

Anke Winkler

Analyse der Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung

I Inhaltsverzeichnis

	Seite	
I	Inhaltsverzeichnis	3
II	Abbildungsverzeichnis	4
III	Tabellenverzeichnis	6
IV	Abkürzungs- und Formelverzeichnis	6
1.	Einleitung	7
2.	Ziel- und Aufgabenstellung	8
3.	Material und Methoden	9
3.1	Campell-Stokes Sonnenscheinautograph	10
3.2	Datenergänzung	11
3.3	Beziehung zwischen der Sonnenscheindauer und der Wolkenbedeckung	12
3.4	Variabilität der Wolkenbedeckung und maximal Sonnenscheindauer an wolkenlosen Tagen	13
3.5	Optimales Zeitfenster für die Korrelation zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer	14
3.6	Statistische Analyse der Sonnenscheindauer	15
3.7	Trendanalyse	15
4.	Ergebnisse	17
4.1	Datenergänzung	17
4.2	Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung	18
4.3	Variation der Wolkenbedeckung	19
4.4	Maximale Sonnenscheindauer an wolkenlosen Tagen	22
4.5	Optimales Zeitfenster	23
4.6	Statistische Analyse	24
4.7	Trendanalyse	26
5.	Auswertung	27
V	Anhang	28
VI	Literaturverzeichnis	46

II Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung</i>	<i>Name</i>	<i>Seite</i>
3.1.1	Sonnenscheinautograph nach Campell-Stokes	10
3.3.1	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Frühjahrsmonate auf Basis der Monatswerte	28
3.3.2	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Sommermonate auf Basis der Monatswerte	28
3.3.3	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Herbstmonate auf Basis der Monatswerte	29
3.3.4	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Wintermonate auf Basis der Monatswerte	29
3.3.5	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Frühjahrsmonate auf Basis der Tageswerte	30
3.3.6	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Sommermonate auf Basis der Tageswerte	30
3.3.7	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Herbstmonate auf Basis der Tageswerte	31
3.3.8	Regressionsgeraden und -gleichungen für die Wintermonate auf Basis der Tageswerte	31
3.4.1	Verteilung der wolkenlosen Tage auf die einzelnen Monate innerhalb des Zeitraums 1949-2003	13
3.7.1	Pascalsches Dreieck	16
4.3.1	Anzahl der Monate in denen eine bestimmte Wolkenbedeckung bestimmt wurde für die Periode 1949-2003	19
4.3.2	Monatliche Wolkenbedeckung für die Jahre 1949-1953	20
4.3.3	Monatliche Wolkenbedeckung für die Jahre 1980-1984	20
4.3.4	Halbjährliche Variabilität der Wolkenbedeckung	21
4.3.5	Wolkenbedeckung in Abh. der Jahreszeit für 1949-1978	32
4.3.6	Wolkenbedeckung in Abh. der Jahreszeit für 1979-2003	32
4.4.1	Höchst gemessene Sonnenscheindauer an wolkenlosen Tagen	22
4.5.1	Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate Januar, Februar und März	33
4.5.2	Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate April, Mai und Juni	34
4.5.3	Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate Juli, August und September	35

4.5.4	Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate October, November und Dezember	36
4.6.1	Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Periode 1931-1960 für die einzelnen Kalendertage	24
4.6.2	Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Periode 1961-1990 für die einzelnen Kalendertage	25
4.6.3	Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Periode 1971-2000 für die einzelnen Kalendertage	25
4.6.4	Prozentualer Anteil der mittleren Sonnenscheindauer für die Periode 1931-1960 der einzelnen Kalendertage	38
4.6.5	Prozentualer Anteil der mittleren Sonnenscheindauer für die Periode 1961-1990 der einzelnen Kalendertage	38
4.6.6	Prozentualer Anteil der mittleren Sonnenscheindauer für die Periode 1971-2000 der einzelnen Kalendertage	39
4.7.1	Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Perioden 1951-1990 und 1990-2003	39
4.7.2	Polynomialer Trend für die maximale Sonnenscheindauer für die Monate Januar bis Juni	40
4.7.3	Polynomialer Trend für die maximale Sonnenscheindauer für die Monate Juli bis Dezember	40
4.7.4	Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Blockfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Januar bis Juni	41
4.7.5	Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Blockfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Juli bis Dezember	41
4.7.6	Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Dreieckfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Januar bis Juni	42
4.7.7	Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Dreieckfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Juli bis Dezember	42
4.7.8	Polynomialer Trend für die mittlere Sonnenscheindauer für die Monate Januar bis Juni	43
4.7.9	Polynomialer Trend für die mittlere Sonnenscheindauer für die Monate Juli bis Dezember	43
4.7.10	Moving Average mit Blockfilter für die mittlere Sonnenscheindauer für die einzelnen Monate	44
4.7.11	Moving Average mit Dreieckfilter für die mittlere Sonnenscheindauer für die einzelnen Monate	45

III Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle</i>	<i>Name</i>	<i>Seite</i>
3.2.1	Datenlücken in den Monatswerten	12
3.5.1	Einteilung der acht Stunden Werte in Tag- und Nachtwerte	14
4.1.1	Ergänzte Datenlücken der Monatswerte mittels Regressionsbeziehung und die aufsummierten ergänzten Tageswerte	17
4.2.1	Zusammenstellung der Korrelationskoeffizienten der Tages- und Monatswerte für die einzelnen Monate	18
4.5.1	Korrelationskoeffizienten für die Mittelwerte der Tag- und Nachtwerte der Wolkenbedeckung	23
4.5.2	Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit des Monats und der Uhrzeit der Wolkenbedeckungsbeobachtung	23
4.6.1-4.6.3	Statistische Masszahlen für die einzelnen Perioden	37

IV Abkürzungs- und Formelverzeichnis

Abb.	Abbildung	a, b, cn	Koeffizienten
Apr.	April	i, t	Index
Aug.	August	L+, L-	Konfidenzintervallgrenzen
Dez.	Dezember	N	Anzahl der Werte
Feb.	Februar	R^2	Korrelationskoeffizient
Jan.	Januar	s^2	Varianz
Jul.	Juli	S	Standardabweichung
Jun.	Juni	S_{xx}	Korrelation zw. 2 x-Werten
km	Kilometer	S_{yy}	Korrelation zw. 2 y-Werten
Mar.	März	S_{xy}	Korrelation zw. x- und y-Wert
max.	maximal	X	Werte der Wolkenbedeckung
Max.	Maximum	Y	Werte der Sonnenscheindauer
Min.	Minimum	\bar{x}	Mittelwert Wolkenbedeckung
N	Nord	\bar{y}	Mittelwert Sonnenscheindauer
Nov.	November		
Okt.	Oktober		
Sep.	September		
Std.	Stunde		
Tab.	Tabelle		
W	West		
z.b.	zum Beispiel		
z.T.	zum Teil		
zw.	zwischen		

1. Einleitung

Im Rahmen eines Praktikums an dem Meteorologischen Institut Islands (Veðurstofa Íslands) soll die Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung für die Station Akureyri untersucht werden. Akureyri liegt im Norden von Island ($65,7^{\circ}\text{N}$, $18,1^{\circ}\text{W}$), ungefähr 60 km südlich des Polarkreises.

Die Sonnenscheindauer wird in Stunden angegeben und ist die Zeit eines Tages, in der die Sonne nicht durch Wolken (ausgenommen dünnen Cirruswolken) verdunkelt wird. Die Messung erfolgt mit einem Campbell-Stokes Sonnenscheinautograph.

Die Wolkenbedeckung wird von einem Beobachter abgeschätzt und in Achtein angegeben.

Aufgrund der nördlichen Lage beträgt der Sonnenstand in Akureyri in den Mittagsstunden $47^{\circ}46'$ im Sommer und $0^{\circ}53'$ im Winter [6]. Im Winter kommt somit die Sonne nur wenige Grad über den Horizont, was zur Folge hat, dass die Sonnenscheindauer mit einem Sonnenscheinautograph nicht mehr erfasst werden kann, da die Strahlung zu gering ist. Berge in der weiteren Umgebung der Station können dies noch verstärken, da sie wie eine Beschattung auf das Messinstrument wirken. In den Monaten Januar und Dezember ist die Sonnenscheindauer nahezu durchgängig Null.

Der untersuchte Zeitraum liegt zwischen Januar 1949 und Juli 2003 bzw. für die statistische Analyse der Sonnenscheindauer in Akureyri zwischen 1931 und 2000.

2. Aufgaben- und Zielstellung

Die Sonnenscheindauer wird allgemein als inverser Index für die Wolkenbedeckung genutzt und somit kann auch auf grund der Wolkenbedeckung und der Tageslänge die Sonnenscheindauer abgeschätzt werden. Dieses Prinzip wird auch bei der Lösung der vorliegenden Aufgabenstellung angewendet.

Die Datenreihen für die Sonnenscheindauer weisen z.T. Lücken auf, die über statistische Methoden ergänzt werden sollen. Für die ergänzten Monats- und Tageswerte sollen dann die Beziehung zwischen Sonnenstunden und Wolkenbedeckung analysiert werden, die halbjährliche und jahreszeitliche Variabilität der Wolkenbedeckung untersucht werden und die maximale Sonnenscheindauer an einem wolkenlosen Tag. Ausserdem soll ein optimales Zeitfenster für die beste Korrelation zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung innerhalb eines Tages gefunden werden und es soll auch ein Vergleich der ergänzten Tageswerte mit den ergänzten Monatswerten durchgeführt werden. Zum Schluss erfolgt dann noch eine statistische Analyse der Sonnenscheindauer für verschiedene Zeiträume und eine Trendanalyse, um so eventuelle Veränderungen in der Messreihe zu bestimmen.

3. Material und Methoden

Die Datenreihen für die Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer lagen bereits digitalisiert in der Datenbank *vedur_db* vor. Die Werte der Wolkenbedeckung sind in einer zeitlichen Auflösung von Monaten für den Zeitraum von 1924 bis 2003, von Tagen für 1949 bis 2003 und als 3 Stunden Werte für 1949 bis August 1997 gegeben. Die Werte für die Sonnenscheindauer lagen in Tagen und aufsummiert in Monaten vor, allerdings nur für den Zeitraum 1949 bis 2003.

Die Wolkenbedeckung ist in Achteln angegeben, d.h. bei einer Bewölkung von 8/8 ist der Himmel vollständig mit Wolken bedeckt und bei 0/8 ist nur blauer Himmel zu erkennen oder vereinzelt ein paar Cirruswolken. 1949 kam es zu einer Veränderung in der Abschätzung der Wolkenbedeckung. Bis 1949 wurde diese in Zehnteln gemessen und ab 1949 dann in den heute international gebräuchlichen Achteln. Die Sonnenscheindauer wird in Stunden pro Tag oder aufsummiert in Stunden pro Monat angegeben. Die Messung erfolgte über einen Sonnenscheinautograph nach Campell und Stokes.

Aufgrund der Datensituation und der Änderung in der Messmethode der Wolkenbedeckung wurde der Hauptuntersuchungszeitraum von Januar 1949 bis Juli 2003 gewählt.

Zu Beginn noch ein paar Worte über den Campell-Stokes Sonnenscheinautograph.

3.1 Campell-Stokes Sonnenscheinautograph

Die erste Sonnenscheinmessung wurde 1853 durch J.F. Campell mit einer selbstgebauten 'autoregistrierenden Sonnenuhr' nach einer Idee von Kircher (1646) durchgeführt. Der Aufbau der Gerätes ist bis heute gleich geblieben. Er besteht aus einer Glaskugel, die mit einer Schraube an einem Haltefuss befestigt ist. Um die Kugel ist eine konzentrische Kugelschale befestigt, in der die Registrierkarten eingeschoben werden. Die Kugelschale ist genau im Abstand der Brennweite der Glaskugel montiert. Scheint die Sonne auf die Kugel wird das Registrierpapier (mit einer Zeitskala versehen) angesengt. Da sich die Sonne im Laufe des Tages weiter bewegt, zeigt die Brennschale wie lange und wann die Sonne geschienen hat. Die Registrierstreifen sind je nach Jahreszeit anders geformt, da sich der Sonnenstand innerhalb eines Jahres ändert. Mit Hilfe einer Neigeeinrichtung kann das Gerät auf den jeweiligen Breitengrad ausgerichtet werden. Der Sonnenscheinautograph muss möglichst ungestört von irgendwelchen Übershattungen montiert werden, z.B. auf einem Dach.

Bei einem Sonnenstand von weniger als 5° über dem Horizont kann die Sonnenscheindauer kaum gemessen werden, da dann die Strahlung zu schwach ist, um die Registrierkarten hinreichend genug anzusenken. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Registrierkarten täglich ausgetauscht werden müssen, und dass eine Verschmutzung der Glaskugel, z.B. durch Tau oder Vogeldreck die Messung stark beeinflusst.



Abb. 3.1.1: Sonnenscheinautograph nach Campell-Stokes [5].

3.2 Datenergänzung

Allgemein kann von einer Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung ausgegangen werden, da die Wolken die einfallende Strahlung reflektieren, absorbieren oder streuen und somit die Strahlung am Erdboden nicht gemessen werden kann.

Die Datenergänzung der Monatswerte für die Sonnenscheindauer erfolgte somit über die lineare Regressionsbeziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung. Die fehlenden Werte wurde dann über die Regressionsgleichung berechnet und ergänzt. In Tab. 3.2.1 sind die Lücken für die Monatswerte zusammengestellt.

Die Regressionsberechnung basiert auf der folgenden Gleichung:

$$y = ax + b \quad (3.1)$$

Die Koeffizienten a und b werden über die Gleichungen 3.2, 3.3, 3.4 und 3.5 [3] berechnet, wobei \bar{y} der Mittelwert der Sonnenscheindauer und \bar{x} der Mittelwert der Wolkenbedeckung innerhalb des Untersuchungszeitraum ist.

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (3.2)$$

$$a = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (3.3)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad (3.4)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i * \sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (3.5)$$

Zur Erstellung der Regressionsbeziehung wurden die Datenreihen von 1965 bis 1984 verwendet, da diese in diesem Zeitraum vollständig vorlagen. Auch spätere Regressionsbeziehungen werden in diesem Zeitraum erstellt, zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Die Datenergänzung der Tageswerte der Sonnenscheindauer erfolgte ebenfalls über die lineare Regressionsbeziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung für den Zeitraum zwischen 1965 und 1984.

Aufgrund der schlechten Regressionsbeziehung im Dezember wurde das statistische Mittel angewendet, da die Werte grosstenteil gleich Null waren.

Tab. 3.2.1: Datenlücken in den Monatswerten.

	1949	1950	1951	1958	1988	1989	1997
Januar		X	X			X	
Februar		X	X				
März		X	X			X	
April		X	X			X	
Mai	X		X			X	
Juni			X				
Juli							
August							
September		X		X	X		X
Oktober	X	X		X	X		
November	X	X		X	X		
Dezember	X	X		X	X		

Zusätzlich werden die aufsummierten ergänzten Tageswerte mit den ergänzten Monatswerten verglichen.

3.3 Beziehung zwischen der Sonnenscheindauer und der Wolkenbedeckung

Die Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung wurde anhand der Monatswerte und der Tageswerte über eine lineare Regression im gleichen Zeitraum wie bei der Datenergänzung geprüft. Mittels der Korrelationskoeffizienten R^2 kann die Güte der Beziehung angegeben werden. Ist $R^2 = 1$, so ist die Anpassung sehr gut, dagegen bei $R^2 = 0$ ungenügend, es liegt dann keine lineare Korrelation vor.

Die Berechnung erfolgte ebenfalls mit einer Funktion in EXCEL auf der Grundlage folgender Gleichungen:

$$R^2 = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} * S_{yy}}} \quad (3.6)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (3.7)$$

Die Diagramme für die Regressionsbeziehungen der Monats- und Tageswerte der einzelnen Monate sind im Anhang Abb. 3.3.1 bis 3.3.8 dargestellt.

3.4 Variabilität der Wolkenbedeckung und maximale Sonnenscheindauer an wolkenlosen Tagen

Für die Untersuchung der Variabilität der Wolkenbedeckung wurden zum einen die Monate mit einem bestimmtem Bedeckungsgrad zusammenaddiert und zum anderen die Bedeckung für die einzelnen Jahreszeiten und für das Sommer- und Winterhalbjahr zusammengestellt. Der Zeitraum umfasst die Jahre zwischen 1949-2003. Saisonale Bedingungen könnten somit verglichen werden.

Das Sommerhalbjahr umfasst die Monate März bis August und das Winterhalbjahr die Monate September bis Februar.

Wolkenlose Tage werden durch eine Wolkenbedeckung von Null charakterisiert. Es gab während des 54jährigen Zeitraums 132 Tage die dieses Kriterium erfüllen. In Abb. 3.4.1 ist die Verteilung der wolkenlosen Tage auf die Monate dargestellt.

In den Wintermonaten Januar und Februar gibt es die meisten wolkenlosen Tage.

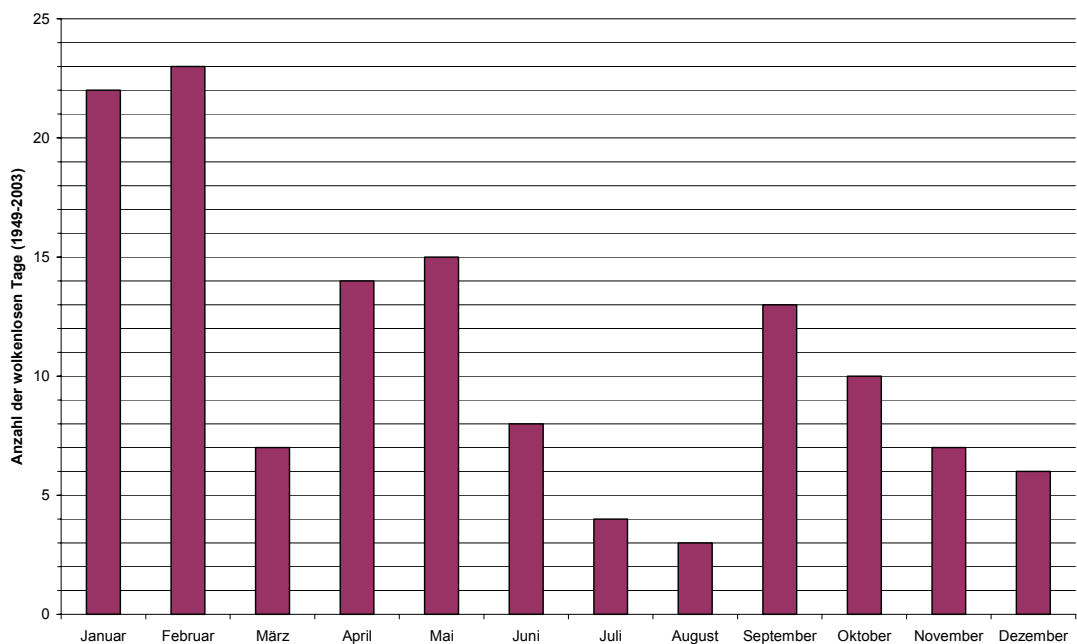


Abb. 3.4.1: Verteilung der wolkenlosen Tage auf die Monate innerhalb des Zeitraums 1949 bis 2003.

3.5 Optimales Zeitfenster für die Korrelation zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer

Um ein optimales Zeitfenster für die beste Korrelation zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer zu finden, standen drei stündlich (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 und 24 Uhr) gemessene Werte der Wolkenbedeckung und täglich gemessene Werte der Sonnenscheindauer zur Verfügung. Die Werte der Wolkenbedeckung sind als erstes in Tag- und Nachtwerte unterteilt wurden (Tab. 3.5.1).

Tab. 3.5.1: Einteilung der acht Stunden Werte in Tag- und Nachtwerte. Angabe der Uhrzeit der Messung.

	Tag	Nacht
Januar	12	3,6,9,15,18,21,24
Februar	12	3,6,9,15,18,21,24
März	12,15	3,6,9,18,21,24
April	9,12,15,18	3,6,21,24
Mai	6,9,12,15,18,21	3,24
Juni	3,6,9,12,15,18,21,24	
Juli	6,9,12,15,18,21,24	3
August	6,9,12,15,18,21	3,24
September	9,12,15,18	3,6,21,24
Oktober	9,12,15	3,6,18,21,24
November	9,12	3,6,15,18,21,24
Dezember		3,6,9,12,15,18,21,24

Anschliessend sind dann jeweils für die Tag- und Nachtwerte der Mittelwert gebildet wurden und mit der Sonnenscheindauer in ein Diagramm eingetragen wurden. Über die Regressionsbeziehung kann dann die beste Korrelation bestimmt werden. Der Zeitraum für die Korrelation geht von Januar 1965 bis Dezember 1984.

Eine weitere Vorgehensweise für die Ermittlung des optimalen Zeitfensters war die Korrelation der Wolkenbedeckung zu einer bestimmten Uhrzeit mit der Sonnenscheindauer für die einzelnen Monate. Über den Vergleich der Korrelationskoeffizienten kann wieder die Güte abgeschätzt werden.

Die Ergebnisse der beiden Methoden werden dann noch mit den Korrelationskoeffizienten der Tageswerte verglichen.

3.6 Statistische Analyse der Sonnenscheindauer

Für die statistische Analyse sollen die maximale und die mittlere Sonnenscheindauer für verschiedene Zeiträume in Beziehung gesetzt werden. Dazu wurden drei Standardperioden festgelegt, 1931-1961, 1961-1990 und 1971-2000, um die Werte auch mit anderen Klimastationen vergleichen zu können.

Für den Zeitraum 1931-1948 lagen die Tageswerte der Sonnenscheindauer nicht in den Datenbanken vor. Diese wurden dann aus den Büchern ergänzt. Die zum Teil erheblichen Lücken wurden über die Regressionsbeziehung mit der Wolkenbedeckung ausgefüllt. Es wurden ebenfalls die Regressionsbeziehungen von 1965 bis 1984 gewählt, da in einem früherem Zeitraum keine ausreichend lange und lückenlose Zeitreihe zur Verfügung stand. Die Wolkenbedeckung wurde dabei erst von Zehntel in Achtel umgerechnet.

Für die drei Perioden wurde dann anhand der Tageswerte für alle 366 Kalendertage die mittlere Sonnenscheindauer berechnet und die maximale Sonnenscheindauer herausgefiltert.

Ausserdem wurden noch für die Zeitreihen die statistischen Masszahlen berechnet.

3.7 Trendanalyse

Mittels der Trendanalyse können klimatische Beeinflussungen auf die Zeitreihe festgestellt werden. Es gibt mehrere Methoden der Trendberechnung. Im Folgenden wird aber nur auf zwei eingegangen, die Polynomiale Trendbestimmung und das "Moving Average".

Bei der Polynomialen Trendbestimmung wird über eine Polynomgleichung n-ten Grades, $y = c_n x^n + c_{n-1} x^{n-1} + \dots + c_1 x + c_0$ (3.8) [4], die beste Anpassung an den Originalgraphen bestimmt. Die Koeffizienten c_n werden über die Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, d.h. die Ausgleichskurve wird so in die Punktwolke gelegt, dass die Summe der quadrierten vertikalen Abstände zwischen den beobachteten Werten und der Ausgleichskurve minimal ist. Die einfachste Form hierbei ist der lineare Trend, wo über den Anstieg c_1 der Ausgleichgeraden, $y = c_1 x + c_0$ (3.9), die Zunahme bzw. Abnahme der Grössen erkennbar ist. Diese Form ist aber nur anwendbar wenn ein linearer Trend erkennbar ist. Ausserdem ist sie sehr anfällig auf extrem hohe und niedrige Werte und es dürfen keine zyklischen Schwankungen auftreten. Für den Fall der Sonnenscheindauer daher ungeeignet.

Bei der polynomialen Trendbestimmung gilt auch, dass mit steigendem Polynomgrad zwar die Anpassung besser wird, aber die Extrapolation und somit die Aussage über eine Prognose schlechter wird. Die Trendbestimmung erfolgte für den Zeitraum 1931-2003.

Bei der "Moving Average" Methode wird der Durchschnitt über mehrere Werte gebildet und ist somit eine Folge von arithmetrischen Mitteln.

$$y = \frac{x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-n+1}}{n} \quad (3.10) \quad n = \text{Anzahl Intervallwerte}$$

Der berechnete Wert wird dann der Mitte des untersuchten Intervalls zugeordnet. Es werden die zyklischen Schwankungen innerhalb der Zeitreihe mit berücksichtigt. Je höher die Intervallweite umso weniger werden die Anfangswerte berücksichtigt und die Trendkurve wird somit kürzer.

Es gibt auch die Möglichkeit die einzelnen Werte innerhalb des Intervall unterschiedlich zu wichten, nach dem Pascalschen Dreieck (Abb. 3.7.1).

				1				
			1		1			
		1		2		1		
	1		3		3		1	
1		4		6		4		1
....								

Abb. 3.7.1: Pascalsches Dreieck.

Die Polynomiale Trendbestimmung wurde für die mittlere und maximale Sonnenscheindauer abhängig von den einzelnen Monaten auf Tagesbasis durchgeführt. Es wurde eine Polynomgleichung 4ten Grades gewählt.

Für die Moving Average Methode wurden der Blockfilter, wo alle Werte gleich gewichtet werden, und der Dreieckfilter, wo der zentrale Wert doppelt gewichtet wird, verwendet (2. und 3. Level des Pascalschen Dreiecks). Die Bestimmung erfolgte für die gleichen Werte wie bei der polynomialen Trendbestimmung.

4. Ergebnisse

4.1 Datenergänzung

Der Vergleich der ergänzten aufsummierten Tageswerte mit den ergänzten Monatswerten (Tab. 4.1.1) ergab, dass es vor allem in den Monaten Januar, September und Oktober zu grösseren Abweichungen kommt. Grund dafür könnte die gute Korrelation bei den Monatswerten und die geringere Korrelation bei den Tageswerten bei den einzelnen Monaten sein.

Tab. 4.1.1: Ergänzte Datenlücken der Monatswerte mittels Regressionsbeziehung bestimmt und die aufsummierten ergänzten Tageswerte. Werte bei denen die Abweichung kleiner 10% ist, sind grün markiert.

Jahr	Monat	Sonnenscheindauer	Aufsummierte Sonnenscheindauer	Abweichung in %
1949	5	114,29	116,03	1,5
1949	10	47,23	48,91	3,4
1949	11	10,98	11,02	0,4
1949	12	0,00	0,00	0,0
1950	1	7,79	11,42	31,7
1950	2	30,06	29,08	3,4
1950	3	95,98	97,03	1,1
1950	4	108,77	105,94	2,7
1950	9	44,56	47,70	6,6
1950	10	32,14	35,94	10,6
1950	11	17,44	18,36	5,0
1950	12	0,00	0,00	0,0
1951	1	8,32	12,03	30,8
1951	2	26,96	25,58	5,4
1951	3	69,28	68,44	1,2
1951	4	103,77	98,27	5,6
1951	5	224,89	219,43	2,5
1951	6	263,09	255,50	3,0
1958	9	103,44	100,42	3,0
1958	10	32,14	35,62	9,8
1958	11	15,02	15,72	4,5
1958	12	0,00	0,00	0,0
1988	9	49,91	59,94	16,7
1988	10	69,87	77,18	9,5
1988	11	18,25	20,03	8,9
1988	12	0,00	0,00	0,0
1989	1	6,73	7,26	7,3
1989	3	87,08	81,71	6,6
1989	4	133,79	153,71	13,0
1989	5	137,99	157,30	12,3
1997	9	103,44	108,82	4,9

4.2 Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung

Über einen Vergleich der Korrelationskoeffizienten der einzelnen Monate (Tab. 4.2.1) wird deutlich, dass eine relativ gute Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung von März bis Oktober vorhanden ist.

Die beste Anpassung ist im Juni, da zu dieser Zeit die Sonne am höchsten steht und somit auch die Tage am längsten sind. Im Dezember ist gar keine Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung zu erkennen, da die Sonne dann nur einen Mittagsstand von ca. $0^{\circ}53'$ hat und die Sonnenscheindauer nicht messbar ist.

Tab. 4.2.1: Zusammenstellung der Korrelationskoeffizienten der Tages- und Monatswerte für die einzelnen Monate.

Korrelationsfaktoren		
Monat	Monatlich	Täglich
1	R2 = 0,44	R2 = 0,24
2	R2 = 0,51	R2 = 0,55
3	R2 = 0,85	R2 = 0,62
4	R2 = 0,82	R2 = 0,73
5	R2 = 0,84	R2 = 0,77
6	R2 = 0,88	R2 = 0,79
7	R2 = 0,72	R2 = 0,78
8	R2 = 0,67	R2 = 0,73
9	R2 = 0,84	R2 = 0,71
10	R2 = 0,77	R2 = 0,65
11	R2 = 0,49	R2 = 0,30
12	R2 = 0,00	R2 = 0,00

Der Vergleich der Korrelationswerte für die Tages- und Monatswerte ergab eine bessere Anpassung bei den Monatswerten.

4.3 Variation der Wolkenbedeckung

Abb. 4.3.2 und 4.3.3 zeigen exemplarisch, dass die monatliche Wolkenbedeckung in Akureyri zwischen 5,0 und 7,0 liegt. Dies bestätigt nochmal die Abb. 4.3.1, in der die Monate für den Zeitraum von 1949 bis 2003 in Abhängigkeit einer bestimmten Wolkenbedeckung aufsummiert und graphisch dargestellt sind.

Die Unterschiede der einzelnen Monate zueinander ist gering.

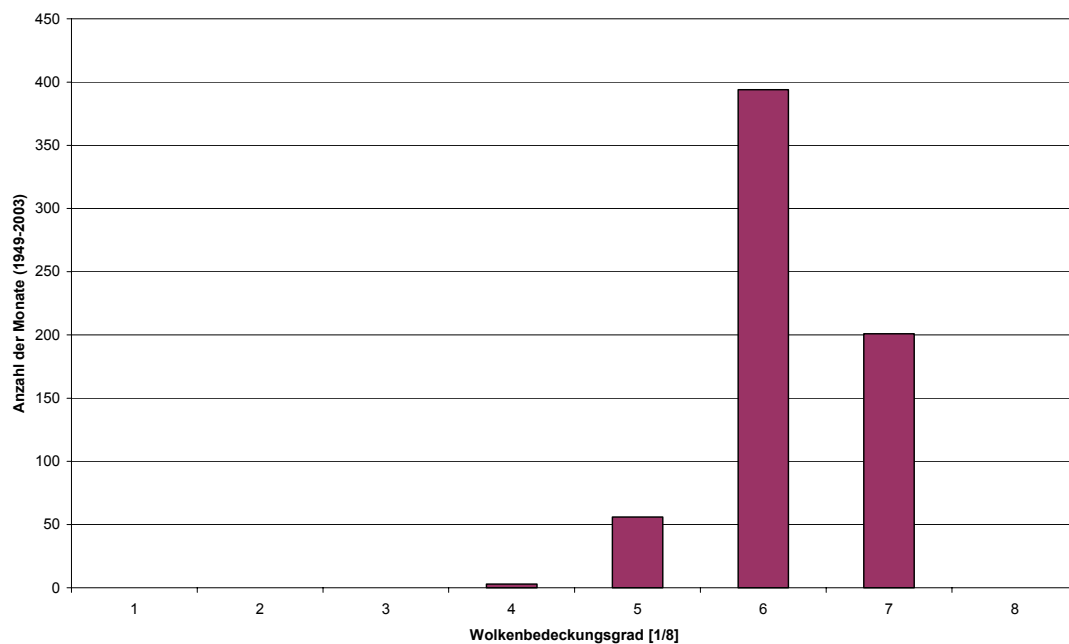


Abb. 4.3.1: Anzahl der Monate in denen eine bestimmte Wolkenbedeckung bestimmt wurde in der Periode 1949 bis 2003.

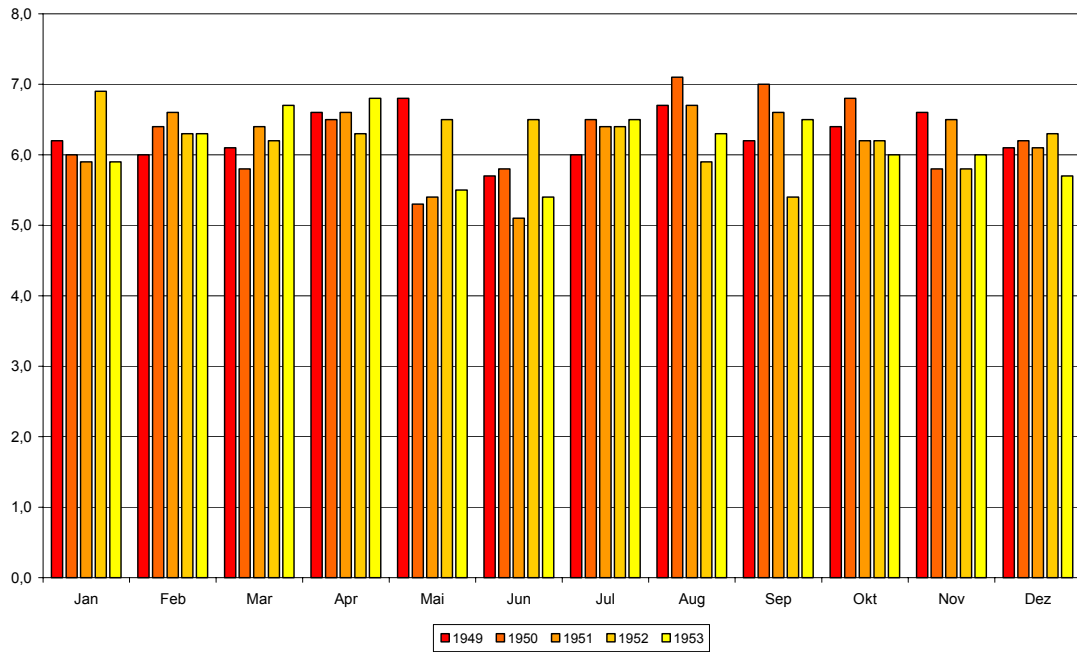


Abb. 4.3.2: Monatliche Wolkenbedeckung für die Jahre 1949 bis 1953.

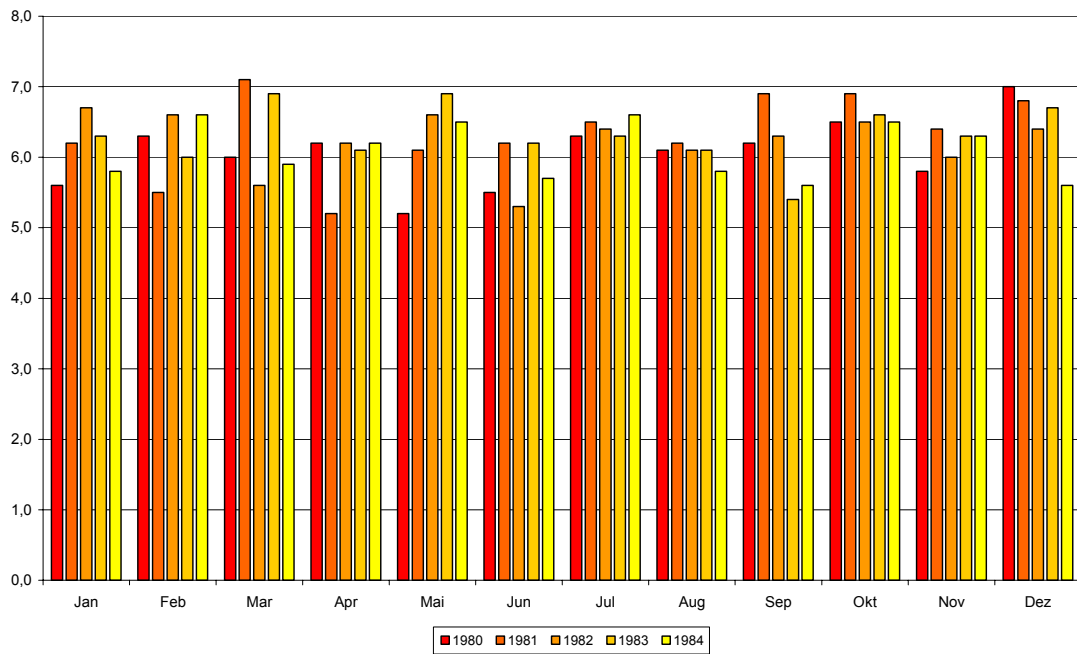


Abb. 4.3.3: Monatliche Wolkenbedeckung für die Jahre 1980 bis 1984.

Bei dieser 54jährigen Reihe ist in 57% der Fälle die Wolkenbedeckung im Winter deutlich grösser als im Sommer (Abb. 4.3.4). In den Jahren 1954, 1984 und 1985 ist aber auch zu erkennen, dass die Wolkenbedeckung im Sommer deutlich über der im Winter liegt.

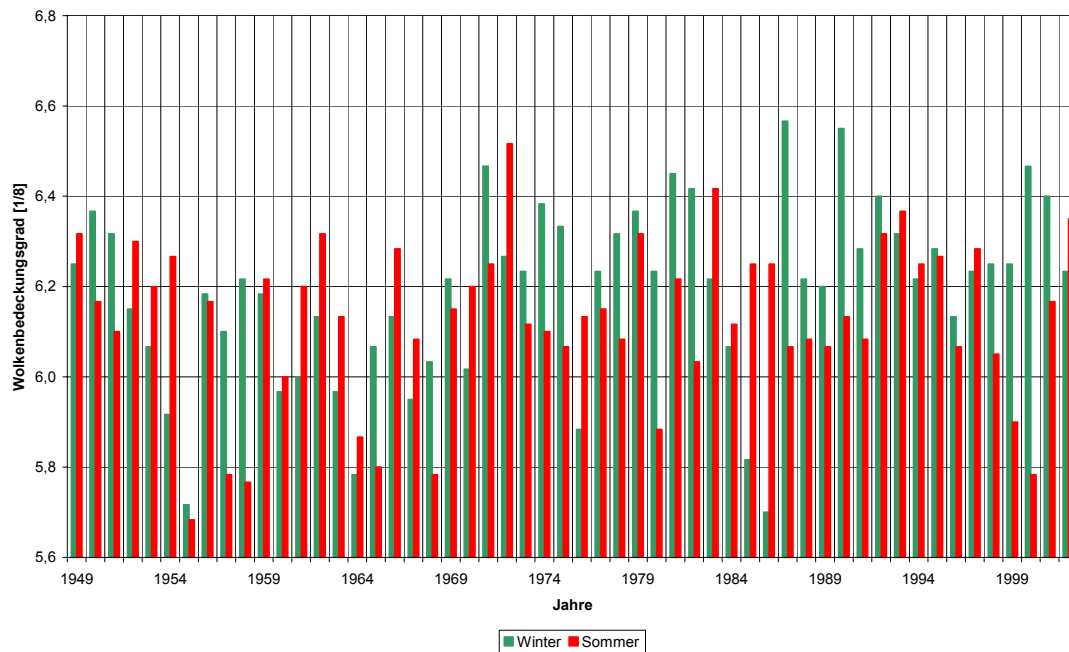


Abb. 4.3.4: Halbjährliche Variabilität der Wolkenbedeckung.

Bei dem jahreszeitlichen Vergleich ergab sich, dass die grössten Werte meistens im Sommer oder Herbst auftreten (Abb. 4.3.5 und 4.3.6 im Anhang). Mitte der 70iger Jahre und in den 90iger Jahren wurden, im Gegensatz zu den anderen Jahren, grösstenteils die höchsten Werte im Winter beobachtet.

4.4 Maximale Sonnenscheindauer an wolkenlosen Tagen

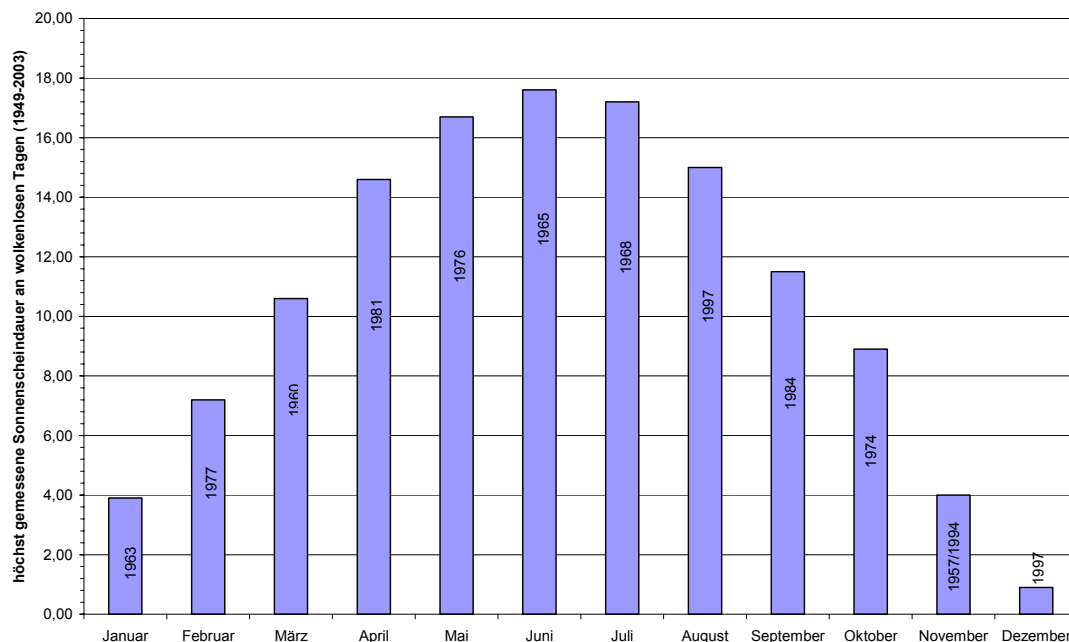


Abb. 4.4.1: Höchsten gemessenen Sonnenscheindauern an wolkenlosen Tagen in den einzelnen Monaten für den Zeitraum 1949 bis 2003 ohne Berücksichtigung der durch Regression ergänzten Werte. Die Zahlen in den Balken geben das jeweilige Jahr in dem der höchste Wert gemessen wurde an.

Der höchste tatsächlich gemessene Wert liegt bei 17,60 Stunden am 08. Juni 1965 (Abb. 4.4.1). Mit zunehmender Bewölkung wird die Sonnenstrahlung reflektiert, absorbiert oder gestreut und ist somit nicht mehr an der Erdoberfläche messbar. Das der Wert im Juni gemessen wurde hängt damit zusammen, dass zu diesem Zeitpunkt die Sonne den grössten Einfallswinkel hat und somit auch die Tage am längsten sind. Anhand der Dreiecksform ist erkennbar, dass die längsten Tage im Juni sind und dann im Herbst abnehmen bis das Minimum im Dezember erreicht ist.

Es gibt auch noch grössere Werte als 17,60 Stunden bei einer Bedeckung grösser Null. Diese Abweichung kommt durch die subjektive Betrachtung des Bedeckungsgrades und die punktuelle Messung der Sonnenscheindauer. Wenn einige Wolken am Himmel erkennbar sind, müssen diese aber nicht die ganze Zeit die Sonne verdecken.

4.5 Optimales Zeitfenster

Tab. 4.5.1: Korrelationskoeffizienten für die Mittelwerte der Tag- und Nachtwerte der Wolkenbedeckung für die einzelnen Monate.

Monat	Nacht	Tag	Tageswerte
Januar	R2 = 0,21	R2 = 0,32	0,24
Februar	R2 = 0,50	R2 = 0,61	0,55
März	R2 = 0,46	R2 = 0,76	0,62
April	R2 = 0,50	R2 = 0,79	0,73
Mai	R2 = 0,40	R2 = 0,80	0,77
Juni	R2 = 0,40	R2 = 0,76	0,79
Juli	R2 = 0,18	R2 = 0,74	0,78
August	R2 = 0,29	R2 = 0,71	0,73
September	R2 = 0,41	R2 = 0,72	0,71
Oktober	R2 = 0,42	R2 = 0,69	0,65
November	R2 = 0,24	R2 = 0,28	0,30
Dezember	R2 = 0,01	---	0,00

In den Monaten Januar, Februar, März, April, Mai, September und Oktober verbessert sich die Beziehung, wenn die Sonnenscheindauer nur mit dem Mittelwert der am Tag gemessenen Werte der Wolkenbedeckung korreliert wird (Tab. 4.5.1). Die dazugehörigen Regressionsgeraden sind im Anhang unter Abb. 4.5.1-4.5.4 dargestellt.

Tab. 4.5.2: Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit des Monats und der Uhrzeit der Wolkenbedeckungsbeobachtung.

	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	Tageswerte
Januar	0,15	0,10	0,15	0,32	0,26	0,15	0,10	0,07	0,24
Februar	0,26	0,23	0,41	0,61	0,59	0,33	0,24	0,18	0,55
März	0,31	0,14	0,42	0,65	0,70	0,44	0,27	0,15	0,62
April	0,37	0,32	0,51	0,64	0,69	0,57	0,39	0,26	0,73
Mai	0,45	0,41	0,54	0,65	0,65	0,58	0,43	0,27	0,77
Juni	0,54	0,40	0,53	0,62	0,62	0,57	0,49	0,29	0,79
Juli	0,44	0,34	0,50	0,63	0,62	0,58	0,45	0,29	0,78
August	0,40	0,26	0,44	0,62	0,63	0,57	0,38	0,26	0,73
September	0,44	0,27	0,49	0,67	0,69	0,55	0,40	0,30	0,71
Oktober	0,35	0,18	0,44	0,71	0,67	0,47	0,36	0,29	0,65
November	0,14	0,07	0,17	0,31	0,34	0,22	0,12	0,10	0,30
Dezember	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00

In Tabelle 4.5.2 ist ersichtlich, dass das optimalste Zeitfenster für die Korrelation zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung in den Nachmittagsstunden zwischen 12 und 15 Uhr liegt. Zu dieser Zeit sind die Korrelationskoeffizienten am grössten (blaue Markierung). Es ist ebenfalls erkennbar, dass die Werte in den Sommer- und Herbstmonaten geringer sind als die Koeffizienten der Tageswerte.

4.6 Statistische Analyse

In Tab. 4.6.1 im Anhang sind die statistischen Masszahlen für die Perioden 1931-1960, 1961-1990 und 1971-2000, unterteilt in die einzelnen Monate, zusammengefasst. n ist dabei die Anzahl der Werte, s^2 die Varianz und s die Standardabweichung. L - und $L+$ geben das Konfidenzintervall an, d. h. das mit einer 99%igen Wahrscheinlichkeit die Werte in diesem Intervall liegen.

In den Abbildungen 4.6.1 - 4.6.3 sind die mittlere und die maximale Sonnenscheindauer für die verschiedenen Perioden dargestellt. In den Abb. 4.6.4 - 4.6.6 im Anhang ist dann noch der prozentuale Anteil der mittleren Sonnenscheindauer an der maximal möglichen dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass im Mittel in den Sommermonaten nur ungefähr 30-40% und in den Wintermonaten nur 5-20% der maximal möglichen Sonnenscheindauer erreicht wird. Grund dafür ist die ganzjährig relativ hohe Wolkenbedeckung. In den Wintermonaten gehen die Werte sogar bis null herunter, da an manchen Tagen kein Sonnenschein gemessen wurde.

Die Werte der Periode 1931 - 1960 sind zum grössten Teil durch Regressionsbeziehung ergänzt wurden, so dass die Kurven einige Unregelmässigkeiten aufweisen, wie z.B. die extremen Spitzen nach oben bei der Maximumkurve. Die Anpassung der Regressionsgerade im Juni liegt nur bei $R^2 = 0,79$, was zu einer Überschätzung der Werte führen kann. Dieser Wert kann daher als nicht repräsentativ angesehen werden.

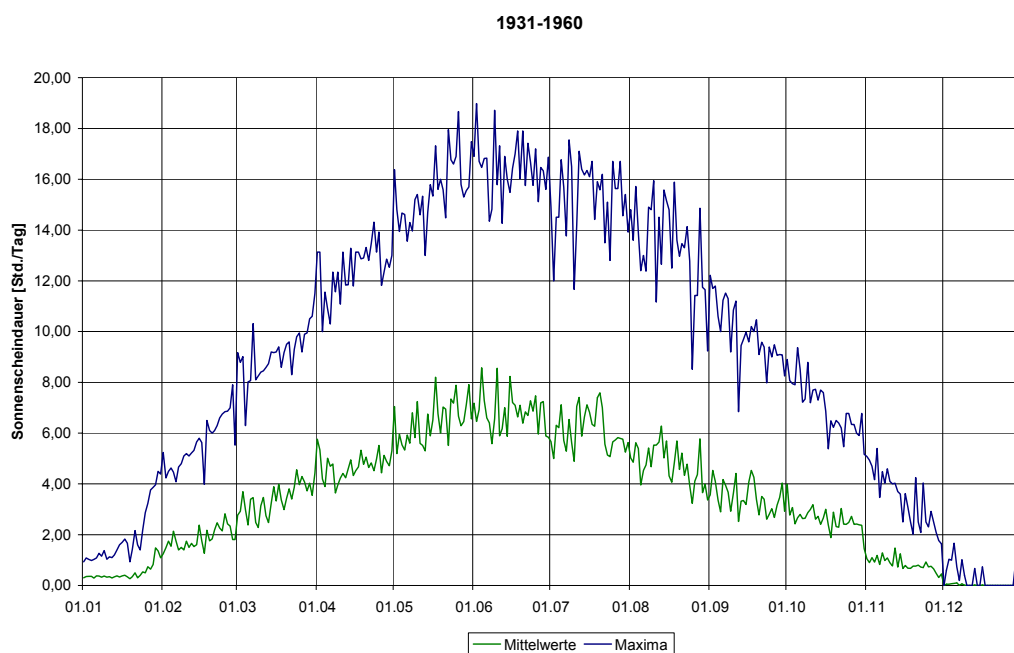


Abb. 4.6.1: Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Periode 1931 bis 1960 der einzelnen Kalendertage.

Bei den Kurven von 1961-1990 und 1971-2000 ist zu erkennen das Ende Juni die Maxima für die Jahreszeit ziemlich geringe Werte aufweisen. Grund dafür könnte eine Beschattung des Gerätes zu dieser Zeit sein.

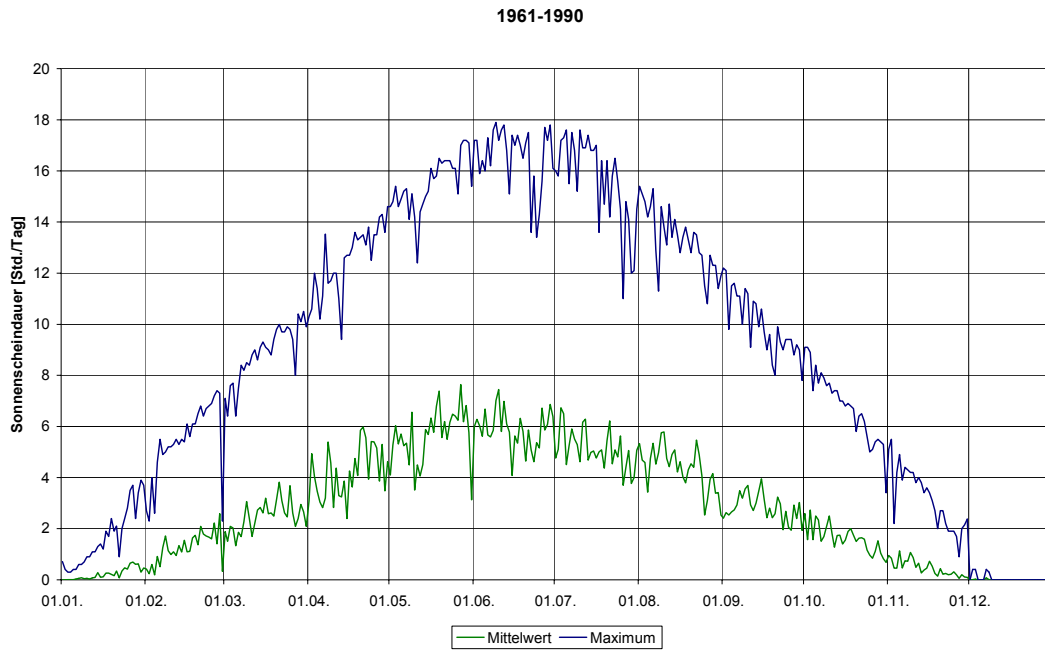


Abb. 4.6.2: Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Periode 1961 bis 1990 der einzelnen Kalendertage.

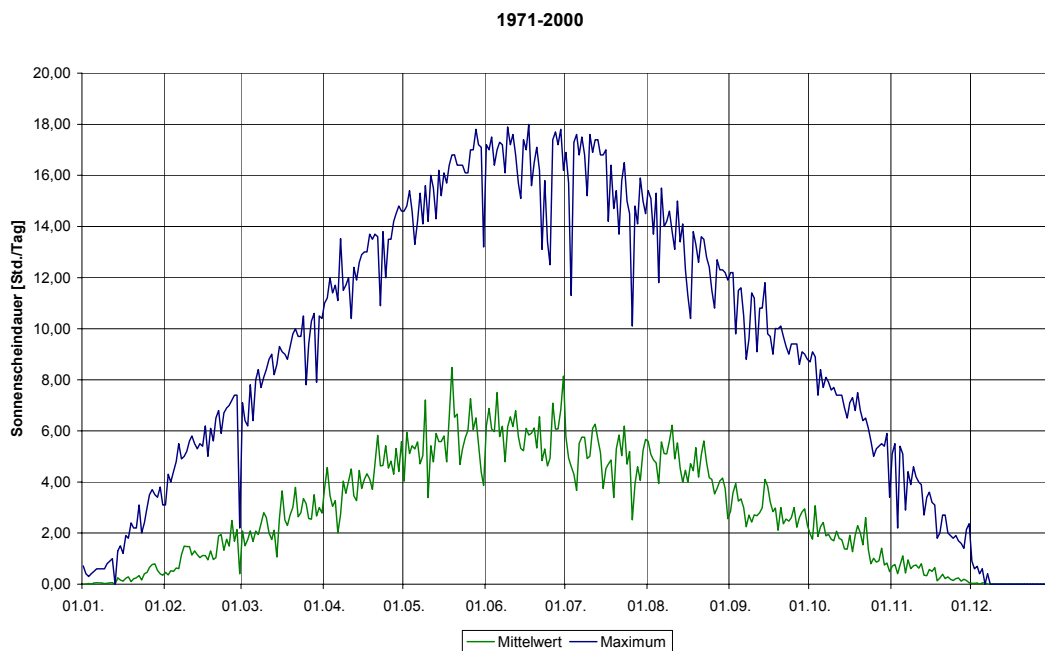


Abb. 4.6.3: Mittlere und maximale Sonnenscheindauer für die Periode 1971 bis 2000 der einzelnen Kalendertage.

4.7 Trendanalyse

Die Trendlinien wurden mittels der in EXCEL vorhandenen Funktionen oder über eine manuelle Berechnung ermittelt und sind für die Maximalwerte der Sonnenscheindauer in den Abb. 4.7.2–4.7.6 und für die mittlere Sonnenscheindauer in den Abb. 4.7.7–4.7.11 im Anhang dargestellt. Die roten Linien kennzeichnen die Jahre der Stationsverlegungen.

Allgemein kann gesagt werden, dass bei der polynomialen Trendbestimmung die Kurve stärker geglättet wird. Die Graphen der einzelnen Monate bei der maximalen Sonnenscheindauer weisen unterschiedliche jährliche Schwankungen auf, aber sind über den gesamten Zeitraum betrachtet ausgeglichen. Es ist keine Tendenz der Ab- oder Zunahme der Sonnenscheindauer erkennbar.

Bei den beiden Filtern der Moving Average Methode sind bei den Maximalwerten der Sonnenscheindauer kaum Unterschiede erkennbar. Es treten ebenfalls jährliche Schwankungen auf, die allerdings eine höhere zeitliche Auflösung besitzen.

Bei den Mittelwerten ist in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein leicht abfallender Trend zu erkennen, was aber eine Folge der nötigen Ergänzung der vielen Lücken über die Regressionsbeziehungen sein kann, wobei die Werte zu hoch berechnet sein können. Ein Sprung in der Kurve in der Zeit von 1945-1950 ist bei den "Moving Average" Methoden zu erkennen. Der kann mit den Stationsverlegungen in den Jahren 1946 und 1951 begründet werden. Die Stationsverlegung im Jahr 1990 hat keinen ersichtliche Einfluss auf das Trendverhalten der Zeitreihen.

Auf den mittleren Jahresgang der mittleren und maximalen Sonnenscheindauer dagegen schon. Vor allem bei den Maximalwerten weist die Kurve für den Zeitraum 1990 - 2003 mehr Schwankungen auf und ist nicht so ausgeglichen wie die Kurve für den Zeitraum 1951-1990 (Abb. 4.7.1 im Anhang). Das lässt die Frage offen, warum eine Stationsverlegung stattgefunden hat, da es bei der Kurve von 1990 bis 2003 immerwieder zur Beeinflussung der Sonnenscheinmessung kommt.

5. Auswertung

Die allgemein schlechten Korrelationen lassen sich darauf zurückführen, dass die Wolkenbedeckung durch eine Person beobachtet wird und die Sonnenscheindauer nur punktuell durch den Sonnenscheinautographen erfasst wird. Die sehr subjektive Beobachtung der Wolkenbedeckung bezieht sich auf den ganzen Halbraum. Wenn somit eine Bedeckung von 6/8 festgestellt wurde, kann der Sonnenscheinautograph für eine längere Zeit im unbewölkten Bereich gemessen haben. Deshalb kommt bei einer relativ hohen Wolkenbedeckung auch eine relativ hohe Sonnenscheindauer zustande. Es kann aber auch nur eine geringe Sonnenscheindauer gemessen werden, wenn das Gerät im bewölkten Bereich steht. Das ist der Grund, warum eine so hohe Spannweite der Werte ermittelt wurde und somit auch die Korrelationskoeffizienten so niedrig sind. Ein bessere Methode zur Ermittlung der fehlenden Sonnenscheindauern wäre die Korrelation mit anderen Stationen. Aufgrund der grossen Heterogenität der Landschaft Islands und der geringen Anzahl an Stationen ist es aber sehr schwierig eine geeignete Referenzstation zu finden. Die Fehler die bei dieser Methode auftreten, wären dann vermutlich grösser als bei der hier angewendeten Methode.

In den Wintermonaten ist die Messung der Sonnenscheindauer aufgrund des niedrigen Sonnestandess stark fehlerbehaftet, da die Messungen erst bei einem Sonnenstand von grösser als 5° über dem Horizont als zuverlässig gilt. Berge können dies noch verstärken. Weitere Fehlerquellen bei der Bestimmung der Sonnenscheindauer kann die Überschattung des Gerätes sein, die Ausdehnung des Registrierstreifens bei höher Luftfeuchtigkeit und die Verschmutzung der Glaskugel. Nach Standardisierung des Gerätes und der Registrierstreifen durch die WMO (World Meteorological Organisation) liegt die Unsicherheit bei 0,1 Stunde [1].

Bei der Trendbestimmung für den Zeitraum 1931 bis 1960 wurden aufgrund der erheblichen Lücken sehr viele Werte über die Regressionsbeziehung für den Zeitraum 1965 bis 1984 ergänzt, da in einem früheren Zeitraum die Datenreihen nicht über längere Zeit vollständig vorlagen. Und da die Korrelationen auch nicht überragend gut waren, kann dies zu einer leichten Verfälschung der Werte führen. Aus diesem Grund sind diese Werte für eine genauere Trendabschätzungen nicht repräsentativ.

Über den Zeitraum 1931 bis 2003 ist kein Ansteigen oder Abfallen der Werte zu erkennen, lediglich nur eine sich ausgleichende Schwankung der Werte.

V Anhang

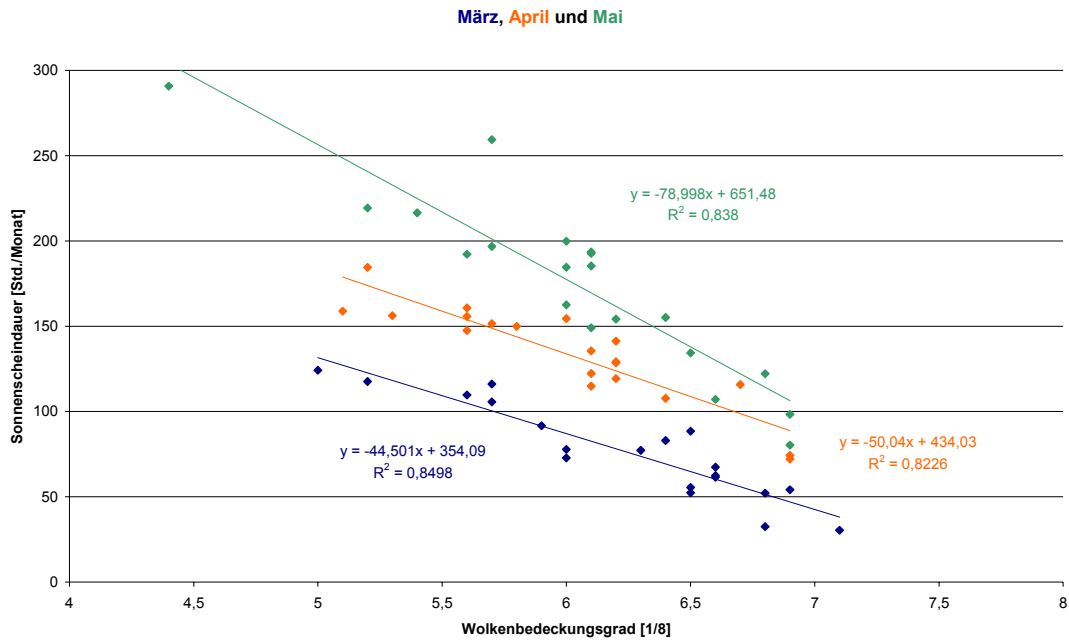


Abb. 3.3.1: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Frühjahrsmonate auf Basis der Monatswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

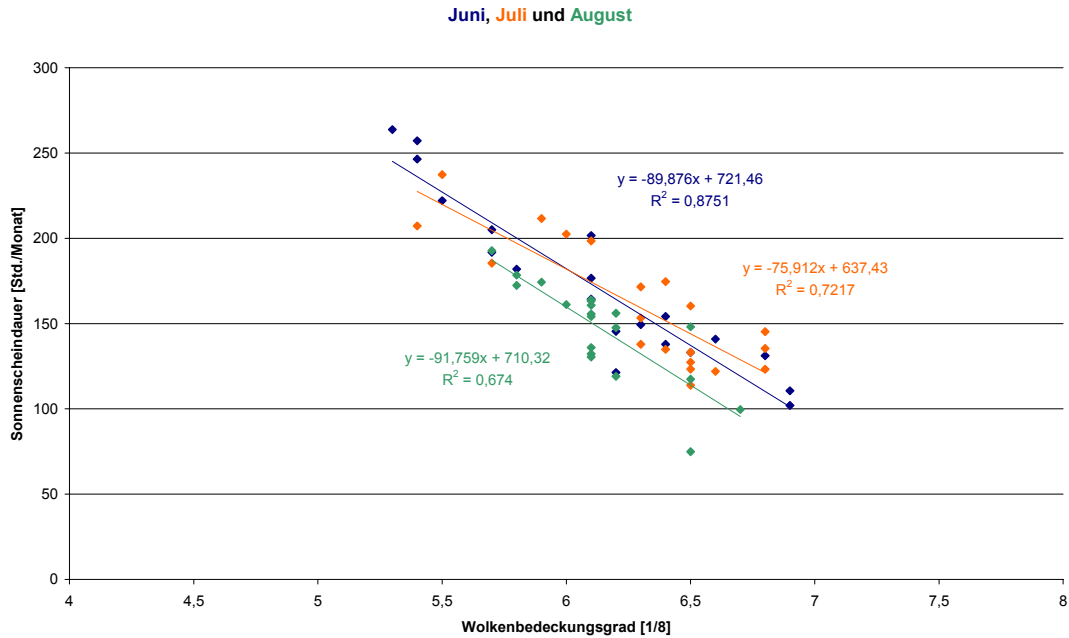


Abb. 3.3.2: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Sommermonate auf Basis der Monatswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

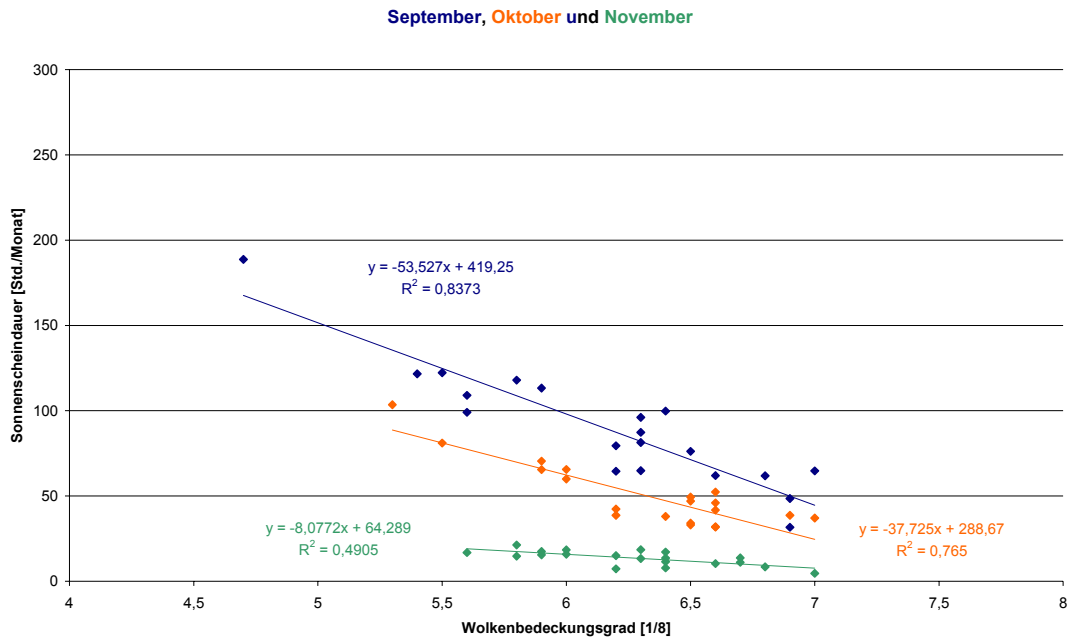


Abb. 3.3.3: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Herbstmonate auf Basis der Monatswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

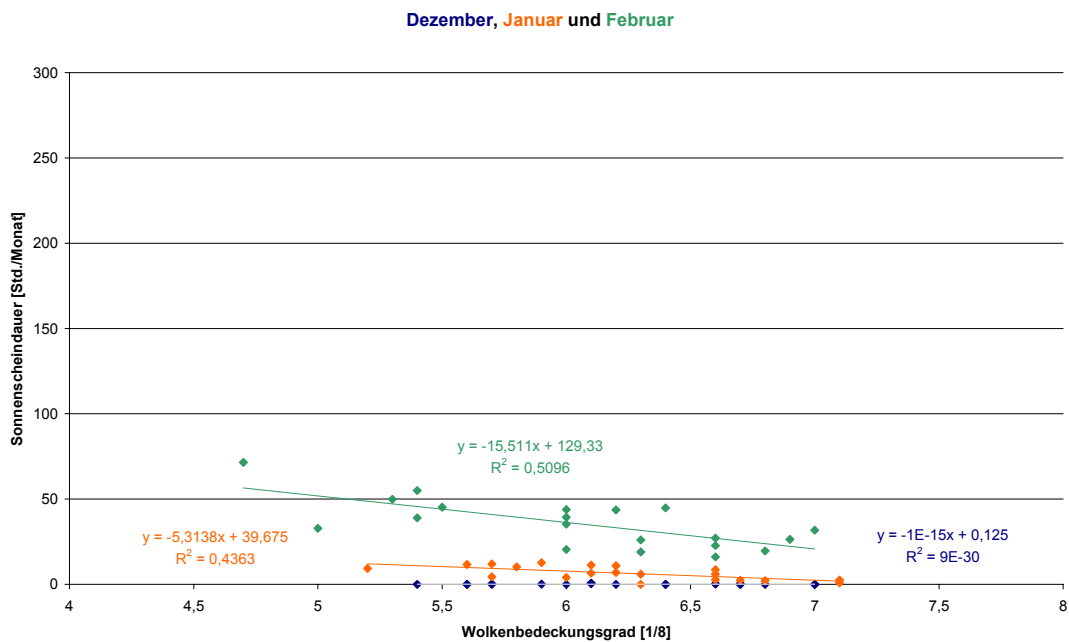


Abb. 3.3.4: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Sommermonate auf Basis der Monatswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

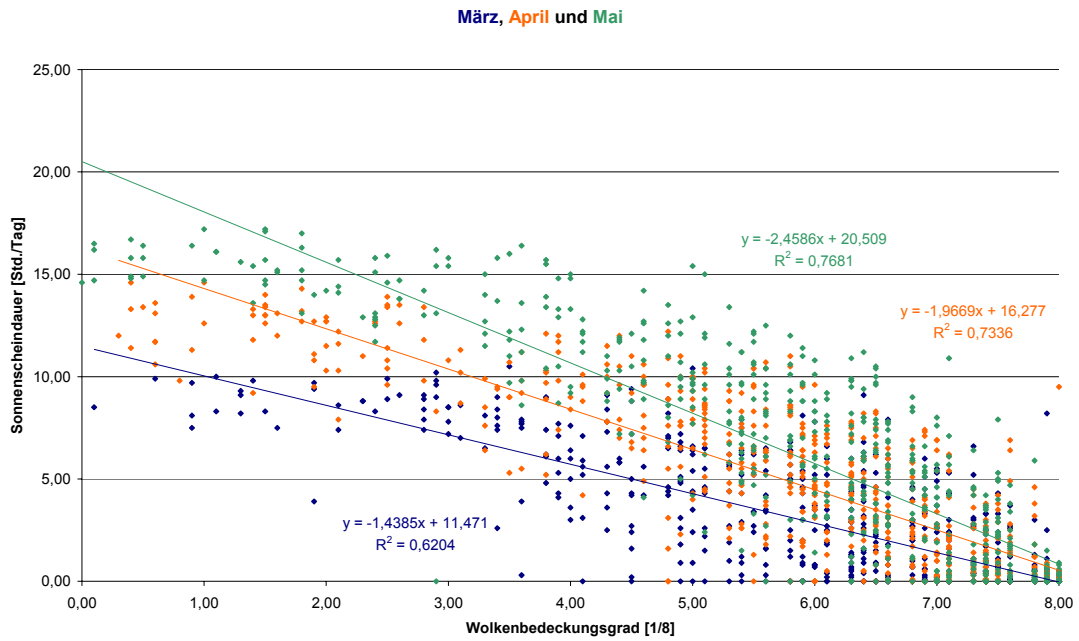


Abb. 3.3.5: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Frühjahrsmonate auf Basis der Tageswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

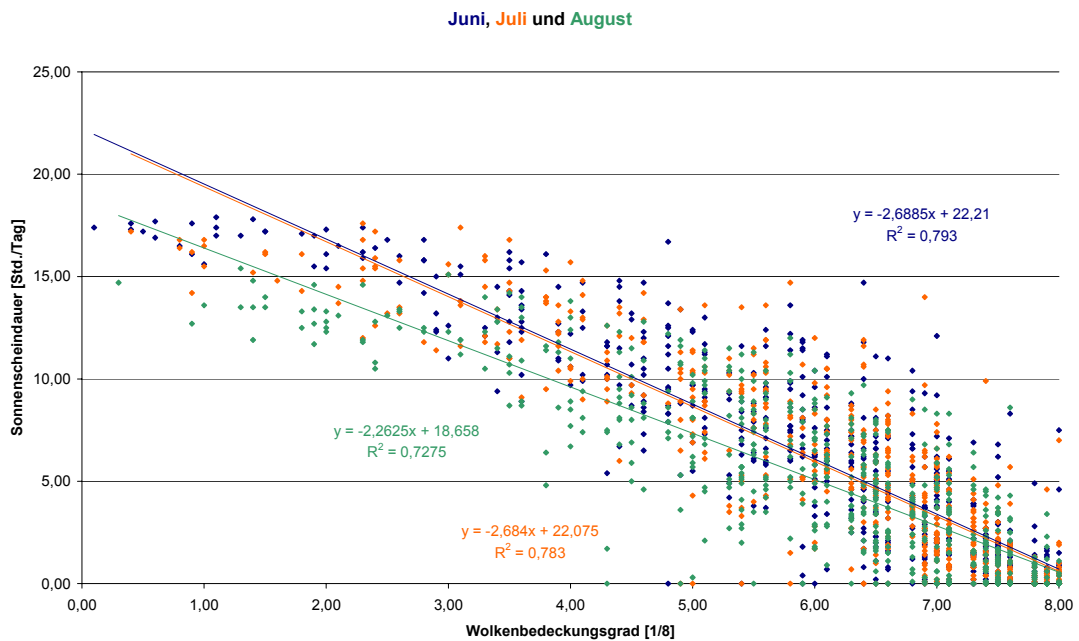


Abb. 3.3.6: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Sommermonate auf Basis der Tageswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

September, Oktober and November

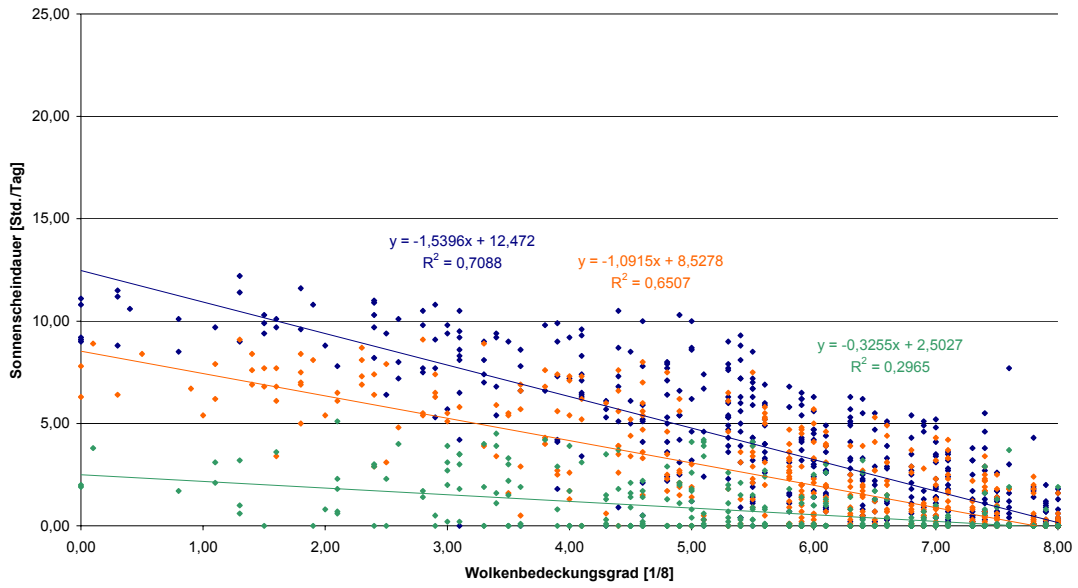


Abb. 3.3.7: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Herbstmonate auf Basis der Tageswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

Dezember, Januar und Februar

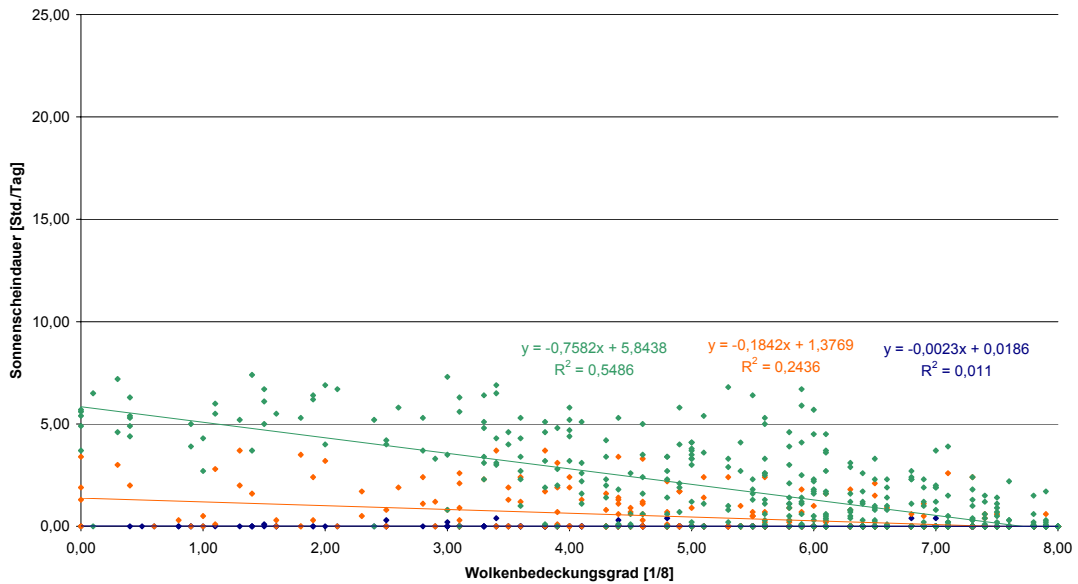


Abb. 3.3.8: Regressionsgeraden und –gleichungen für die Herbstmonate auf Basis der Tageswerte von Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung.

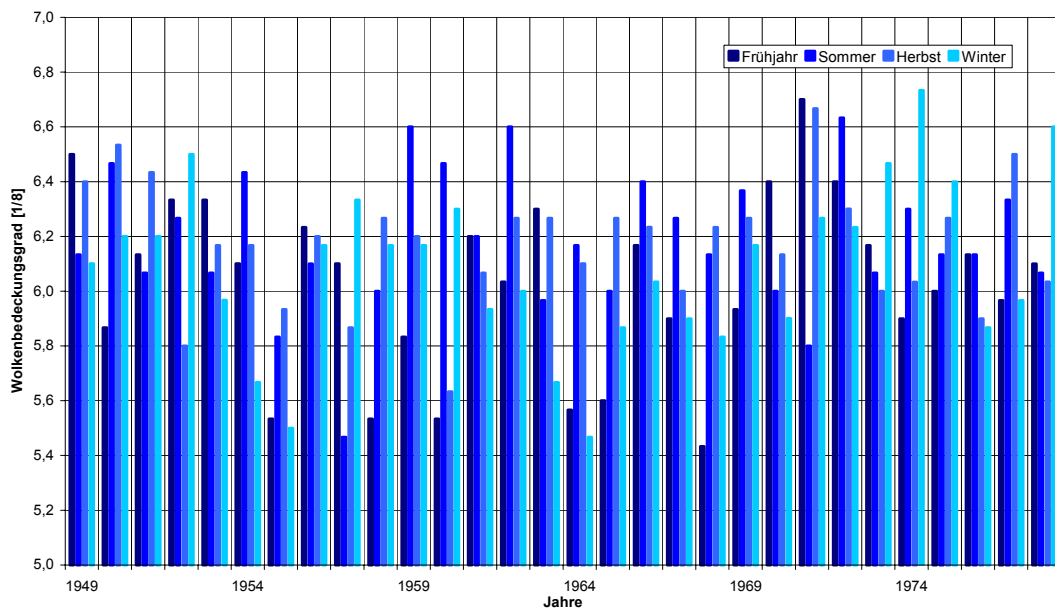


Abb.4.3.5: Wolkenbedeckung in Abhängigkeit der Jahreszeit für die Jahre 1949 bis 1978.

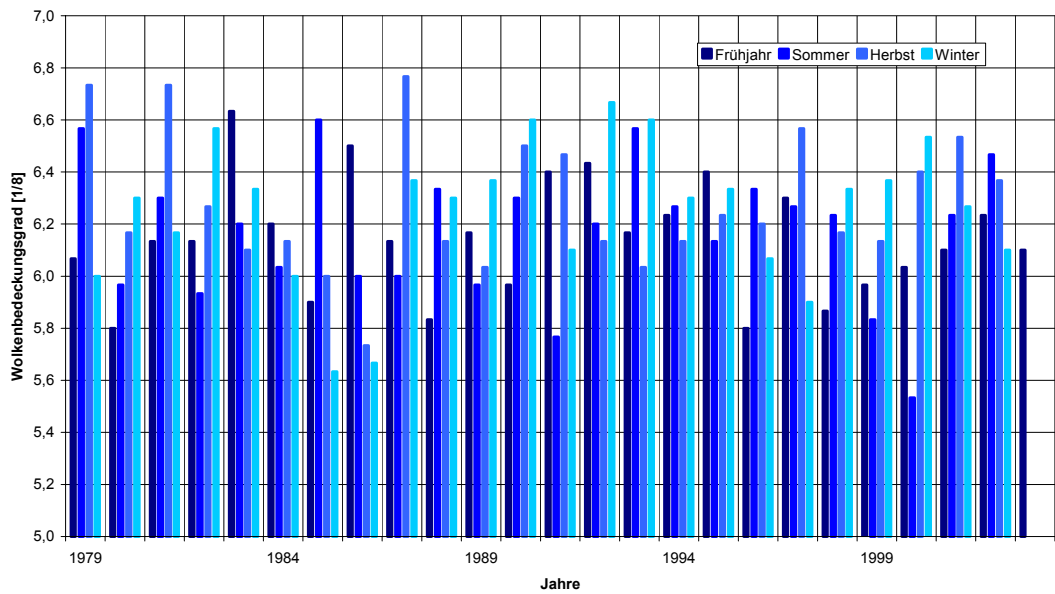


Abb. 4.3.6: Wolkenbedeckung in Abhängigkeit der Jahreszeit für die Jahre 1979 bis 2003.

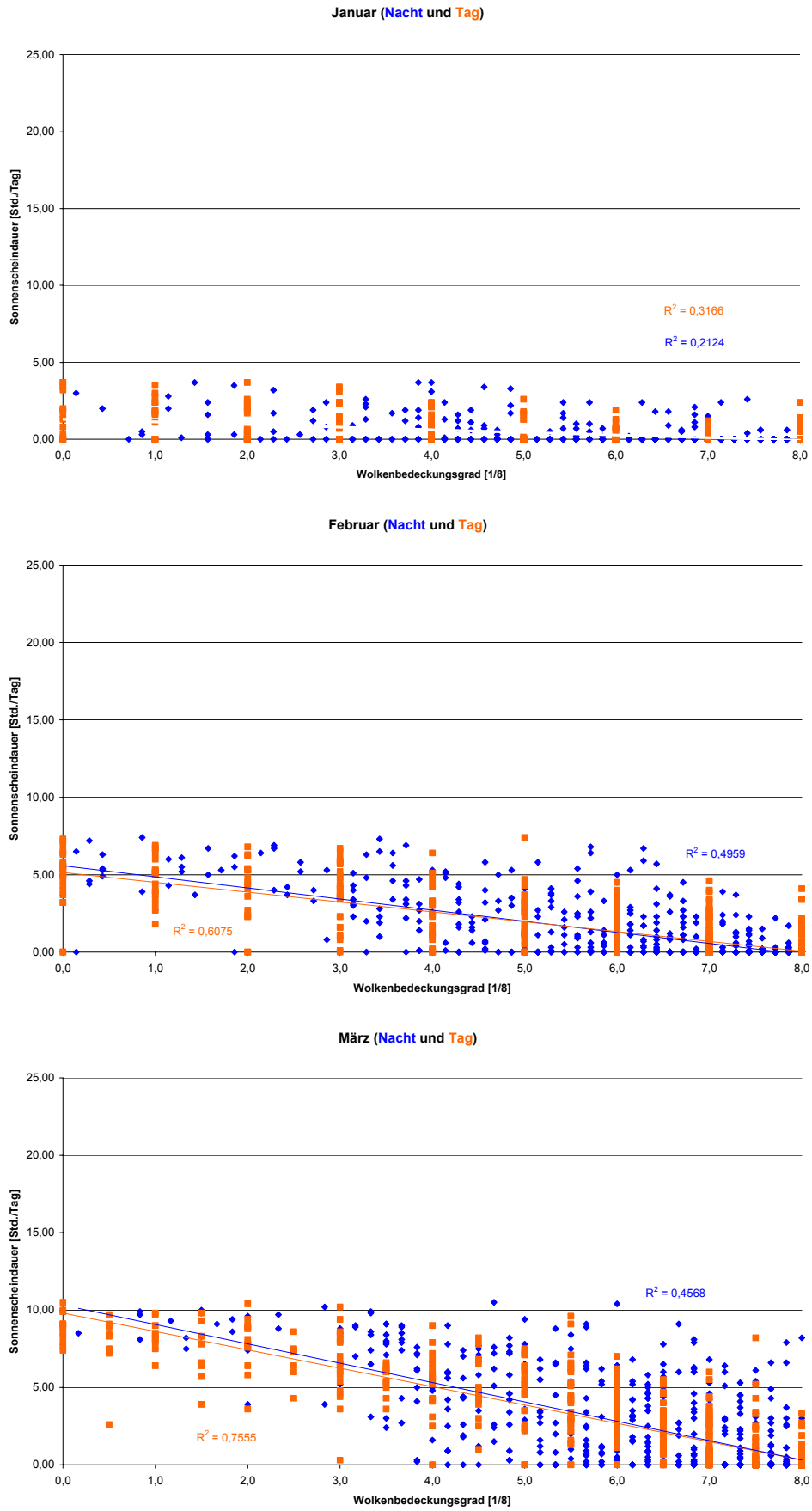


Abb. 4.5.1: Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate Januar, Februar und März.

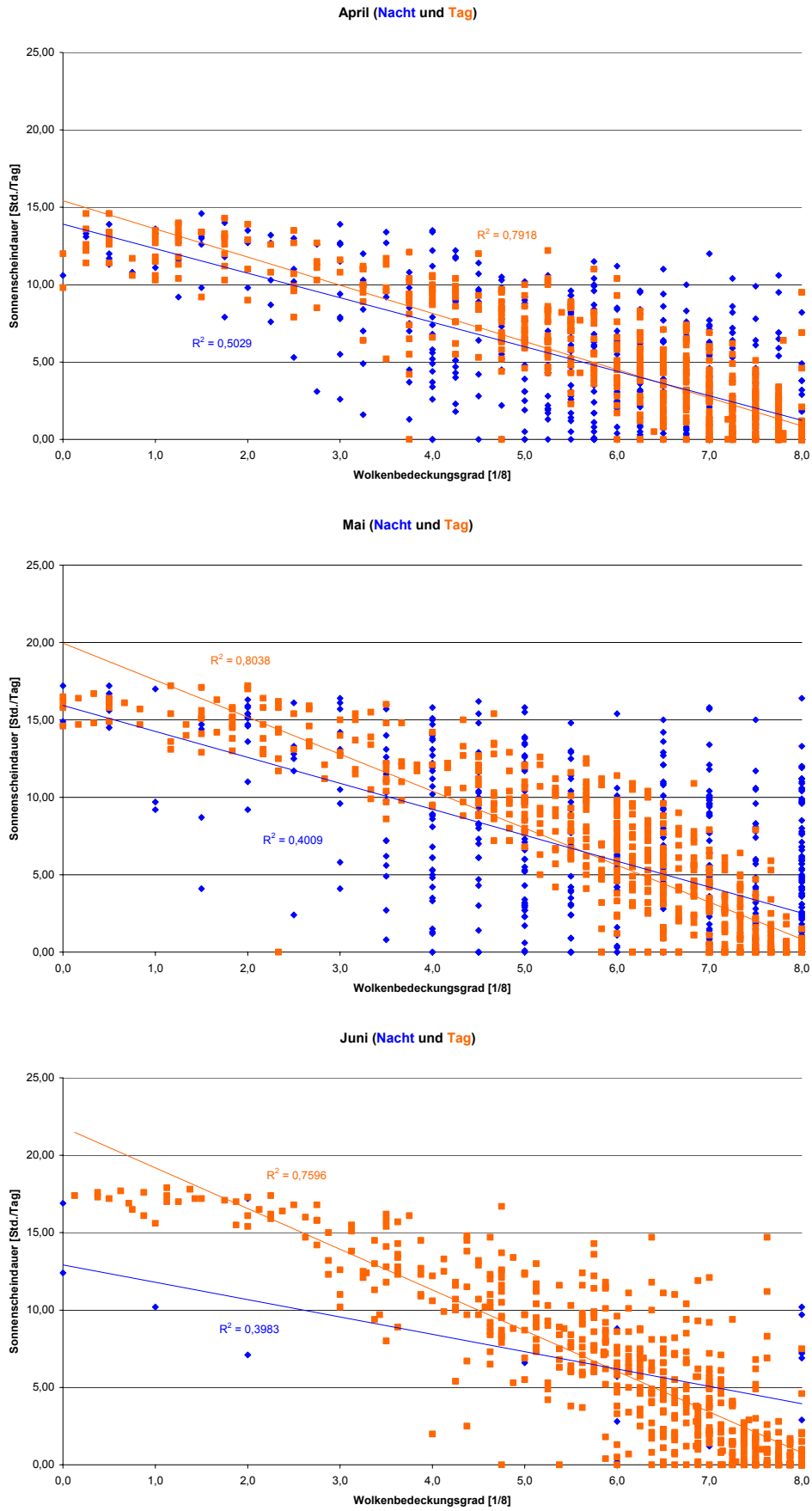


Abb. 4.5.2: Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate April, Mai und Juni.

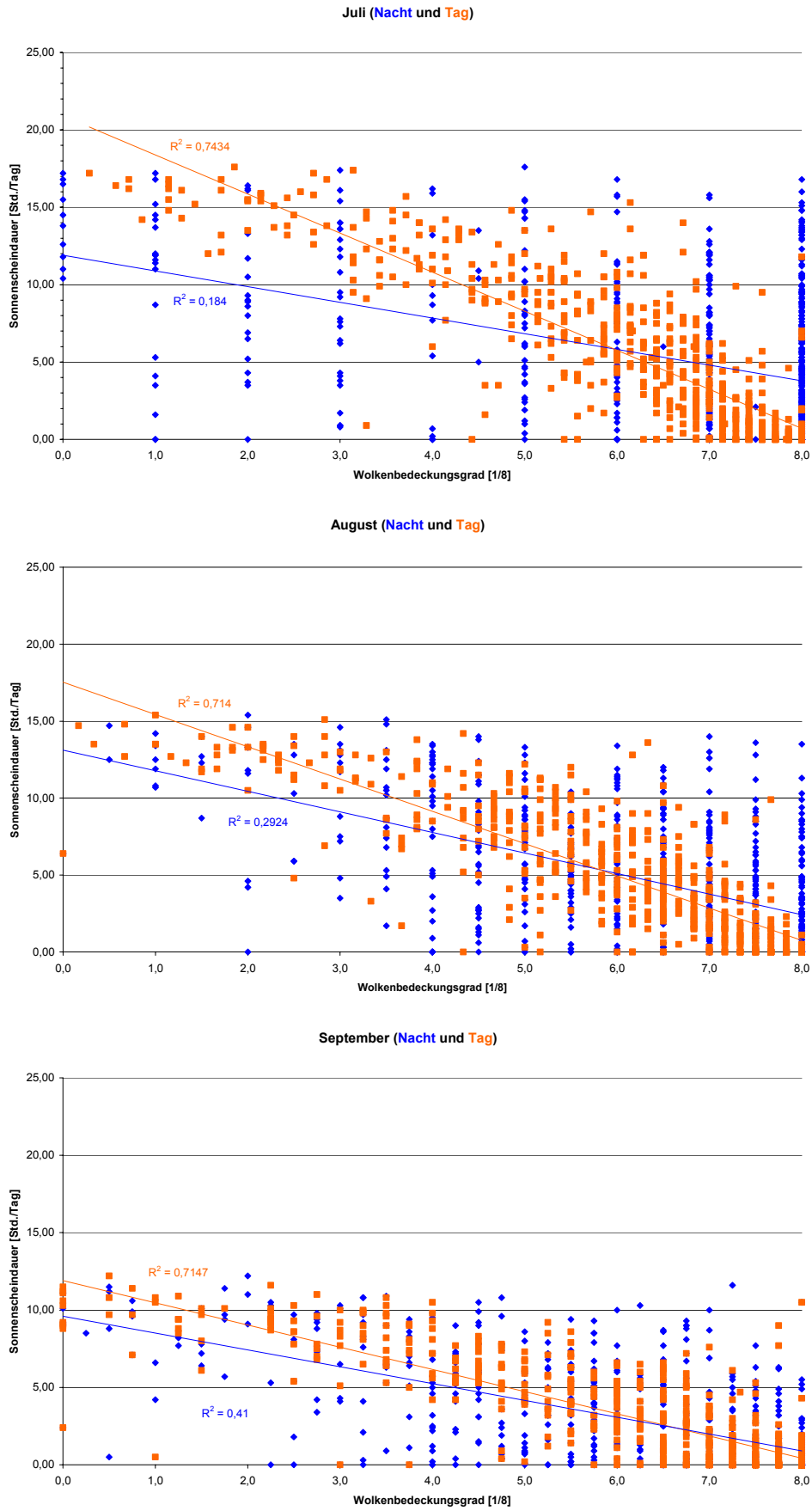


Abb. 4.5.3: Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate Juli, August und September.

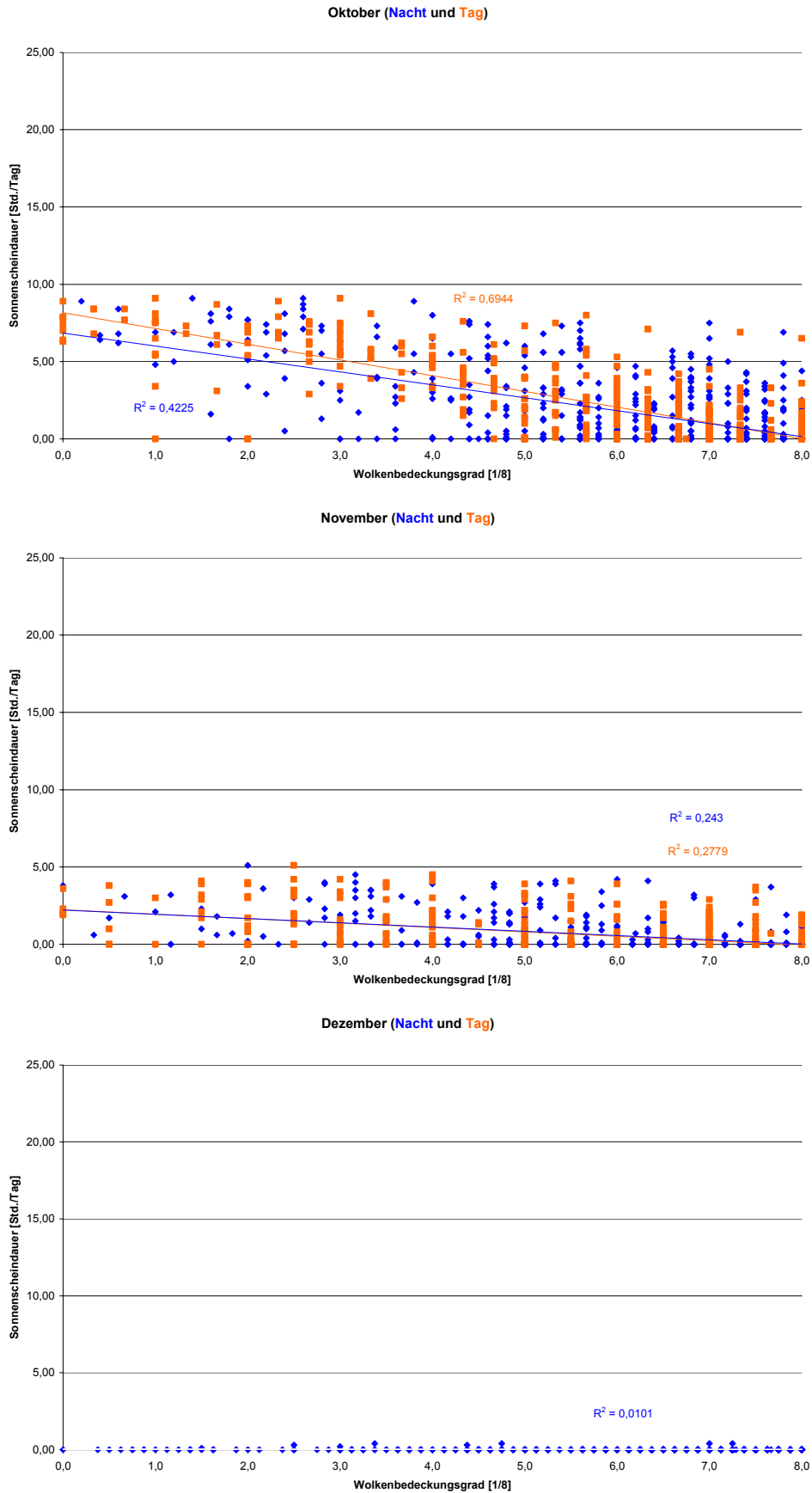


Abb. 4.5.4: Regressionsbeziehung zwischen Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer für die Tag- und Nachtmittelwerte der Wolkenbedeckung für die Monate Oktober, November und Dezember.

Tab. 4.6.1-4.6.3: Statistische Masszahlen für die einzelnen Perioden.

	<i>Jan</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Aug</i>	<i>Sep</i>	<i>Okt</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
1931-1960												
<i>n</i>	930	840	930	900	930	900	930	930	900	930	900	930
<i>Mittel</i>	0,49	1,85	3,43	4,71	6,45	6,83	6,11	4,78	3,48	2,62	0,84	0,03
<i>Max.</i>	4,49	7,90	11,50	14,86	18,67	17,42	17,55	15,94	12,22	9,37	5,40	1,67
<i>Min.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>s</i> ²	0,49	3,34	7,86	14,48	22,29	26,48	21,05	16,62	8,88	4,71	0,88	0,02
<i>s</i>	0,70	1,83	2,80	3,81	4,72	5,15	4,59	4,08	2,98	2,17	0,94	0,14
<i>L-</i>	0,43	1,67	3,16	4,34	6,00	6,34	5,67	4,39	3,19	2,42	0,75	0,02
<i>L+</i>	0,56	2,04	3,69	5,08	6,90	7,33	6,54	5,17	3,77	2,83	0,94	0,04
1961-1990												
<i>n</i>	930	840	930	900	930	900	930	930	900	930	900	930
<i>Mittel</i>	0,22	1,29	2,48	4,35	5,63	5,89	5,11	4,38	2,86	1,68	0,48	0,00
<i>Max.</i>	3,90	7,40	10,50	14,60	17,20	17,90	17,60	15,40	12,20	9,10	5,50	0,40
<i>Min.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>s</i> ²	0,38	3,65	8,42	17,61	26,99	27,54	24,19	17,48	10,39	5,22	1,00	0,00
<i>s</i>	0,62	1,91	2,90	4,20	5,19	5,25	4,92	4,18	3,22	2,29	1,00	0,03
<i>L-</i>	0,16	1,10	2,20	3,95	5,13	5,38	4,64	3,98	2,55	1,46	0,38	0,00
<i>L+</i>	0,28	1,48	2,76	4,76	6,12	6,40	5,57	4,77	3,17	1,89	0,57	0,01
1971-2000												
<i>n</i>	930	840	930	900	930	900	930	930	900	930	900	930
<i>Mittel</i>	0,22	1,24	2,53	4,30	5,58	6,03	4,93	4,63	2,94	1,68	0,47	0,01
<i>Max.</i>	3,80	7,40	10,60	14,80	17,80	18,00	17,60	15,50	12,20	9,10	5,50	0,90
<i>Min.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>s</i> ²	0,39	3,48	8,47	17,08	25,71	28,71	23,61	17,53	11,05	5,41	0,98	0,00
<i>s</i>	0,62	1,87	2,91	4,13	5,07	5,36	4,86	4,19	3,32	2,33	0,99	0,06
<i>L-</i>	0,16	1,05	2,25	3,91	5,10	5,52	4,47	4,23	2,62	1,46	0,37	0,00
<i>L+</i>	0,28	1,42	2,81	4,70	6,06	6,55	5,39	5,02	3,26	1,90	0,56	0,01

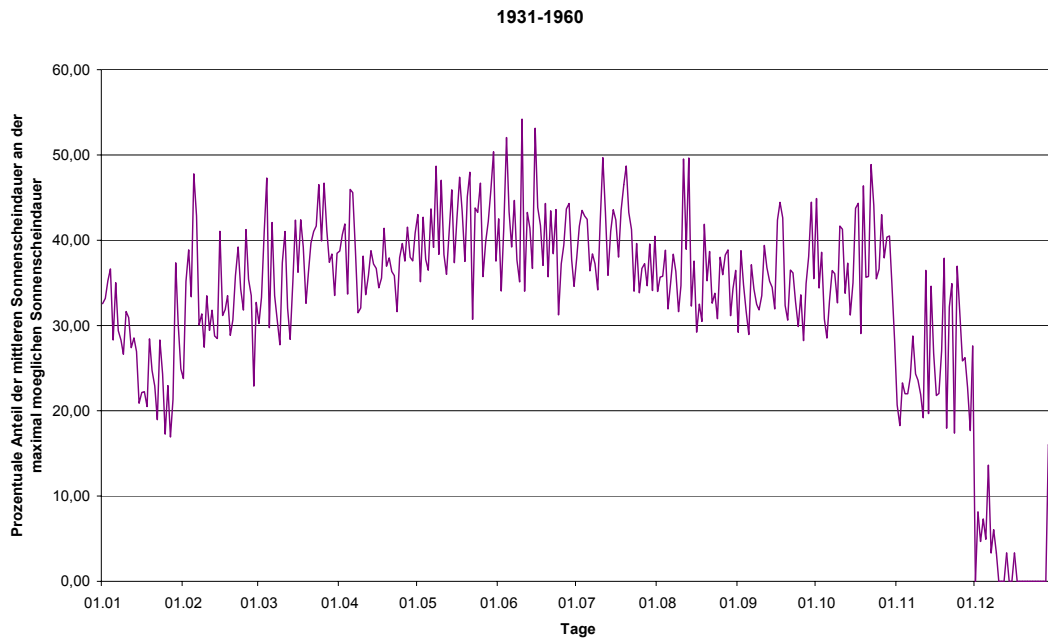


Abb. 4.6.4: Prozentualer Anteil der mittleren Sonnenscheindauer an der maximal möglichen Sonnenscheindauer für die einzelnen Kalendertage der Periode 1931–1960.

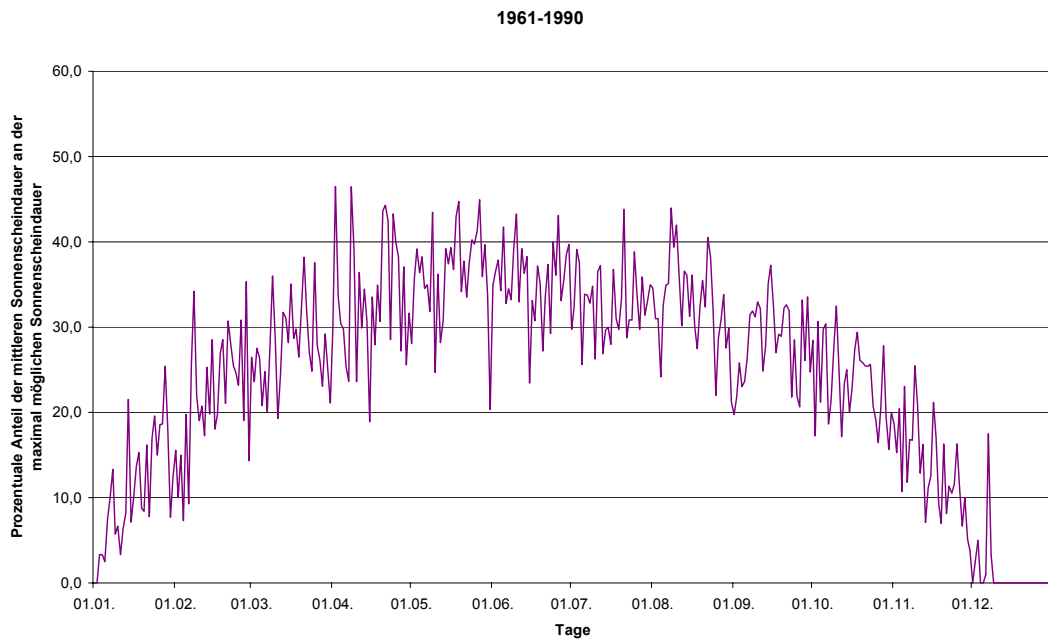


Abb. 4.6.5: Prozentualer Anteil der mittleren Sonnenscheindauer an der maximal möglichen Sonnenscheindauer für die einzelnen Kalendertage der Periode 1961-1990.

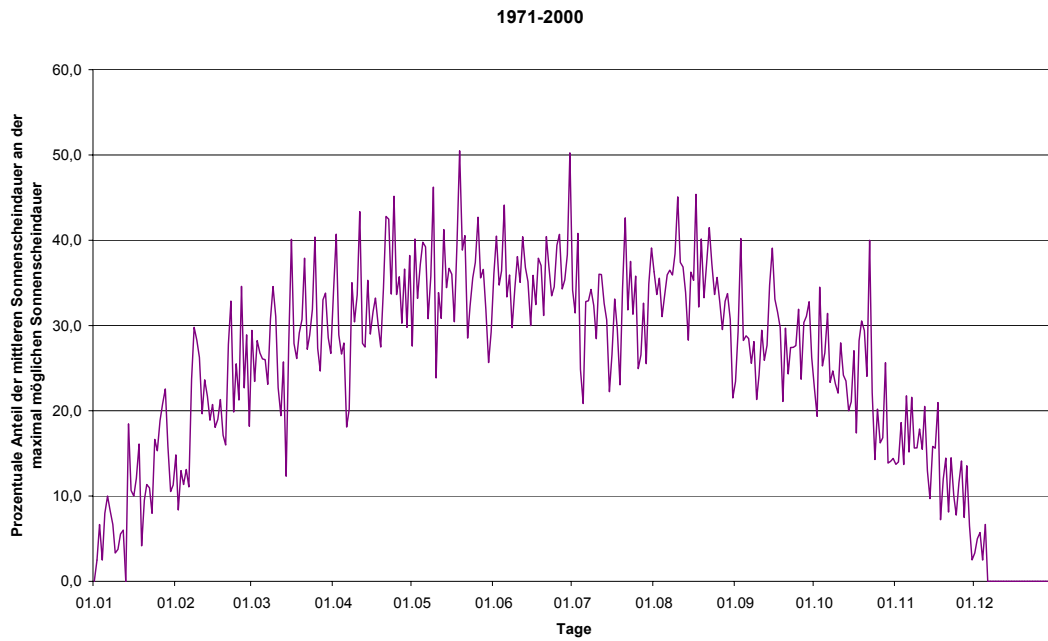


Abb. 4.6.6: Prozentualer Anteil der mittleren Sonnenscheindauer an der maximal möglichen Sonnenscheindauer für die einzelnen Kalendertage der Periode 1971-2000.

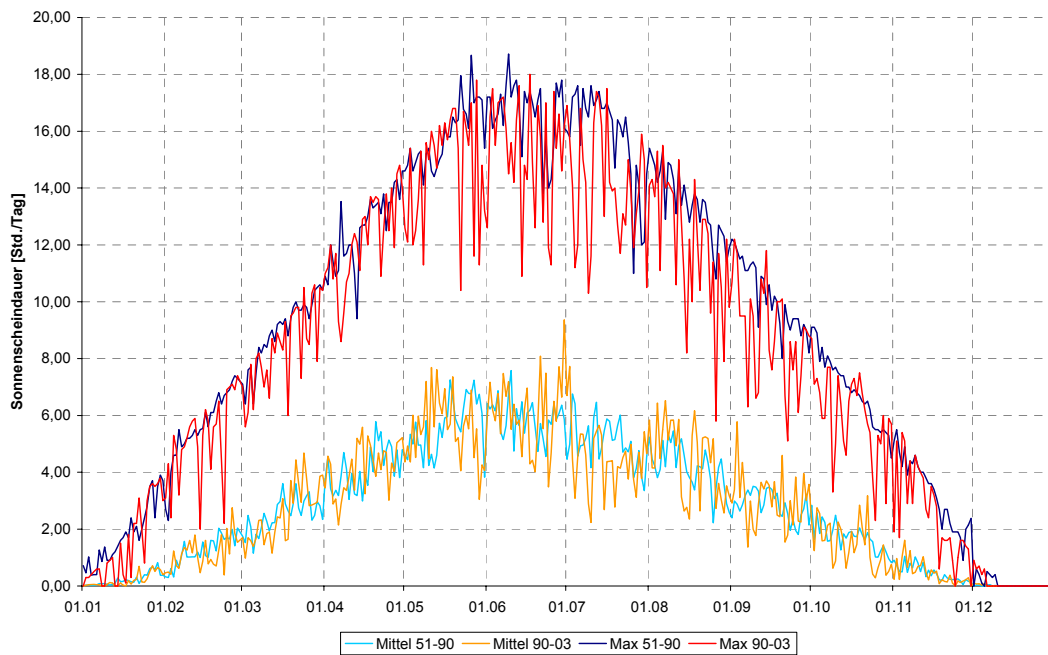


Abb. 4.7.1: Mittlere und Maximale Sonnenscheindauer für die Perioden 1951-1990 und 1990-2003 für die einzelnen Kalendertage.

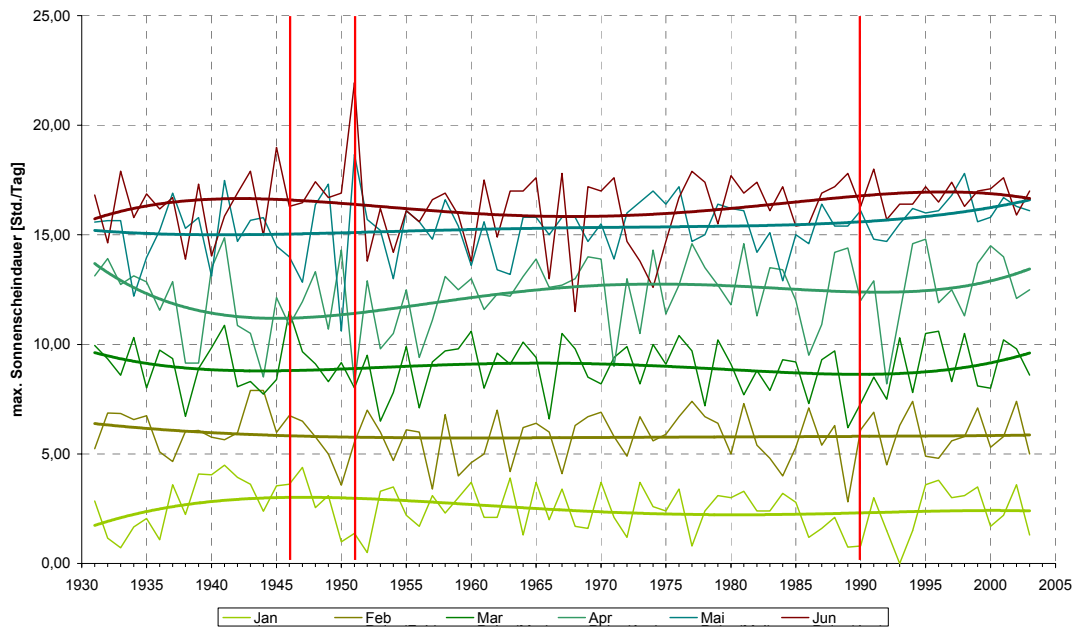


Abb. 4.7.2: Polynomialer Trend für die maximale Sonnenscheindauer für die Monate Januar bis Juni (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

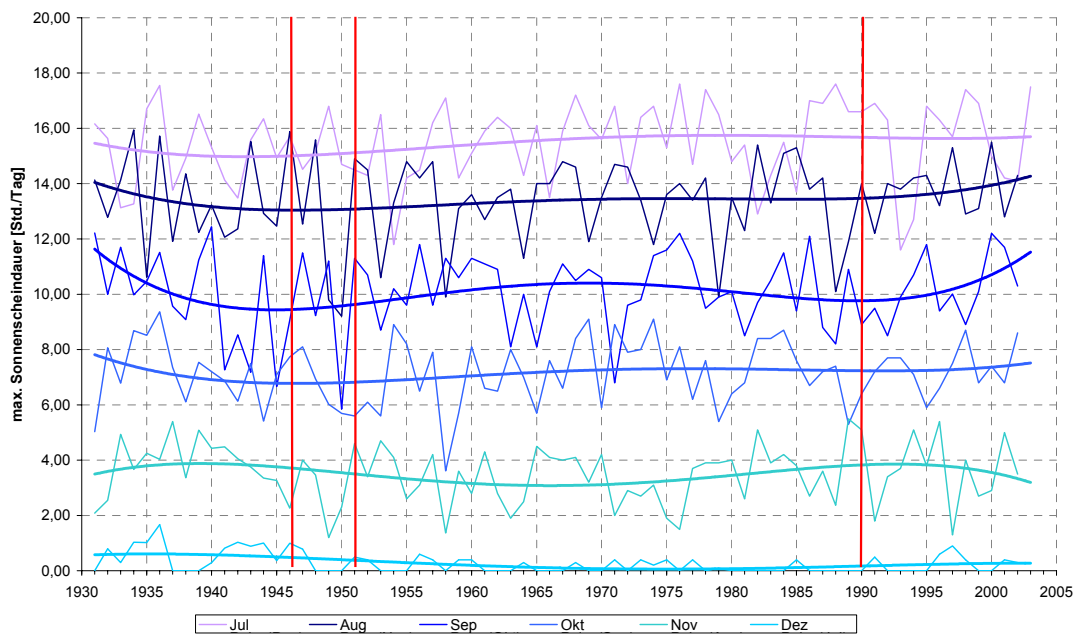


Abb. 4.7.3: Polynomialer Trend für die maximale Sonnenscheindauer für die Monate Juli bis Dezember (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

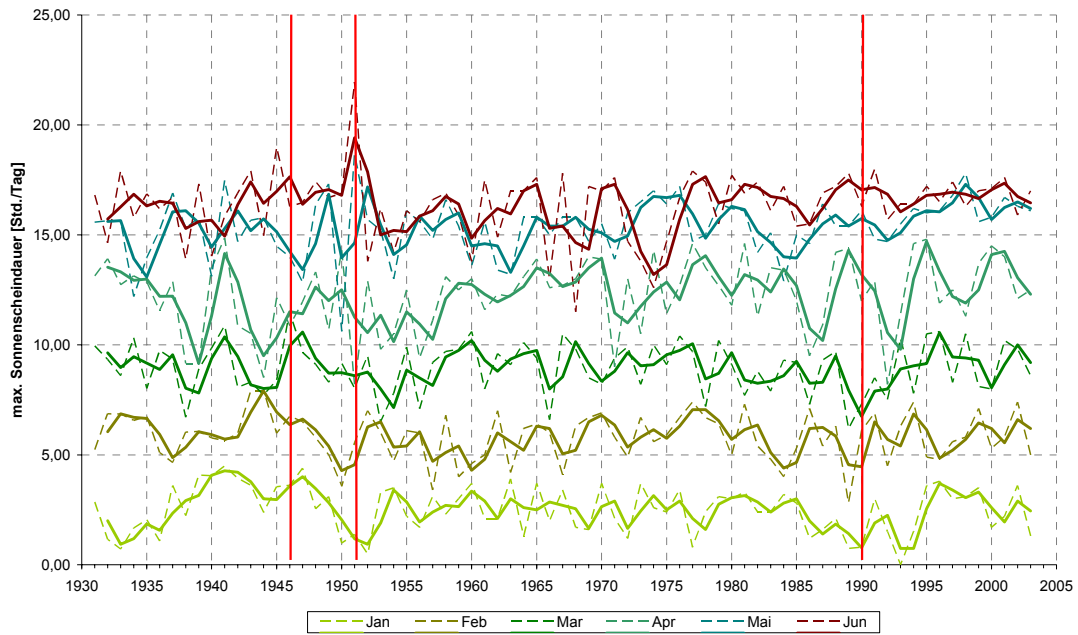


Abb. 4.7.4: Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Blockfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Januar bis Juni (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

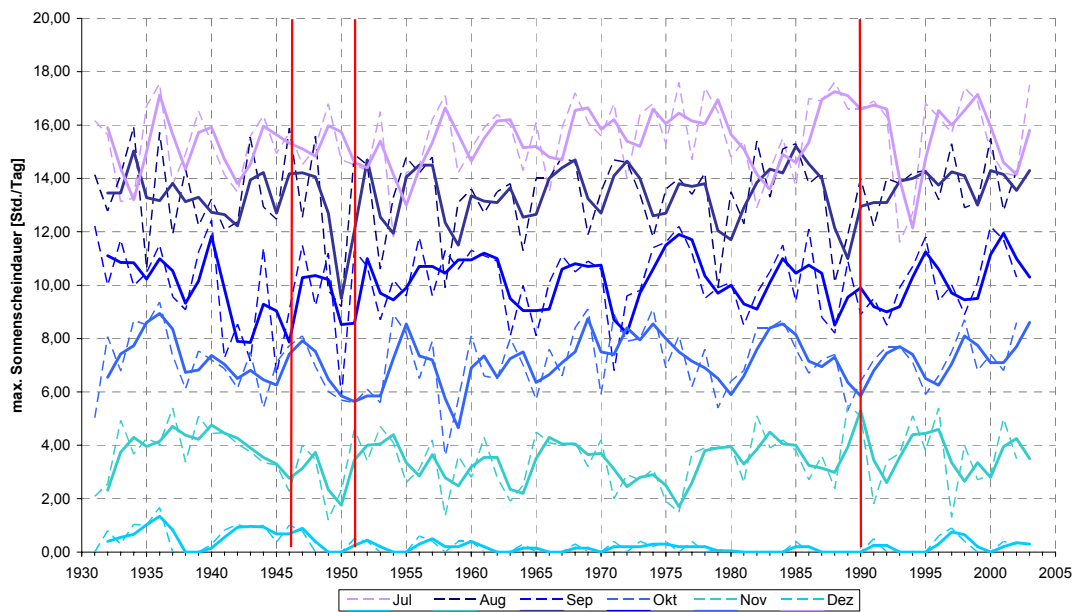


Abb. 4.7.5: Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Blockfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Juli bis Dezember (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

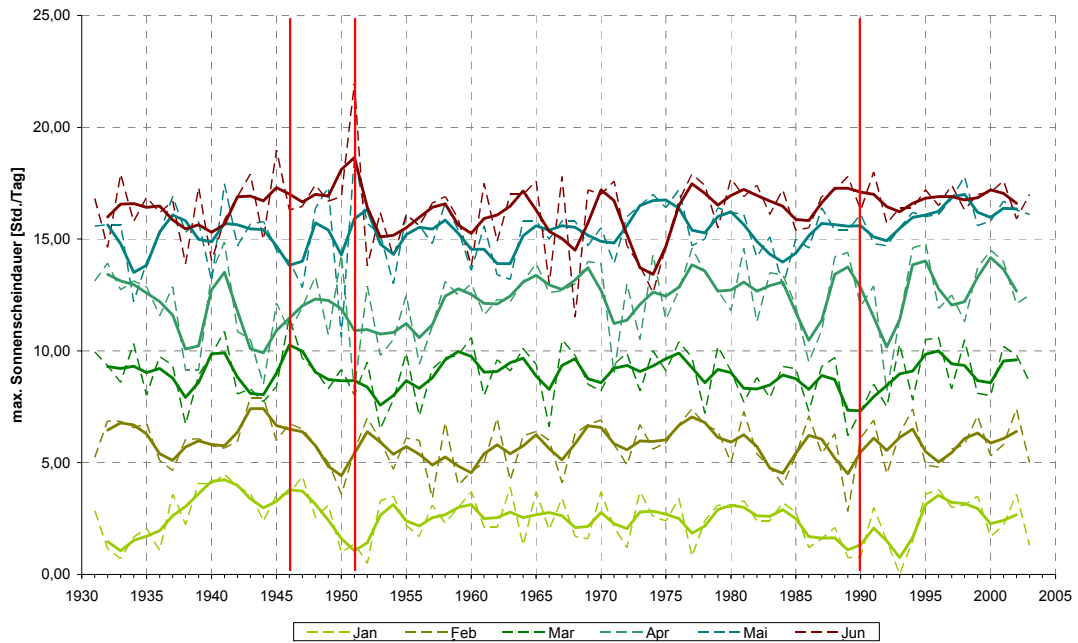


Abb. 4.7.6: Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Dreiecksfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Januar bis Juni (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

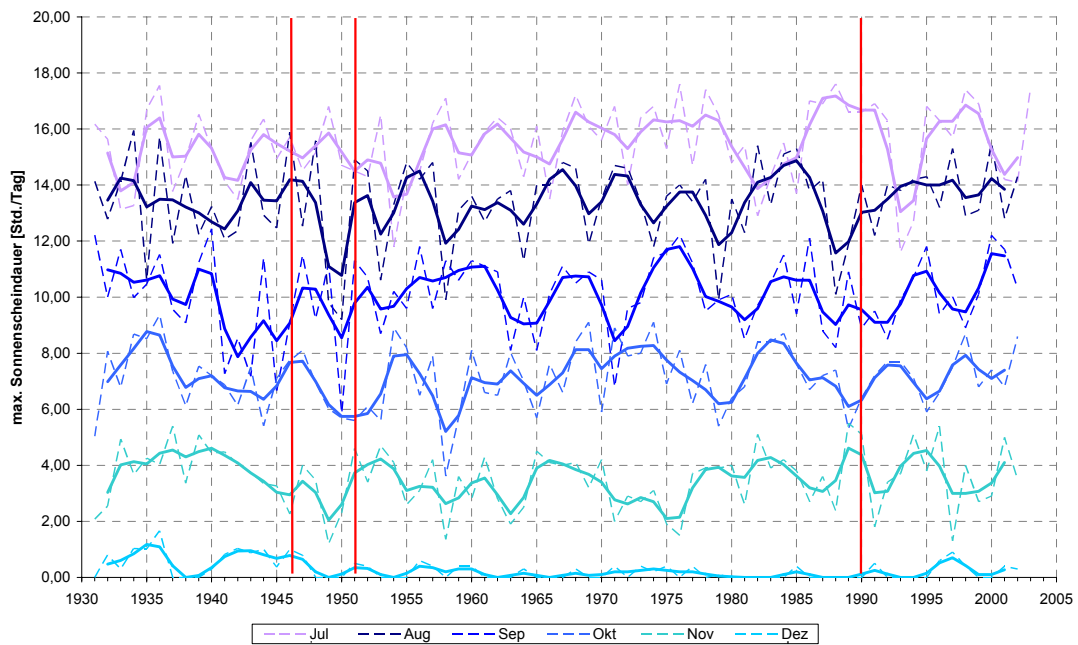


Abb. 4.7.7: Trendbestimmung mit der Moving Average Methode unter Verwendung des Dreiecksfilters für die maximale Sonnenscheindauer der Monate Juli bis Dezember (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

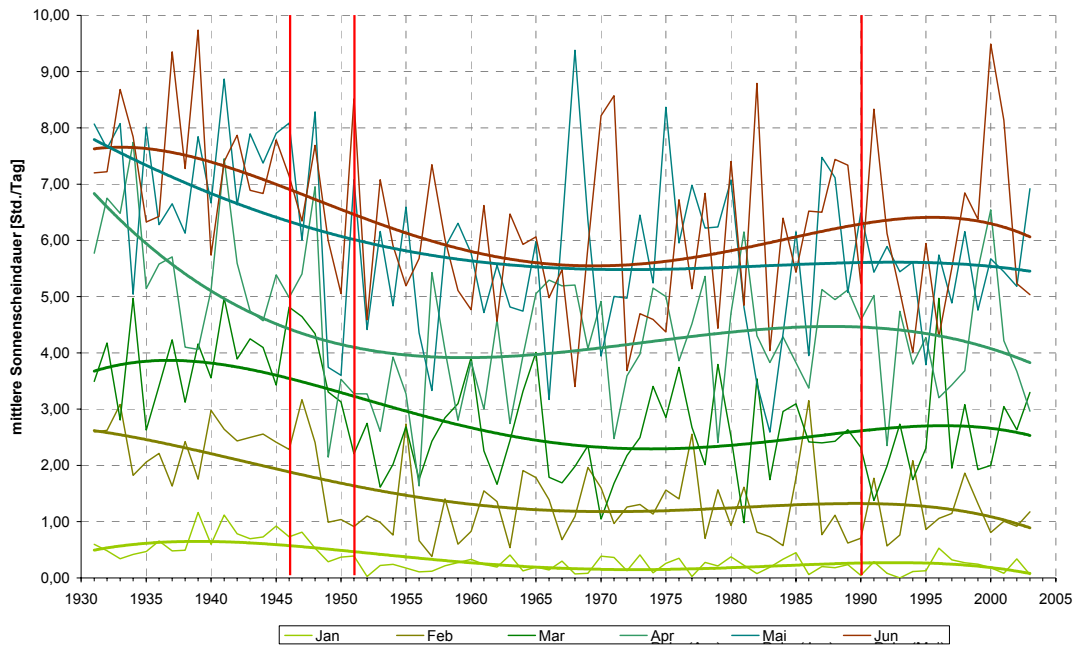


Abb. 4.7.8: Polynomialer Trend für die mittlere Sonnenscheindauer für die Monate Januar bis Juni (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

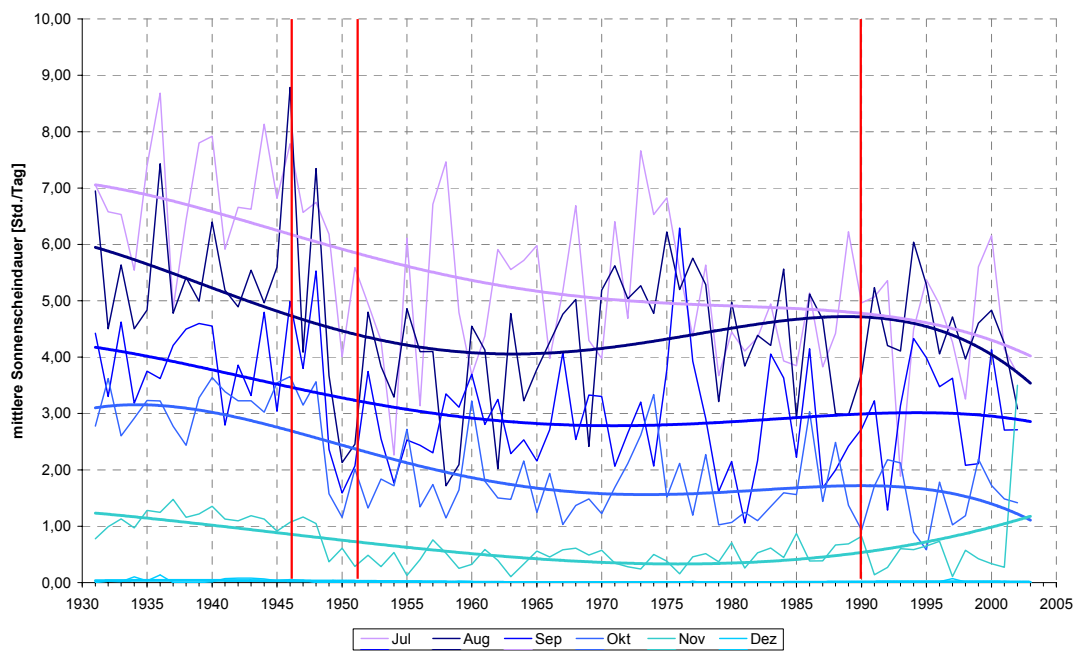


Abb. 4.7.9: Polynomialer Trend für die mittlere Sonnenscheindauer für die Monate Juli bis Dezember (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

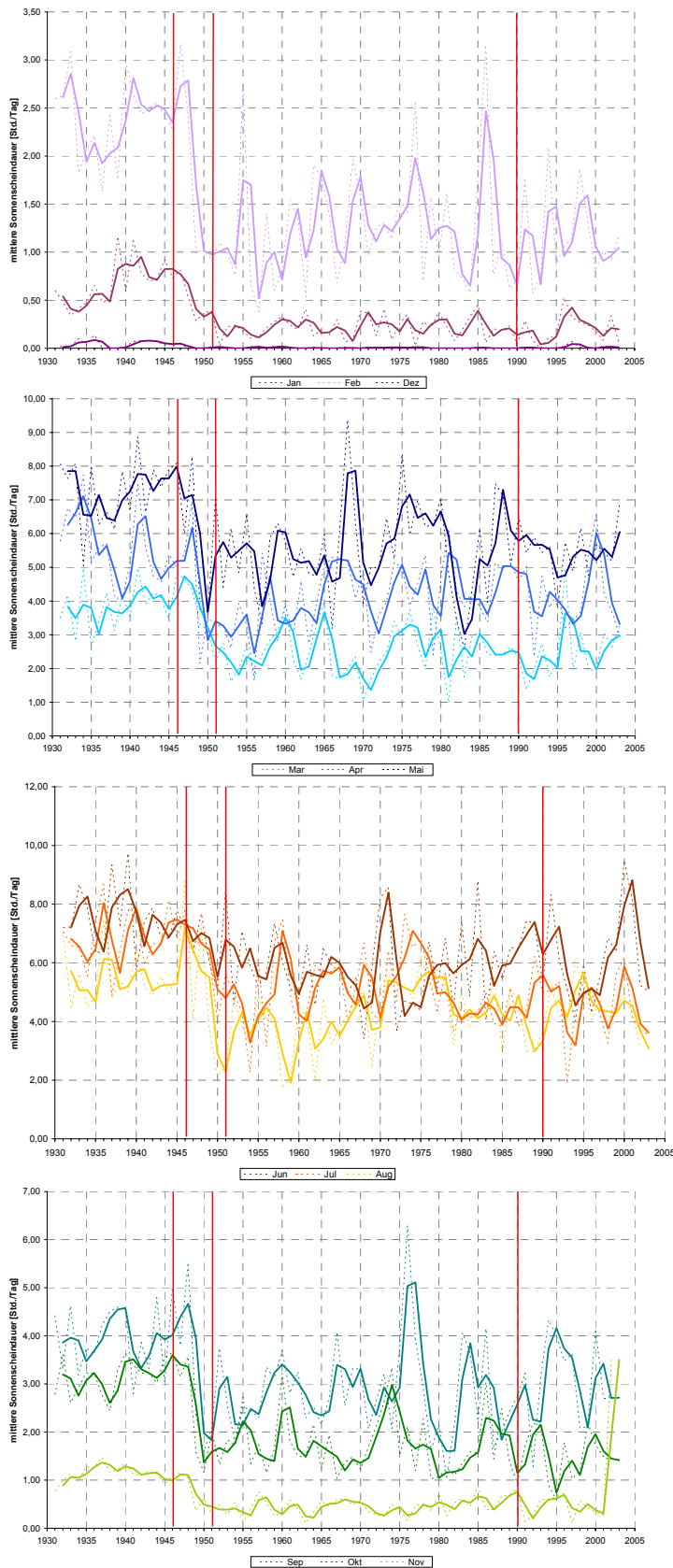


Abb. 4.7.10: Moving Average mit Blockfilter für die mittlere Sonnenscheindauer für die einzelnen Monate (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

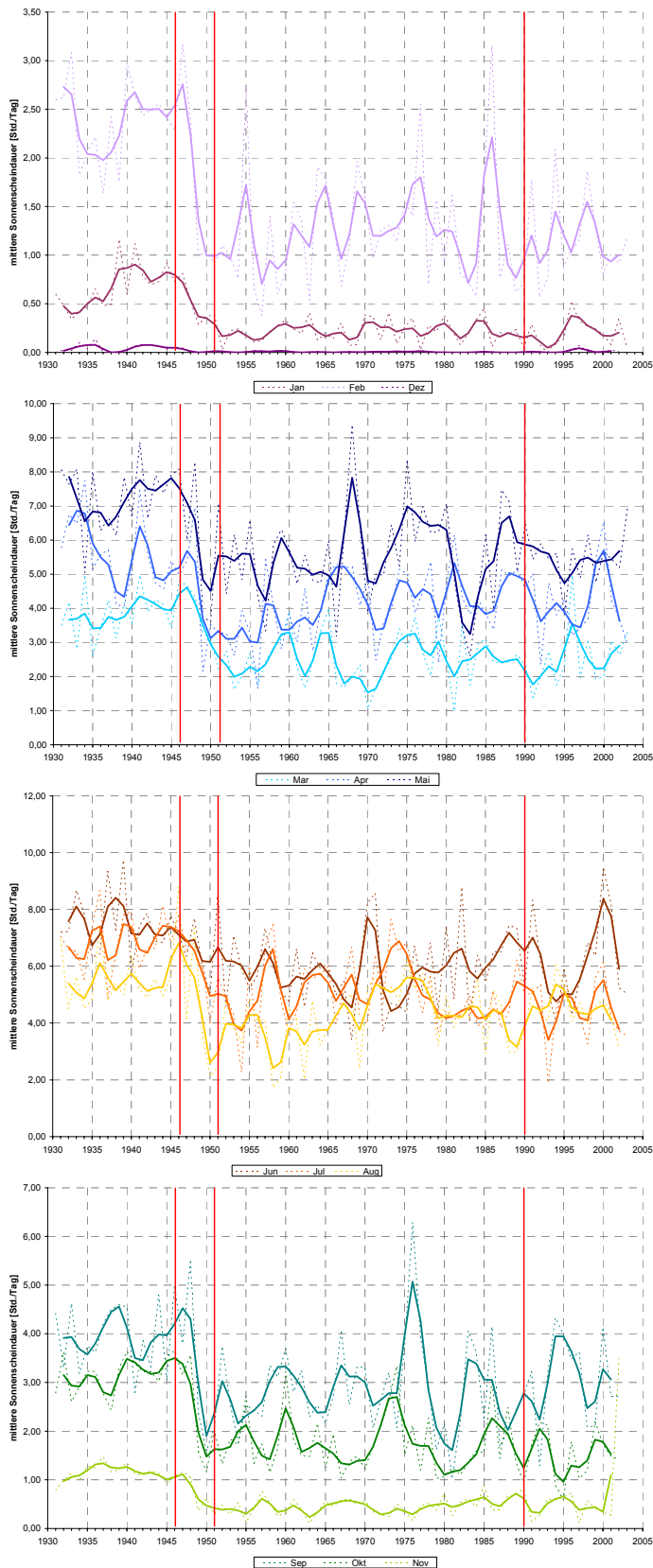


Abb. 4.7.11: Moving Average mit Dreiecksfilter für die mittlere Sonnenscheindauer für die einzelnen Monate (rote Linie = Jahr der Stationsverlegung).

VI Literaturverzeichnis

[1] Stanhill, G. 2003. Through a glass brightly: Some new light on the Campbell-Stokes sunshine recorder. *Weather* 58(1), 3-11.

[2] Linacre, E. 1992. *Climate data and resources, A reference and guide*. Routledge London and New York, 384 pp.

[3] Mendenhall, W.J. und R.J. Beaver 1991. *Introduction to probability and statistics*. PWS-Kent Publishing Company Boston. 8th Edition, 716 pp.

[4] <http://www.mathe.tu-freiberg.de/inst/stoch/Lehre/BNCSemDoc03/1>.

[5] <http://www.pervan.de/reiseberichte/bild.asp?bid=12401>.

[6] Einarsson, M.Á. 1984. *Climate of Iceland*. H. Van Loon (editor), *Climates of the Oceans. World Survey of Climatology* 15. Elsevier, 673-697.