als die von Geisenheim, danach aber mehr oder weniger im Gleichklang, was für die Homogenität in den Jahren danach spricht. Seit der Umstellung auf automatische Bewölkungsgraderfassung Ende des 20. Jahrhunderts laufen die Kurven wieder auseinander. Geisenheim hat dann signifikant höhere Mittel des Bewölkungsgrades. Die automatische Erfassung liefert hier eindeutig höhere Werte als zu Zeiten manueller Beobachtung.

Beim Vergleich von Karlsruhe, Frankfurt und Darmstadt in Abbildung 9 bestätigt sich die Tatsache, dass in Frankfurt von 1880 bis 1892 offenbar zu niedrige Bewölkungsdaten registriert wurden. So liegen in dieser Zeit die Werte von Darmstadt und Karlsruhe eng zusammen und lassen den Schluss zu, dass den Frankfurter Werten nicht zu trauen ist. Zweifel angebracht sind hingegen bei den Bewölkungsdaten von Karlsruhe für die Zeit vor 1875, wo die Werte auffallend niedrig sind, vor 1860 sogar eklatant. Die Datensätze weisen da einen außerordentlich hohen Anteil von Beobachtungen mit wolkenlosem Himmel auf. Danach zeigen die Kurven von Frankfurt und Karlsruhe einen synchronen Verlauf. Und das, obwohl zwischen Frankfurt und Karlsruhe immerhin ein Abstand von gut 100 km Luftlinie ist. Aber über ein gesamtes Sommerhalbjahr gemittelt scheinen sich lokale Witterungsunterschiede nicht mehr so sehr bemerkbar zu machen. Umso mehr sprechen die auseinander driftenden Kurven vor 1890 dafür, dass sie zur Nachberechnung einer monatlichen Sonnenscheindauer nur mit Vorsicht zu gebrauchen sind.

Darmstadt zeigt von 1945 bis 1973 auffallend niedrig Werte der Bewölkung. In dieser Zeit befand sich die Wetterstation auf der höher gelegenen Rosenhöhe auf 169 m Höhe und war sicherlich weniger vom Stadtdunst und vom Nebel in der Rhein-Main-Ebene betroffen.

Die Kurven von Karlsruhe und Mannheim in Abbildung 10 verlaufen vielfach synchron mit meist etwas nied-

rigeren Werten von Mannheim. Einzig im Zeitraum von 1866 bis 1877 zeigen sich teils deutliche Differenzen der Jahresmittel des Bewölkungsgrades. Generell fällt auf, dass auch bei den Beobachtungen von Mannheim die Werte vor 1875 ungewöhnlich niedrig sind.

5.2 Konsequenzen für die Verlässlichkeit der Berechnung einer Sonnenscheindauer aus dem Bewölkungsgrad

Die auffallend niedrigen Werte des Bewölkungsgrades im 19. Jahrhundert lassen Zweifel aufkommen, ob diese geeignet sind für eine Berechnung der Sonnenscheindauer. Auch in den nicht in den Grafiken gezeigten Zeiträumen vor 1826 ist das für Karlsruhe meist der Fall, ebenso für die Daten von Mannheim aus Zeiten der Societas Meteorologica Palatina von 1781 bis 1792.

Eine Berechnung der Sonnenscheindauer ist daher nicht für alle historisch erfassten Daten der Bewölkung sinnvoll, aber zumindest für Teilbereiche, in denen letztere plausibel erscheinen und keine Sonnenscheindauer beobachtet wurde:

Karlsruhe: 1872 bis 1918 (ab 1919 weitgehend zuverlässige Messwerte der Sonnenscheindauer) 1941, 1942, 1946 (da keine oder nur teilweise Messwerte vorhanden)

Mannheim: 1875 bis 1921 (ab 1922 Erfassung der Sonnenscheindauer) 1944, 1945, 1947, 1948 (da keine oder nur teilweise Messwerte vorhanden)

Frankfurt: 1826 bis 1936 (ab 1937 überwiegend zuverlässige Daten von Frankfurt-Flughafen) 1945 bis 1950 (1945 nur teilweise Messwerte, keine Daten von Frankfurt-Flughafen)

Die in Frankfurt offensichtlich zu niedrigen Werte des Bewölkungsgrades von 1880 bis 1899 wurden durch die von Darmstadt ersetzt, um plausible Werte der Sonnenscheindauer zu errechnen. Ebenso wurden die in Frankfurt kriegsbedingt fehlenden Daten des Bewölkungsgrades von März bis Mai 1945 durch die von Darmstadt ergänzt.

6 Ergebnisse der Rückrechnung und kritische Betrachtung

Mit dem Verfahren 1 wurden für die Orte Karlsruhe, Mannheim und Frankfurt am Main Regressionsgleichungen zur Berechnung der monatlichen Sonnenscheindauer **y** in Stunden aus dem mittleren monatlichen Bewölkungsgrad **x** in Achtel gewonnen.

Ein Faktor für die Entscheidung, welche Art der Regression – linear, quadratisch oder kubisch – am ehesten geeignet ist, kann das Bestimmtheitsmaß sein. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass das Bestimmtheitsmaß ist nicht das Maß aller Dinge ist. Generell ist das Bestimmtheitsmaß bei weniger Daten meist höher, dennoch ist anzustreben möglichst viele Daten aufzunehmen, insbesondere weil die Monate mit extrem hoher oder extrem niedriger Sonnenscheindauer selten sind. Auch liefert eine quadratische oder kubische Regression (Polynom-Regression) oftmals ein höheres Bestimmtheitsmaß, stellt aber für Fälle mit extrem niedrigem Bewölkungsgrad (und hoher Sonnenscheindauer als Konsequenz) nicht unbedingt die klimatologisch sinnvollere Möglichkeit dar.

Die folgenden Tabellen listen die Regressionsgleichungen zur Berechnung der monatlichen Sonnenscheindauer für Karlsruhe (auf Basis von Daten 1919 bis 2008), Mannheim (auf Basis von Daten 1922 bis 2015) und Frankfurt am Main (auf Basis von Daten 1929 bis 2021) auf.

Interessant ist, dass bei testweisen Regressionsrechnungen für Frankfurt das Bestimmtheitsmaß für den kürzeren Zeitraum 1929 bis 2001 entgegen der Erwartung nicht besser ist, als für die Datenbasis 1929 bis 2021! Für den größtmöglichen Zeitraum 1908 bis 2021 hingegen ist das Bestimmtheitsmaß eindeutig schlechter. Grund dafür sind die unterschätzten Werte der Sonnenscheindauer vor 1929 (siehe Kapitel 4.2, Abbildung 6)

Mit Verfahren 2 wurden für die Orte Frankfurt am Main, Karlsruhe und Mannheim ebenfalls die Monatssummen der Sonnenscheindauer berechnet. In den folgenden Abbildungen 11 bis 13 sind die Resultate der beiden Verfahren gegenübergestellt und werden mit den soweit vorhandenen realen Messwerten verglichen.

Wie Abbildung 11 zeigt, passen die mit Verfahren 1 per Regression gewonnen jährlichen Sonnenscheinsummen (grün) meist gut zu den Messwerten von Geisenheim (rot) und Frankfurt (blau), wie die Trendkurven (10-Periode gleitende Mittelwerte) belegen. In der Zeit vor 1880, die nicht durch Messwerte belegt ist, liefern beide Methoden ganz ähnliche jährliche Sonnenscheinstunden. Verfahren 2

Tabelle 2: Monatliche Regressionsgleichungen für Karlsruhe ermittelt aus den Daten von 1919 bis 2008 zur Berechnung der monatlichen Sonnenscheindauer y in Stunden aus dem mittleren monatlichen Bewölkungsgrad x in Achtel.

Monat	Regressionsgleichung	Bestimmtheitsmaß
Jan	$y = -23{,}78x + 199{,}59$	$R^2 = 0{,}70$
Feb	$y = -1{,}28x^2 - 16{,}05x + 214{,}77$	$R^2 = 0{,}86$
Mrz	$y = -1{,}54x^2 - 21{,}26x + 288{,}43$	$R^2 = 0{,}83$
Apr	$y = -49{,}29x + 428{,}09$	$R^2 = 0{,}80$
Mai	$y = -56{,}23x + 504{,}34$	$R^2 = 0{,}85$
Jun	$y = -4{,}96x^2 - 6{,}71x + 390{,}84$	$R^2 = 0{,}76$
Jul	$y = -55{,}63x + 509{,}59$	$R^2 = 0{,}89$
Aug	$y = -0{,}74x^2 - 36{,}09x + 409{,}44$	$R^2 = 0{,}76$
Sep	$y = -0{,}65x^2 - 36{,}39x + 358{,}43$	$R^2 = 0{,}82$
Okt	$y = -37{,}28x + 314{,}77$	$R^2 = 0{,}85$
Nov	$y = -0{,}35x^2 - 25{,}85x + 232{,}25$	$R^2 = 0{,}76$
Dez	$y = -26{,}06x + 208{,}73$	$R^2 = 0{,}75$

Tabelle 3: Monatliche Regressionsgleichungen für Mannheim ermittelt aus den Daten von 1922 bis 2015 zur Berechnung der monatlichen Sonnenscheindauer y in Stunden aus dem mittleren monatlichen Bewölkungsgrad x in Achtel.

Monat	Regressionsgleichung	Bestimmtheitsmaß
Jan	$y = -23{,}61x + 196{,}56$	$R^2 = 0{,}69$
Feb	$y = -1{,}26x^2 - 16{,}44x + 213{,}99$	$R^2 = 0{,}82$
Mrz	$y = -2{,}54x^2 - 14{,}90x + 278{,}16$	$R^2 = 0{,}88$
Apr	$y = -52{,}35x + 434{,}26$	$R^2 = 0{,}82$
Mai	$y = -4{,}14x^2 - 16{,}44x + 404{,}86$	$R^2 = 0{,}84$
Jun	$y = -4{,}0911x^2 - 17{,}85x + 418{,}85$	$R^2 = 0{,}83$
Jul	$y = -0{,}56x^2 - 47{,}84x + 480{,}71$	$R^2 = 0{,}79$
Aug	$y = -1{,}45x^2 - 30{,}46x + 391{,}52$	$R^2 = 0{,}76$
Sep	$y = -42{,}01x + 363{,}32$	$R^2 = 0{,}85$
Okt	$y = -4{,}24x^2 + 4{,}70x + 208{,}69$	$R^2 = 0{,}88$
Nov	$y = -26{,}62x + 220{,}91$	$R^2 = 0{,}64$
Dez	$y = -2{,}60x^2 + 9{,}38x + 87{,}19$	$R^2 = 0{,}73$

Tabelle 4: Monatliche Regressionsgleichungen für Frankfurt am Main ermittelt aus den Daten von 1929 bis 2021 zur Berechnung der monatlichen Sonnenscheindauer y in Stunden aus dem mittleren monatlichen Bewölkungsgrad x in Achtel.

Monat	Regressionsgleichung	Bestimmtheitsmaß
Jan	$y = -26{,}17x + 206{,}41$	$R^2 = 0{,}77$
Feb	$y = -0{,}77x^2 - 23{,}27x + 230{,}52$	$R^2 = 0{,}81$
Mrz	$y = -1{,}75x^2 - 22{,}28x + 290{,}59$	$R^2 = 0{,}79$
Apr	$y = -0{,}14x^3 - 1{,}42x^2 - 29{,}53x + 375{,}15$	$R^2 = 0{,}82$
Mai	$y = -2{,}94x^2 - 30{,}17x + 440{,}6$	$R^2 = 0{,}77$
Jun	$y = -5{,}80x^2 - 5{,}51x + 394{,}35$	$R^2 = 0{,}79$
Jul	$y = -2{,}30x^2 - 37{,}95x + 465{,}61$	$R^2 = 0{,}84$
Aug	$y = -49{,}28x + 444{,}95$	$R^2 = 0{,}76$
Sep	$y = -46{,}91x + 381{,}85$	$R^2 = 0{,}80$
Okt	$y = -39{,}0x + 310{,}23$	$R^2 = 0{,}87$
Nov	$y = -30{,}53x + 237{,}33$	$R^2 = 0{,}64$
Dez	$y = -21{,}16x + 169{,}7$	$R^2 = 0{,}67$

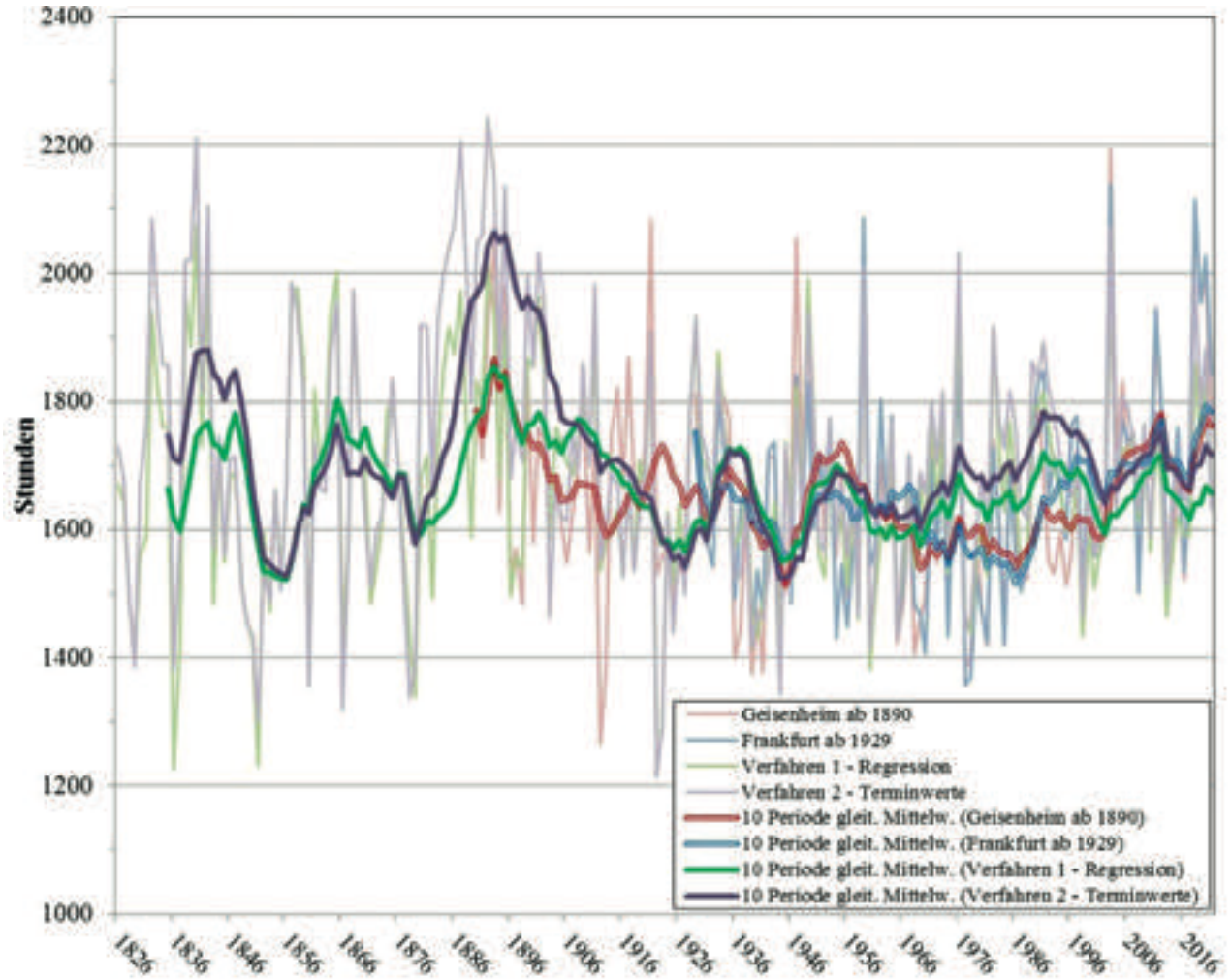


Abb. 11: Vergleich der beiden Verfahren zur Berechnung der jährlichen Sonnenscheindauer im Zeitraum 1826 bis 2021 für Frankfurt am Main. Verfahren 1 (Regression) ist in Grün dargestellt, Verfahren 2 (Terminwerte) in Violett. Als Referenz sind die realen Messwerte von Geisenheim ab 1890 (rot) und Frankfurt ab 1929 (hellblau) dargestellt. Die für eine 10-Jahres Periode gleitenden Werte sind die fetten Kurven, die Kurven der Jahressummen sind blass im Hintergrund.

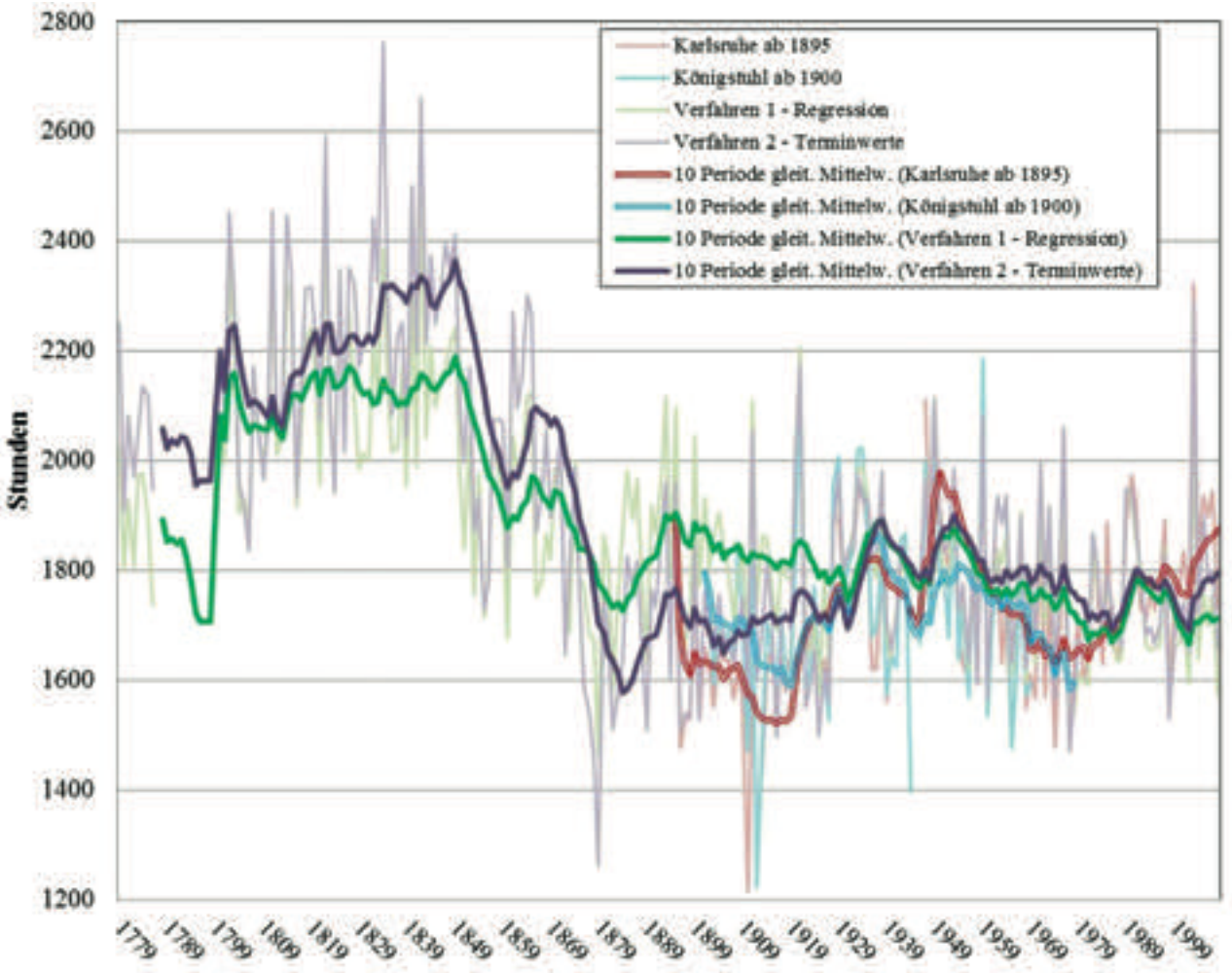


Abb. 12: Vergleich der beiden Verfahren zur Berechnung der jährlichen Sonnenscheindauer im Zeitraum 1779 bis 2008 für Karlsruhe. Verfahren 1 (Regression) ist in Grün dargestellt, Verfahren 2 (Terminwerte) in Violett. Als Referenz sind die realen Messwerte von Karlsruhe ab 1895 bis 2008 (rot) und Königstuhl 1900 bis 1969 (hellblau) dargestellt. Die für eine 10-Jahres Periode gleitenden Werte sind die fetten Kurven, die Kurven der Jahressummen sind blass im Hintergrund.

(violett) liefert in der mit Messwerten belegten Zeit ab 1890 phasenweise höhere Werte als Verfahren 1. Dies gilt für die Zeit bis 1901 und die Achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts.

Folglich sollte für Frankfurt dem Verfahren 1 „Regression“ der Vorzug gegeben werden!

Abbildung 12 mit den Resultaten für Karlsruhe verdeutlicht, dass die Resultate beider Verfahren für die Zeit vor 1875 zweifelhaft sind und verworfen werden sollten. Dieser Befund hatte sich schon bei der Evaluierung der Bewölkungsgrad-Daten von Karlsruhe abgezeichnet. Ab 1875 jedoch sind die Ergebnisse jedoch generell plausibel. Das Verfahren 1 mit Regression liefert dabei für Karlsruhe in der Zeit, die durch Messwerte belegt ist, nicht so gute Werte wie das Verfahren 2, zumindest bis etwa 1920 und nach 2000.

Dem Verfahren 2 „Terminwerte“ sollte also für Karlsruhe, soweit den realen Messwerten zu trauen ist, der Vorzug gegeben werden!

Auch für Mannheim gilt, wie Abbildung 13 zeigt, annähernd das Gleiche wie für Karlsruhe: Die unrealistisch hoch errechneten Jahressummen der Sonnenscheindauer vor 1879 haben ihre Ursache im offensichtlich zu niedrig eingeschätzten Bewölkungsgrad.

Ab etwa 1885 stimmen die Kurven der beiden Verfahren gut überein. In der Zeit davor liefert die Regressionsmethode die niedrigeren Werte. Ab 1901 mit dem Einsetzen der ersten Messungen der Sonnenscheindauer auf dem Königstuhl liegen die realen Jahressummen und die berechneten innerhalb eines Bereichs von ± 100 Stunden auseinander. Etwas größer sind die Unterschiede vorübergehend von Ende der Sechziger Jahre bis Anfang der Achtziger Jahre.

Bemerkenswert ist das Auseinanderlaufen der Resultate beider Verfahren ab 2001. Verfahren 2 stimmt da gut mit den Messwerten überein, das Regressionsverfahren hingegen nicht. Dies ist vermutlich der Umstellung auf automatische Bewölkungserfassung geschuldet, die eine präzisere Ermittlung des Bewölkungsgrades liefert, aber auch einen Himmel mit dünnen Cirrostratus-Wolken oft mit höherem Bewölkungsgrad bewertet.

Ansonsten ist Verfahren 1 für Mannheim fast durchgehend etwas näher an den realen Messwerten als Verfahren 2.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Verfahren 1 „Regression“ für Mannheim und Frankfurt am Main besser

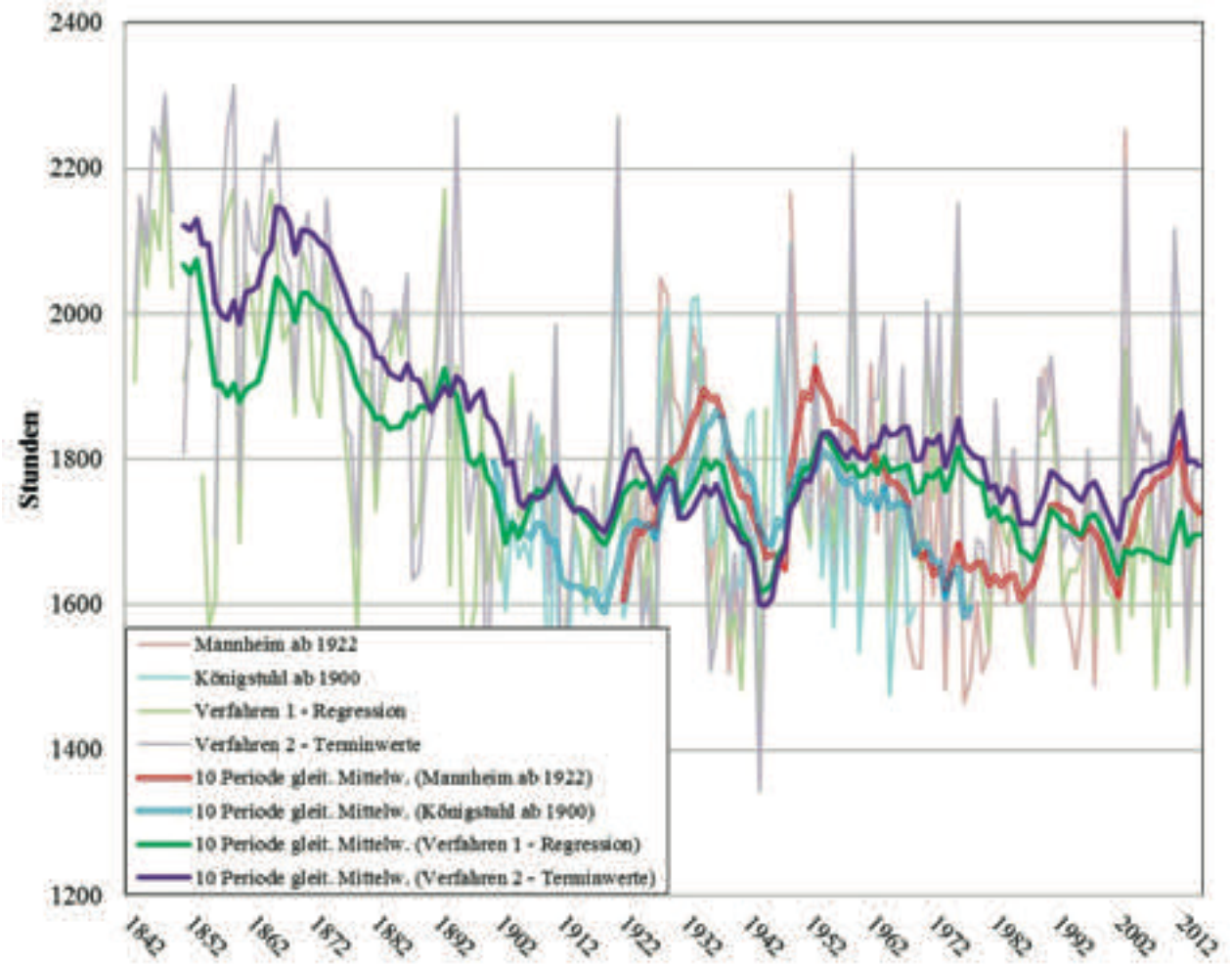


Abb. 13: Vergleich der beiden Verfahren zur Berechnung der jährlichen Sonnenscheindauer im Zeitraum 1842 bis 2015 für Mannheim. Verfahren 1 (Regression) ist in Grün dargestellt, Verfahren 2 (Terminwerte) in Violett. Als Referenz sind die realen Messwerte von Mannheim ab 1922 (rot) und Königstuhl 1900 bis 1969 (hellblau) dargestellt. Die für eine 10-Jahres Periode gleitenden Werte sind die fetten Kurven, die Kurven der Jahressummen sind blass im Hintergrund.

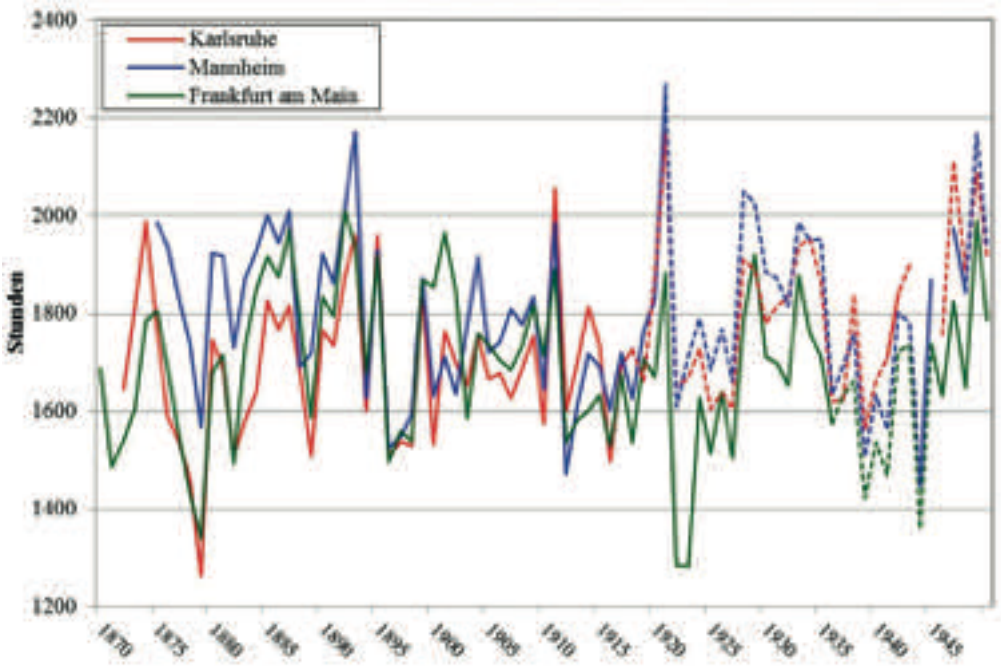


Abb. 14: Nachberechnete jährliche Sonnenscheindauer (durchgezogene Linien) für Karlsruhe (rot), Mannheim (blau) und Frankfurt (grün) im Zeitraum von 1870 bis 1950. Die punktierten Linien geben die realen und als zuverlässig erachteten Messwerte wieder.

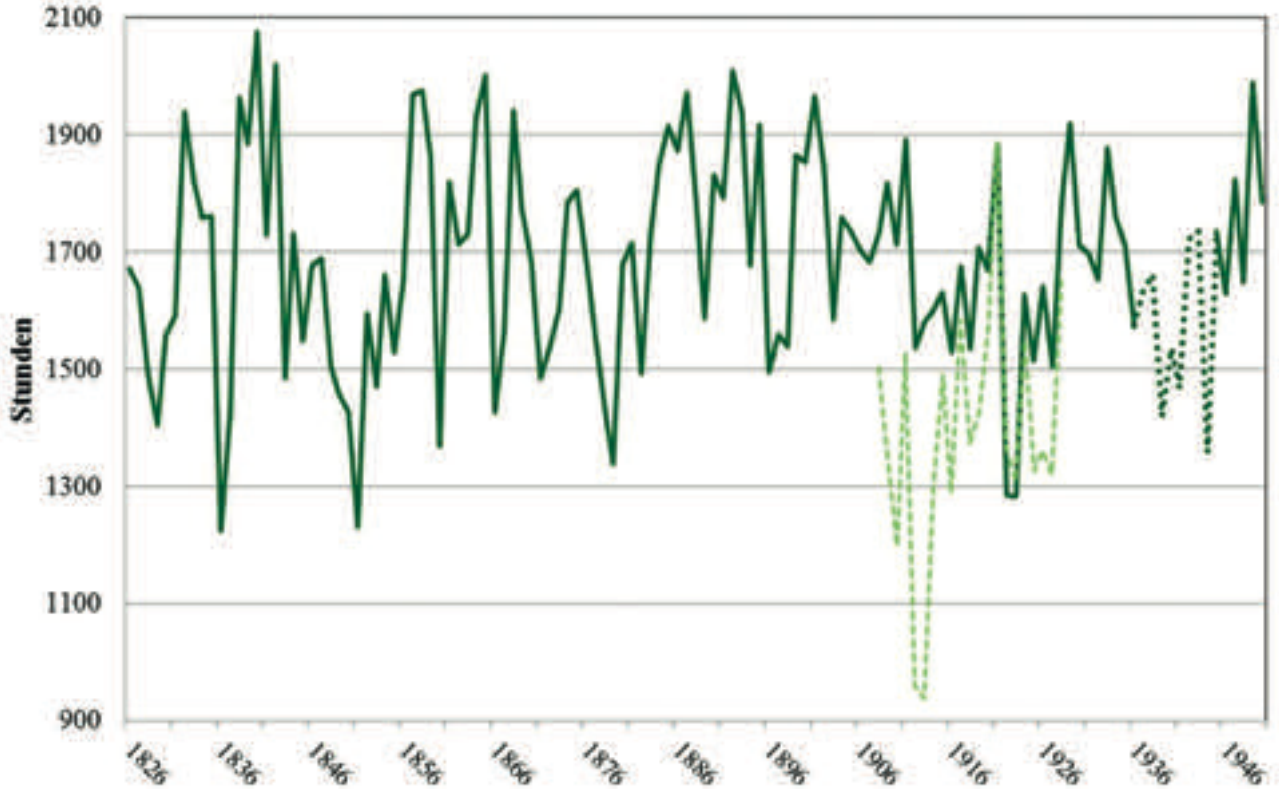


Abb. 15: Nachberechnete jährliche Sonnenscheindauer (durchgezogene dunkelgrüne Linie) für Frankfurt im Zeitraum von 1826 bis 1950. Die punktierte dunkelgrüne Linie gibt die realen und als plausibel erachteten Messwerte wieder. Die gestrichelte hellgrüne Linie gibt die realen, aber vor 1929 als zu niedrig beurteilten Messwerte wieder.

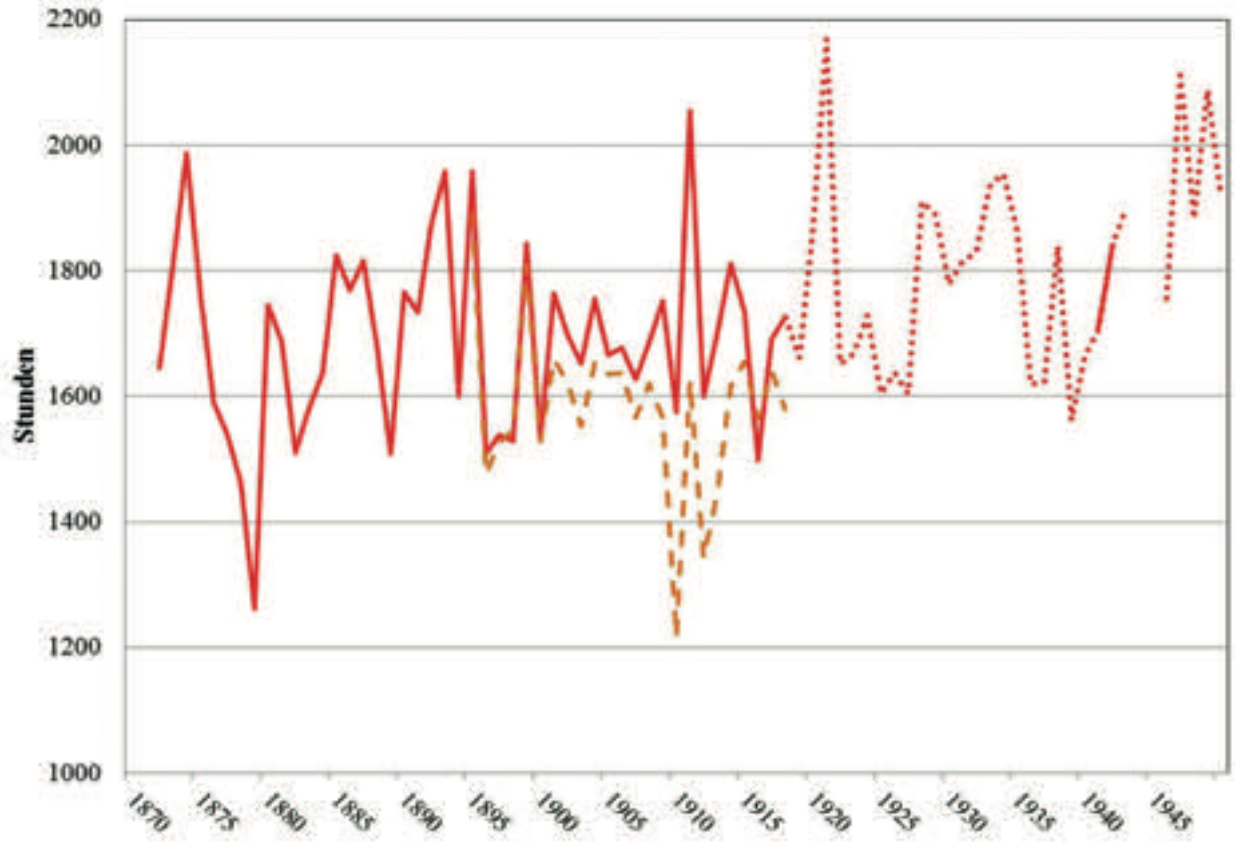


Abb. 16: Nachberechnete jährliche Sonnenscheindauer (durchgezogene rote Linie) für Karlsruhe im Zeitraum von 1872 bis 1950. Die punktierte rote Linie gibt die realen und als plausibel erachteten Messwerte wieder. Die gestrichelte orange Linie gibt die realen, aber als zu niedrig beurteilten Messwerte wieder.

abschneidet als Verfahren 2 „Terminwerte“. Beim Standort Karlsruhe ist es umgekehrt. Für die Zeit mit zunehmend automatisierter Bewölkungserfassung ab 2001 zeigt sich jedoch, dass Verfahren 1 generell weniger gut geeignet ist als Verfahren 2.

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Nachberechnung einer jährlichen Sonnenscheindauer für Karlsruhe, Mannheim und Frankfurt ab etwa 1870 im Vergleich dargestellt.

Da die Nachberechnung der Sonnenscheindauer für Frankfurt am Main auch vor 1870 plausible Werte liefert, zeigt Abbildung 15 diese Ergebnisse separat. Dort wird auch nochmals, wie eingangs erwähnt, deutlich, dass die Messwerte von Frankfurt vor allem vor 1929 unrealistisch niedrig ausfielen.

Auch für die Station Karlsruhe sind wie bei Frankfurt die frühen Messungen der Sonnenscheindauer mit hoher Wahrscheinlichkeit zu niedrig, daher ist in Abbildung 16 ein Vergleich der Nachberechnung mit den realen Messwerten ab 1872 dargestellt. Überraschender liegen die Messwerte der frühen Jahre 1895 bis 1900 fast genau auf den nachberechneten Werten. Diese sind also besser als ihr Ruf!

7 Ausblick

Wie die vergangenen Jahre seit 2018 mit ihrem überaus auffälligen Sonnenscheinreichtum gezeigt haben, vollzieht sich der Klimawandel im mittleren und nördlichen Oberrheingraben offensichtlich auch in einer Tendenz zu mehr Sonnenschein. Dies ist umso interessanter, da sich, abgesehen von einem ganz klaren Trend zu höheren Temperaturen, seit Ende der Achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, hinsichtlich Starkniederschlag und Wind noch keine klar ausgeprägte Veränderung im Rhein-Main-Neckar-Raum manifestieren.

Eine Nachberechnung der Sonnenscheindauer für lange Klimareihen ist insofern von Wert, weil sie zeigen kann, wie die Verhältnisse früher waren. So wie Matuszko (Matuszko, 2011) dies für die lange Reihe von Krakau bewerkstelligte, bietet dies die vorliegende Arbeit für Frankfurt, Mannheim und Karlsruhe. Es wäre sicherlich lohnenswert dergleichen für die langen Beobachtungsreihen von Berlin, Bamberg oder München zu tun, die ja in durchwegs anderen klimatischen Bereichen Deutschlands liegen.

Literatur

Badisches Landeswetterwarte (1922–1934): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1917 bis 1933 – Baden. Karlsruhe: A. Peppler.

Deutscher Wetterdienst (1935–1944): Monatsblätter der Wetterstation Frankfurt-Flughafen. Papierarchiv des DWD.

Deutscher Wetterdienst (1955–1993): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1953 bis 1991. Offenbach am Main.

Deutscher Wetterdienst (1997): Stationsakte der Wetterstation Frankfurt am Main. Offenbach am Main: Stationsaktenarchiv des DWD.

Deutscher Wetterdienst (2022, Frankfurt-Flughafen): Tageswerte Klima–Frankfurt am Main (Stationsnr. 01420): Abgerufen am 15.07.2022 von https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/

Deutscher Wetterdienst (2022, Geisenheim): Tageswerte Klima–Geisenheim (Stationsnr. 01580): Abgerufen am 15.07.2022 von https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/

Deutscher Wetterdienst (2022, Karlsruhe): Tageswerte Klima–Karlsruhe (Stationsnr. 02522), Metadaten Geräte Sonnenscheindauer. Abgerufen am 15.07.2022 von https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/

Deutscher Wetterdienst (2022, Mannheim): Monatswerte Klima–Mannheim (Stationsnr. 05906)–Metadaten Geräte Sonnenscheindauer. Abgerufen am 15.07.2022 von https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/monthly/kl/historical/

Deutscher Wetterdienst in der US-Zone (1949–1951): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1939 bis 1942. Bad Kissingen.

Deutscher Wetterdienst in der US-Zone (1949–1954): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1945 bis 1952. Bad Kissingen.

Deutscher Wetterdienst in der US-Zone (1954 u. 1955): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1943 u. 1944. Bad Kissingen.

Grossherzogliches Hydrographisches Bureau (1902): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1901–Hessen. Darmstadt.

Grossherzogliches Hydrographisches Bureau (1909): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1908–Hessen. Darmstadt.

Grunow, J. (1958) Über die Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung. Meteorologische Rundschau **11**. Jg., Heft 4.

Hartmann, W. (1960) Sonnenscheindauer und Bewölkung. Meteorologische Rundschau **13**. Jg., Heft 9.

Königliches Preussisches Meteorologisches Institut (1893–1919): Deutsches Meteorolog. Jahrb., Preu-

ßen u. übrige norddeutsche Staaten für 1889 bis 1913. Berlin.

Kunz, M., Kottmeier, C., Lähne, W., Bertram, I., & Ehmann, C. (2022): The Karlsruhe Temperature Time Series since 1779. Meteorologische Zeitschrift (Contrib. Atm. Sci.), PrePub Article.

Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde (1925): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1924 – Hessen. Darmstadt.

Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde (1928): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1927 – Hessen. Darmstadt: Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde.

Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde (1932): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1931–Hessen. Darmstadt: Landesanstalt für Wetter- u. Gewässerkunde.

Landesanstalt für Wetter und Gewässerkunde (1911–1934): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1910 bis 1933. Darmstadt.

Matuszko, D. (2011): Influence of cloudiness on sunshine duration. International Journal of Climatology , Vol. **32**, No. 10, S. 1527-1536.

Preussisches Meteorologisches Institut (1921–1933): Deutsches Meteorolog. Jahrbuch, Preußen u. übrige norddeutsche Staaten für 1914 bis 1932. Berlin.

Reichsamt für Wetterdienst (1935 bis 1939): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1934 bis 1938–Deutsches Reich. Berlin.

Schmitt, H.-H. (2009): 125 Jahre Wetterstation Geisenheim 1884–2009. Annalen der Meteorologie 45.

Stanghellini, C. (1981): A simple method for evaluating sunshine duration by cloudiness observations. Journal of Applied Meteorology, S. 320-323.

Steinhauser, F. (1954): Über die Beziehung zwischen Sonnenscheinregistrierungen und Bewölkungsschätzungen und ihre Verwertungsmöglichkeit für die Berechnung der Sonnenscheindauer aus Bewölkungsbeobachtungen. Wetter und Leben **6**, S. 139.

Wachter, H. (1939): Das Klima von Frankfurt a. M., Nachtrag III. Frankfurt am Main: Physikal. Ver. Frankfurt a. M., Hrsg. F. Linke.

Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie (1895, Teil 2): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1894 – Baden. Karlsruhe.

Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie (1896–1917): Jahresbericht d. Zentralbureaus f. Meteor. u. Hydrogr. i. Grossherzogtum Baden für 1895 bis 1916. Karlsruhe.

Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie (1899, Teil 2): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1898 – Baden. Karlsruhe.

Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie (1902, Teil 2): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1901 – Baden. Karlsruhe.

Anschriften der Autoren:
Dr. Stephan Traup
Mathildenstr. 4
64342 Seeheim-Jugenheim
Deutschland
E-Mail: stephan.traup@t-online.de

Dr. Wolfgang Lähne
Brucknerstr. 13
67354 Römerberg
Deutschland
E-Mail: laehne@pollichia.de

Eingegangen bei der Schriftleitung am 20. September 2022

Anhang – Beschreibung der Messstandorte

Die Auswahl der Messstandorte für die vorliegende Untersuchung erfolgte unter der Voraussetzung, dass weitestgehend vollständige Monatssummen der Sonnenscheindauer und Monatsmittel des Bewölkungsgrades über einen Zeitraum von mindestens 50 Jahren, insbesondere aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vorliegen. Eine hinreichende Homogenität der Beobachtungsreihen ist eine weitere Bedingung. Für die Berechnung der Sonnenscheindauer nach Verfahren 2 – Berechnung der Monatssummen der Sonnenscheindauer aus den Terminwerten des Bewölkungsgrades – sind sogar dreimal tägliche Beobachtungen des Bewölkungsgrades über lange Zeit Voraussetzung!

Darmstadt

Die Messungen der Sonnenscheindauer erfolgten 1911 bis 1937 in Darmstadt im physikalischen Institut am Herrngarten (Landesanstalt für Wetter und Gewässerkunde 1911–1934), (Reichsamt für Wetterdienst 1935 bis 1939).

Von 1. Oktober 1979 bis 30. September 1987 wurde in Darmstadt-Griesheim am Flugplatz (103 m ü NN) in 1,6 m über Grund gemessen (Deutscher Wetterdienst 1955–1993). Ab 1. April 1988 standen die Daten der privaten Wetterstation von Peter Süßmann in Darmstadt-Wixhausen zur Verfügung, welche seit 1987 nach DWD-Standard erfasst wurden. Dort gab es am 15. Januar 2019 eine Stationsverlegung auf einen Standort mit niedrigerer Sonnenausbeute.

Darüber hinaus wurde bei Darmstadt auch noch auf dem Bismarckturm (263 m ü NN) in 26 m über Grund von 1953 bis 31.10.1965 beobachtet (Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1954, Deutscher Wetterdienst 1955–1993). Die freie und erhöhte Lage, oft oberhalb von Dunst und Nebel der Rhein-Main-Ebene lieferte generell etwa 10 % höhere Jahressummen der Sonnenscheindauer und ist nicht unbedingt repräsentativ für die Stadt selbst. Von 1.11.1965 bis zum 30. September 1979 wurde an der Ingenieurschule in Darmstadt (133 m ü NN) auf einem hohen Turm in 65 m über Grund beobachtet (Deutscher Wetterdienst 1955–1993). Durch den hohen Turm ist die Datenreihe annähernd homogen mit der des Bismarckturms und liefert ebenfalls im Mittel 5 bis 10 % höhere Werte.

Erfassung der Sonnenscheindauer:

19110101–19371231	H = 140 m, h_s = 26 m, Campbell-Stokes, Darmstadt, Technische Hochschule
19530101–19660331	H = 263 m, h_s = 26 m, Campbell-Stokes, Darmstadt-Bismarckturm
19660401–19790930	H = 133 m, h_s = 65 m, Campbell-Stokes, Ingenieurschule Schöfferstraße
19791001–19870930	H = 108 m, h_s = 1,6 m, Campbell-Stokes, Flugplatz Darmstadt-Griesheim
19880401–20190309	H = 122 m, h_s = 10 m, Campbell-Stokes, Darmstadt-Wixhausen
20190310–20211231	H = 122 m, h_s = 2 m, Campbell-Stokes, Darmstadt-Wixhausen

Erfassung des Bewölkungsgrad in Form von täglichen Terminwerten bzw. Monatsmitteln:

18620701–18861231	täglich Terminwerte um 6, 14, 22 Uhr MOZ, Darmstadt-Herrngarten
18870101–19370202	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Darmstadt-Herrngarten
19370203–19740731	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Darmstadt-Botanischer Garten
19740801–19790930	Monatsmittel aus Terminwerten um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Darmstadt-Schöfferstr.
19791001–19870930	Monatsmittel aus Terminwerten um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Darmstadt-Griesheim
19871001–19900531	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ, Darmstadt-Eberstadt
19900601–19950731	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ, Darmstadt-Heimstätten-Siedlung
19950801–20010331	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ, Darmstadt-Oberfeld
20010401–20111231	täglich Terminwerte um 6, 12, 18 UTC, Darmstadt-Oberfeld

Die weiteren Angaben zu Stationshöhe, Höhe und Art des Messgeräts entstammen überwiegend den Meteorologischen Jahrbüchern (Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1954, Deutscher Wetterdienst, 1955–1993).

Frankfurt am Main

Erfassung der Sonnenscheindauer in Frankfurt am Main - Stadt:

19070901–19260331	H = 98 m, h_s = 34 m, Campbell-Stokes
19260401–19611130	H = 103 m, h_s = 17 m, Campbell-Stokes

Der Sonnenscheinschreiber befand sich von 1907 bis Ende März 1926 auf der Plattform des astronomischen Turmes

des Physikalischen Vereins im Kettenhofweg 133/144, heute Robert-Mayer-Straße 2/4. Am 1. April 1926 erfolgte der Umzug in die Feldbergstraße 47 (Deutscher Wetterdienst 1997).

Erfassung der Sonnenscheindauer in Frankfurt am Main - Flughafen:

19360727 - ca. 1941	H = 110m, h_s = 25 m, Campbell-Stokes
ca. 1942–19441102	H = 110m, h_s = 22 m, Campbell-Stokes
19500801–19560930	H = 113m, h_s = 25 m, Campbell-Stokes
19560110–19590331	H = 113m, h_s = 1,4 m, Campbell-Stokes
19590401–19591031	H = 113m, h_s = 25m , Campbell-Stokes
19591101–19840630	H = 113m, h_s = 1,4m , Campbell-Stokes
19840701–19930224	H = 112m, h_s = 1,2 m, Campbell-Stokes
19930225–20141021	H = 112m, h_s = 5 m, SONle Sonnenenergie-Sensor
20141022–20211231	H = 100m, h_s = 9 m, SONle Sonnenenergie-Sensor

Die Angaben zu Stationshöhe, Höhe und Art des Messgeräts für Frankfurt-Flughafen stammen aus den Monatsblättern im Papierarchiv des DWD (Deutscher Wetterdienst 1935–1944), aus den Meteorologischen Jahrbüchern (Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1954, Deutscher Wetterdienst 1955–1993) und dem Datenarchiv im Internetportal des DWD (Deutscher Wetterdienst 2022, Frankfurt-Flughafen).

Erfassung des Bewölkungsgrades:

Frankfurt-Stadt

18260101–18261231	zweimal täglich Werte, vormittags und nachmittags
18270101–18371230	zweimal täglich Werte, tags und nachts
18371231–18530331	täglich Terminwerte um 9, 15, 22 Uhr MOZ
18530401–18921231	täglich Terminwerte um 6, 14, 22 Uhr MOZ
18930101–19611130	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ

Frankfurt-Flughafen

19350701–19360630	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Frankfurt-Rebstock
19360712–19440229	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Frankfurt-Flughafen
19440401–19450228	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Frankfurt-Flughafen
19481001–19861231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Frankfurt-Flughafen
19870101–20010331	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ, Frankfurt-Flughafen
20010401–20211231	täglich Terminwerte um 6, 12, 18 UTC, Frankfurt-Flughafen

Geisenheim

Erfassung der Sonnenscheindauer:

18890401–19070930	H = 103 m, h_s = 2m Campbell-Stokes
19071001–19360331	H = 101 m, h_s = 2m, Campbell-Stokes
19360401–19840731	H = 109 m, h_s = 2m, Campbell-Stokes
19840801–19901231	H = 118 m, h_s = 13m, Campbell-Stokes
19910101–20061130	H = 118 m, h_s = 13m, SONle Sonnenenergie-Sensor
20061201–20211231	H = 110 m, h_s = 8m, SONle Sonnenenergie-Sensor

Die Angaben zu Stationshöhe, Höhe und Art des Messgeräts für Geisenheim stammen aus den Meteorologischen Jahrbüchern (Königliches Preussisches Meteorologisches Institut 1893–1919, Preussisches Meteorologisches Institut 1921–1933, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1954, Deutscher Wetterdienst 1955–1993) und dem Datenarchiv im Internetportal des DWD (Deutscher Wetterdienst 2022, Geisenheim).

Erfassung des Bewölkungsgrades:

18840101–19861231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ
19870101–20010331	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ
20010401–20211231	täglich Terminwerte um 6, 12, 18 UTC

Karlsruhe

Erfassung der Sonnenscheindauer:

18940501–18980216	H = 116 m, h_s = 25m, Campell-Stokes
18980217–19210630	H = 116 m, h_s = <unbekannt>, Campell-Stokes
19210701–19370331	H = 115 m, h_s = 15m, Campell-Stokes
19370401–19441031	H = 118 m, h_s = 19m, Campell-Stokes
19460801–19771231	H = 114 m, h_s = 14m, Campell-Stokes
19780101–19781130	H = 112 m, h_s = 36m, Cam-

	pell-Stokes
19781201–19969731	H = 112 m, h_s = 34m, Campell-Stokes
19960801–20081031	H = 112 m, h_s = 34m, SONle Sonnenenergie-Sensor

Im Deutschen Meteorologischen Jahrbuch Baden für 1894 wird die Aufstellung eines Sonnenautografen erwähnt (Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie 1895, Teil 2, S. 21):

In Karlsruhe functionirt seit Ende April ein Sonnenscheinautograph System Campbell-Stokes. Das Instrument steht hoch über den Dächern der Häuser, etwa 25 m über dem Boden, auf einem Sockel auf der gegen Süden gelegenen beiden der grossen Terrassen, welche sich zu beiden Seiten des Thurmes der evangelischen Stadtkirche befinden."

Zu einer Stationsverlegung kurz darauf im Jahr 1898 (Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie 1899, Teil 2, S. 1):

„Die meteorologische Station in Karlsruhe musste leider abermals verlegt werden, da der […]. Von Ende December an befindet sich die Station in dem um 3,8 m höheren – dritten Stockwerk – des Hauptgebäudes der Technischen Hochschule genau über der bisherigen Aufstellung. Der Sonnenscheinautograph, der bisher auf einer nach Süden sehenden Plattform der evangelischen Stadtkirche auf einem Sandsteinsockel aufgestellt war, musste versetzt werden, da der ihn bedienende Thurmwächter nach dem Rathhausthurm übersiedelte. Der Apparat steht seit dem 17. Februar auf einer an der südlichen Mauerbrüstung des 50 m hohen Rathhausthurms angebrachten Eisenplatte."

Zur Auswertung der Registrierstreifen wird folgendes angegeben (Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie, 1902, Teil 2, S. 19):

„Sonnenscheinregistrierung in Karlsruhe und Königstuhl. Bei der Auswertung der Registrierstreifen des Campbell-Stokes'schen Sonnenscheinautographen sind auch solche Stellen berücksichtigt worden, an denen das Papier nur leicht, aber erkennbar gebräunt ist."

Die weiteren Angaben zu Stationshöhe, Höhe und Art des Messgeräts entstammen den Meteorologischen Jahrbüchern (Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie 1896– 1917, Badisches Landeswetterwarte 1922–1934, Reichsamt für Wetterdienst 1935 bis 1939, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1951, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1954 u. 1955) und dem Datenarchiv im Internetportal des DWD (Deutscher Wetterdienst 2022, Karlsruhe).

Erfassung des Bewölkungsgrades:

17790101–17861231	täglich Werte morgens, mittags und abends
17890101–17891231	täglich Werte morgens, mittags und abends
18000101–18420228	täglich Werte morgens, mittags und abends
18420301–19441031	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ
19451001–19861231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ
19870101–20010331	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ
20010401–20081031	täglich Terminwerte um 6, 12, 18 UTC

Königstuhl (bei Heidelberg)

Erfassung der Sonnenscheindauer:

19010101–19441231	H = 561m, h_s = 10m, Campell-Stokes
19460101–19691231	H = 561m, h_s = 12m, Campell-Stokes

Die Angaben zu Stationshöhe, Höhe und Art des Messgeräts entstammen den Meteorologischen Jahrbüchern (Badisches Landeswetterwarte 1922–1934, Reichsamt für Wetterdienst 1935 bis 1939, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1951, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1954 u. 1955 und Deutscher Wetterdienst 1955–1993).

Mannheim

Erfassung der Sonnenscheindauer:

19220101–19401231	H = 101m, h_s = <unbekannt>, Campell-Stokes, Limburger Hof
19410101–19440810	H = 95m, h_s = <unbekannt>, Campell-Stokes, Mannheim-Sandhofen
19481001–19750813	H = 97m, h_s = 11m, Campell-Stokes, Mannheim
19750814–19870930	H = 97m, h_s = 6m, Campell-Stokes, Mannheim
19871001–20060530	H = 97m, h_s = 7m, Campell-Stokes, Mannheim
20060601–20101231	H = 97m, h_s = 19m, SONle Sonnenenergie-Sensor, Mannheim
20110101–20180404	H = 97m, h_s = 10m, SCAPP, Mannheim
20180405–20211231	H = 97m, h_s = 2m, SONle Sonnenenergie-Sensor, Mannheim

Die Angaben zu Stationshöhe, Höhe und Art des Messgeräts entstammen den Meteorologischen Jahrbüchern (Badisches Landeswetterwarte, 1922–1934, Reichsamt für Wetterdienst 1935 bis 1939, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1949–1951, Deutscher Wetterdienst in der US-Zone 1954 u. 1955) und dem Datenarchiv im Internetportal des DWD (Deutscher Wetterdienst, 2022, Mannheim)

Erfassung des Bewölkungsgrades:

17810101–17921231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim-Schloss
18210601–18221116	täglich Werte, morgens, mittags und abends, Mannheim-Sternwarte
18230815–18270624	täglich Werte, morgens, mittags und abends, Mannheim-Sternwarte
18420901–18521031	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim
18530803–18561231	täglich Terminwerte um 8,14, 22 Uhr MOZ, Mannheim-Sternwarte
18570101–18791231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim
18800101–18800131	täglich Terminwerte um 8, 14, 20 Uhr MOZ, Speyer
18800201–18890225	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim
18890226–18940630	täglich Terminwerte um 8, 14, 20 Uhr MOZ, Speyer
18940701–19001231	täglich Terminwerte um 8, 14, 20 Uhr MOZ, Ludwigshafen
19010101–19381231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim
19390101–19450228	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim-Sandhofen
19450301–19460731	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim-Feudenheim
19470101–19861231	täglich Terminwerte um 7, 14, 21 Uhr MOZ, Mannheim
19870101–20010331	täglich Terminwerte um 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ, Mannheim
20010401–20211231	täglich Terminwerte um 6, 12, 18 UTC, Mannheim

Glossar

DWD	Deutscher Wetterdienst
h_s	Höhe des Sonnenscheinschreibers über dem Erdboden
H	Stationshöhe über Normal Null
MEZ	Mitteleuropäische Zeit (mittlere Sonnenzeit auf dem Längengrad 15° Ost)
MOZ	Mittlere Ortszeit (mittlere Sonnenzeit auf dem aktuellen Längengrad des Standorts)
UTC	Cordinated Universal Time/Weltzeit (mittlere Sonnenzeit auf dem Null Grad Meridian)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: 101

Autor(en)/Author(s): Traup Stephan, Lähne Wolfgang

Artikel/Article: Methoden zur Berechnung historischer Werte der Sonnenscheindauer in der nördlichen Oberrheinebene 45-68