

Die hochalpinen Klimaschwankungen der letzten 105 Jahre beschrieben durch Zeitreihenanalysen der auf dem Sonnblick gemessenen Klimatelemente.

I. AUER, R. BÖHM, H. MOHNL, Wien

1. Einleitung

Die besondere Lage des Sonnblick-Observatoriums in 3100 m Höhe, weit entfernt von lokalen anthropogenen Einflüssen sowie seine mehr als 100jährigen kontinuierlich durchgeführten Messungen prädestinieren es geradezu, Untersuchungen über Klimaschwankungen für diesen Ort anzustellen. Seit Beginn der Beobachtungen im Jahre 1886 wurden diese mit Ausnahme von 3 Tagen lückenlos durchgeführt, und auch die Aufstellung der Instrumente in der Hütte auf der Nordseite des Turmes blieb praktisch unverändert. Auch nach der Installation der teilautomatischen Beobachtungssysteme wurden die traditionellen Meßmethoden weiterhin beibehalten.

2. Datenkritik

Zeitreihenanalysen stellen hohe Ansprüche an die Datenqualität, vor allem ist die Homogenität des Datenmaterials eine unabdingbare Voraussetzung dafür.

Die Standorte der Meßinstrumente am Sonnblick sowie deren nächste beeinflussende Umgebung blieben zumeist unverändert. Trotzdem mußten in einigen Fällen Datenlücken geschlossen und Homogenisierungsarbeit geleistet werden.

Zu beachten war auch die Verlegung des Abendtermines der Klimabeobachtungen von 21 auf 19 Uhr im Jahre 1971 sowie die daraus resultierenden veränderten Vorschriften der Mittelwertbildung.

Luftdruck: Infolge der geringen Tagesschwankung dieses meteorologischen Elementes wirkt sich die Umstellung von 21 Uhr auf 19 Uhr im Tagesmittel mit weniger als 0.05 hPa aus. Deshalb konnte in diesem Fall auf eine Homogenisierung verzichtet werden.

Lufttemperatur: Alle Monatsmittel wurden auf 24stündige Mittel umgerechnet, eine Reduktion der Extremwerte war nicht erforderlich.

Sonnenscheindauer: Bis 1932 kam es infolge zeitweiliger Abschattungen des Campbell-Stokes-Autographen zu einer verringerten Einstrahlungsdauer von bis zu 11% in den Monaten Mai, Juni und Juli. Diese Meßwerte konnten aufgrund 4jähriger Vergleichsmessungen zwischen diesem und dem jetzigen ungestörten Standort reduziert werden (vgl. GUTMANN, 1936).

Bewölkung: Regressionsrechnungen zwischen den gleichbleibenden 7 und 14 Uhr Beobachtungsterminen und den Tagesmitteln erlaubten die Beseitigung der Inhomogenität 1970/1971. Unsicherheiten bestehen jedoch weiterhin über die möglicherweise veränderten Beobachtungsvorschriften der hohen Cirrus-Bewölkung um 1900.

Relative Feuchte und Dampfdruck: Die ersten 9 Jahre der beiden Meßreihen konnten in dieser Arbeit keine Verwendung finden, da auffallend hohe Monatsmittelwerte zu der Vermutung Anlaß geben, daß der Hygrograph während dieser Zeit nicht ausreichend von den häufig auftretenden Eisansätzen befreit wurde. Ebenso genügten die Daten zwischen 1919 und 1923 nicht den geforderten Qualitätsansprüchen und mußten korrigiert werden. Ausreichend gute Zusammenhänge zwischen den Monatsmitteln des Dampfdruckes und der Lufttemperatur erlaubten die Abschätzung des Dampfdruckes für den fragwürdigen Zeitabschnitt und in weiterer Folge die Berechnung der monatlichen Feuchtemittel. Beide Zeitreihen wurden sodann auf 24stündige Mittel reduziert.

Niederschlag: Die Resultate der Messungen anhand des 1890 installierten Ombrometers Nord erwiesen sich zur Darstellung der zeitlichen Änderungen der Niederschlagssummen als unbrauchbar (vgl. AUER, 1992a), erlaubten aber die Verwendung für die Interpretation der Zahl der Tage mit Niederschlag. Änderungen der Niederschlagssummen dürfen für dieses Gebiet nur aus den seit 1927 vorliegenden Totalisatorenmessungen abgeleitet werden.

Schnee: Die Schneehöhen werden in einer Entfernung von 300 m in der Fleißcharte (2990 m) gemessen. Angegeben wird dabei der Mittelwert aus 4 Pegeln an den Eckpunkten eines Vierecks von ca. 70 m Seitenlänge. Ergänzt werden mußten fehlende Daten zwischen 1935 und 1948, was auf Grund von Schneemessungen auf der Zugspitze (2962 m) und den Wetterdaten des Sonnblick-Observatoriums möglich war.

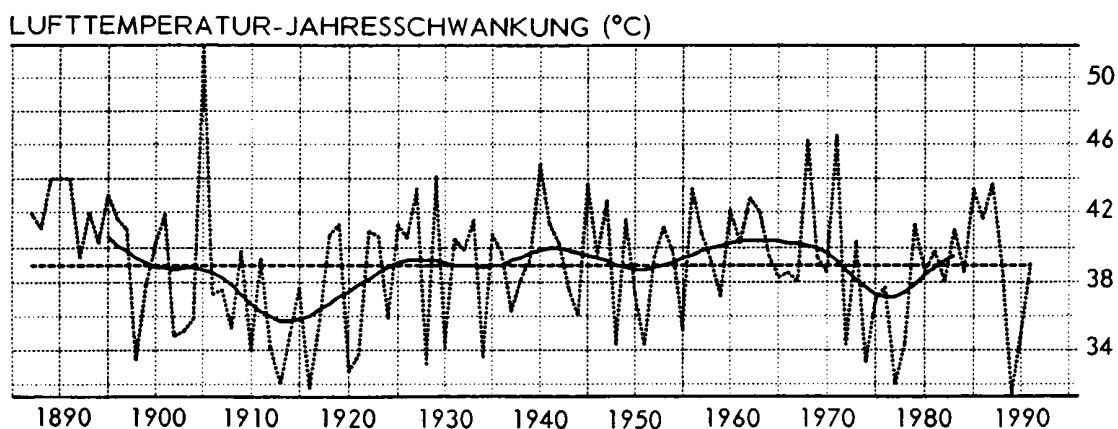
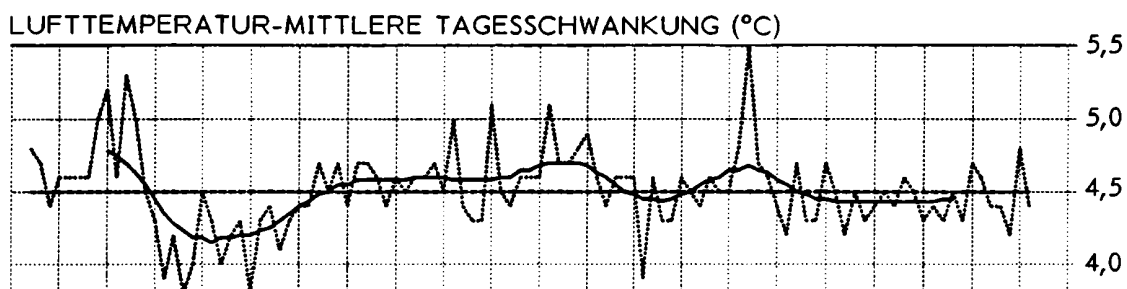
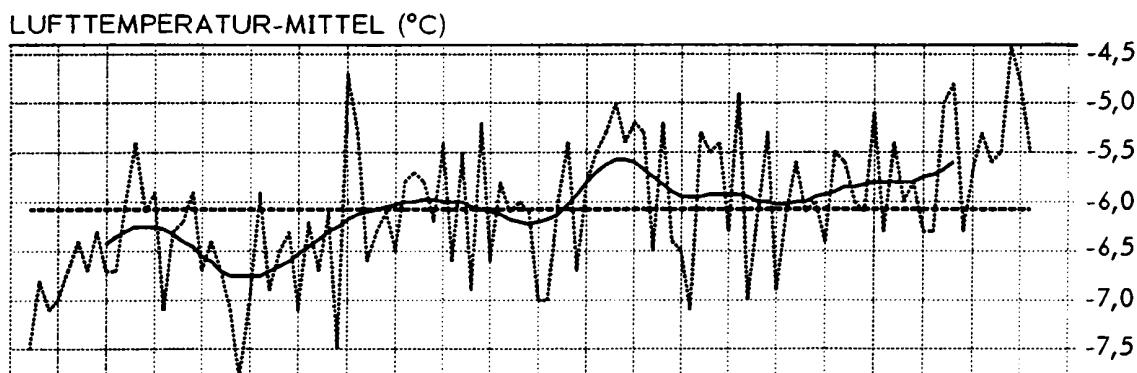
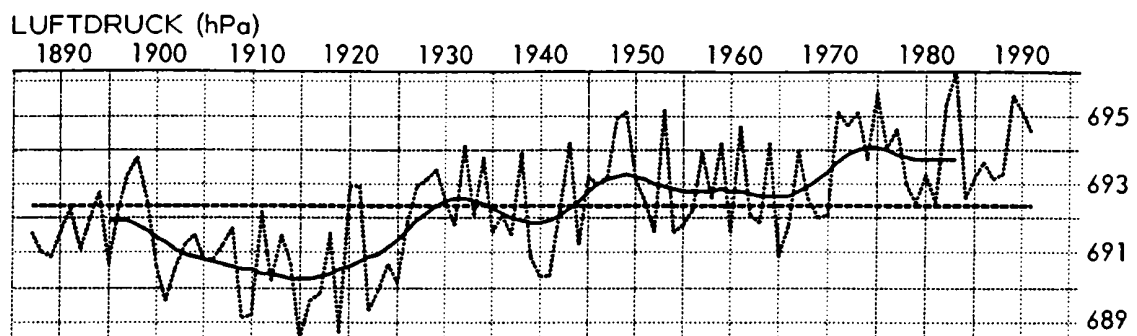
Wind: Schon von Beginn an wurden auf dem Sonnblick Windrichtung und -geschwindigkeit mit Meßinstrumenten erfaßt. Wegen des mehrmaligen Gerätewechsels erfüllten jedoch die Windgeschwindigkeitsmessungen die geforderten Homogenitätsansprüche nicht, sodaß im folgenden nur die Windrichtungen bearbeitet werden.

3. Ergebnisse

Ziel dieser Arbeit war es, nicht nur den zeitlichen Verlauf der einzelnen klimatischen Elemente zu beschreiben, vielmehr sollten auch ihre gegenseitigen Abhängigkeiten dargestellt werden. Dabei werden nicht nur die Jahreskurven von Luftdruck, Lufttemperatur (Mittel, Extremwerte, Tages- und Jahresamplituden), Sonnenscheindauer, Bewölkung, relativer Feuchte, Dampfdruck, Gewitterhäufigkeit, Zahl der Tage mit Niederschlag, Niederschlagssummen, Anteil des festen Niederschlages, Neuschneesummen, maximalen und minimalen Schneehöhen und den Häufigkeiten der einzelnen Windrichtungen (einzeln oder in Form von meridionalen und zonalen Komponenten) gezeigt, sondern es sollen auch die zeitlichen Änderungen in den einzelnen Jahreszeiten untersucht werden.

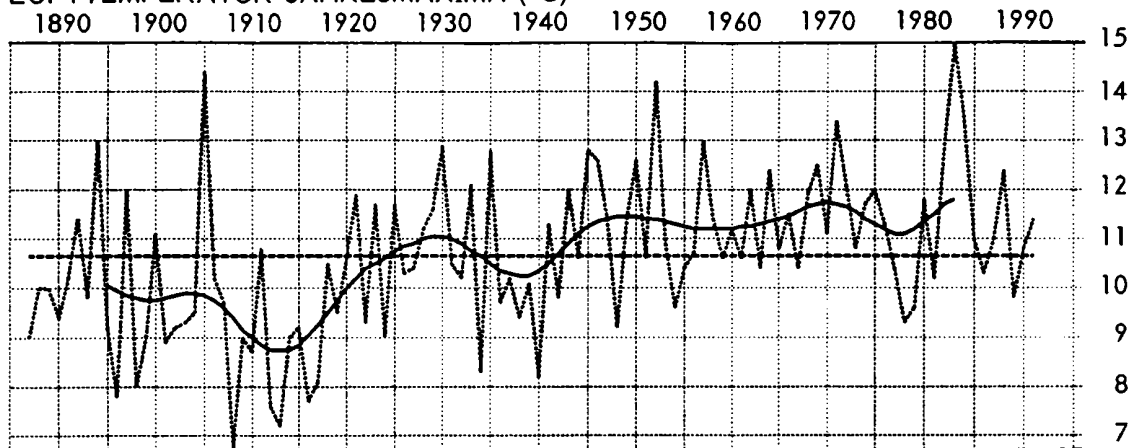
Abbildung 1 enthält 31 jährliche Zeitreihen (Mittel, Summen, Extremwerte oder Häufigkeiten) der oben erwähnten klimatischen Elemente. Gezeigt werden neben den Einzelwerten auch geglättete Kurvenverläufe (Gauß-Tiefpaßfilterung mit einer Filterweite von 20 Jahren) sowie die langjährigen Mittelwerte.

ABBILDUNG 1: Zeitreihen der Klimaelemente auf dem Sonnblick 1887-1991 - Jahreswerte
 ---- Einzelwerte, ~ gefilterte Werte (Gauß-Tiefpaß-Filterung, $T^* = 20$ Jahre)
 und --- langjährige Mittel

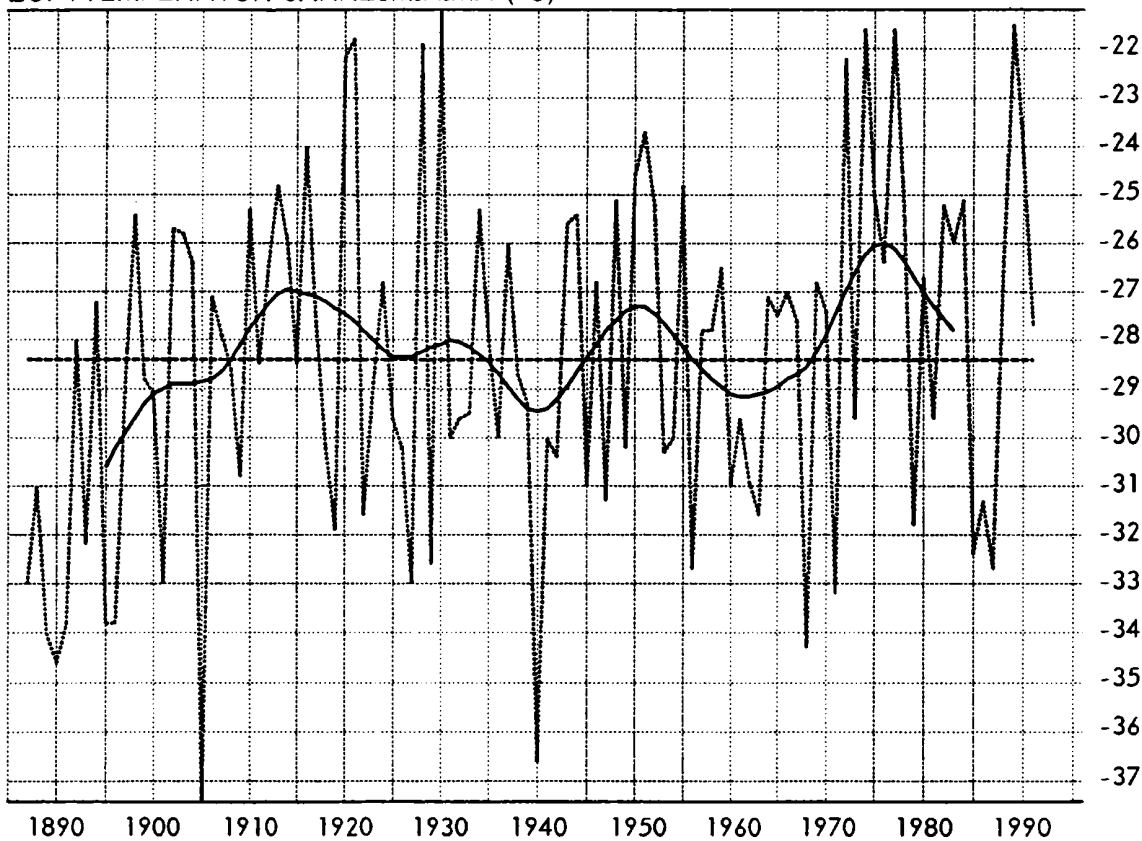


FORTSETZUNG ABBILDUNG 1: JAHRESWERTE

LUFTTEMPERATUR-JAHRESMAXIMA (°C)

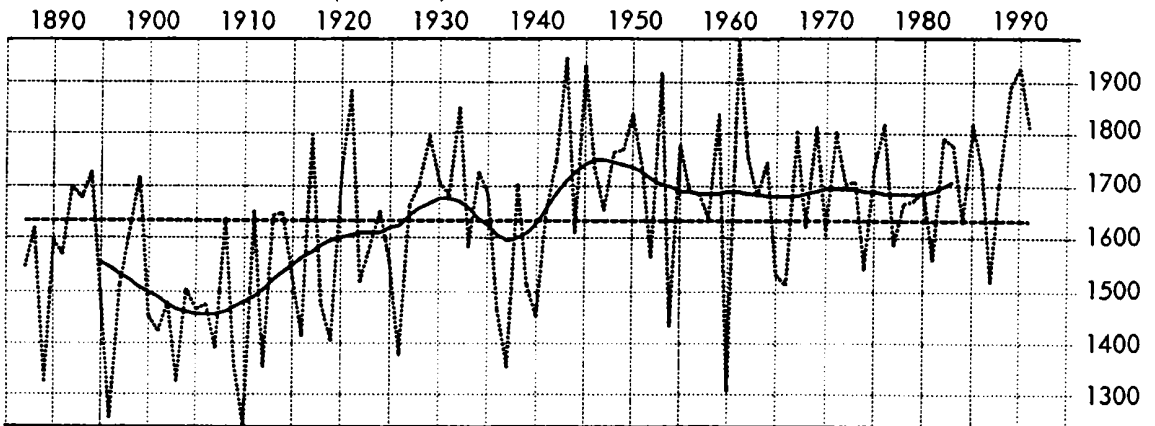


LUFTTEMPERATUR-JAHRESMINIMA (°C)

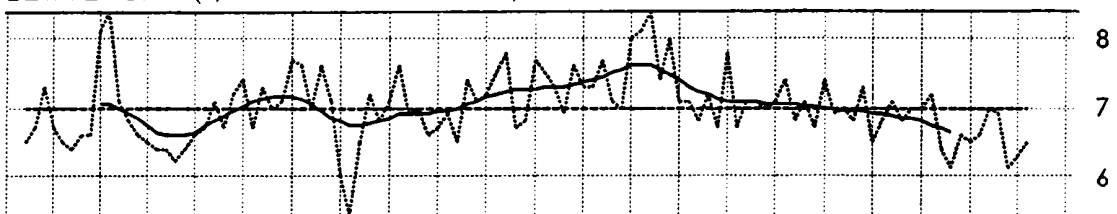


FORTSETZUNG ABBILDUNG 1: JAHRESWERTE

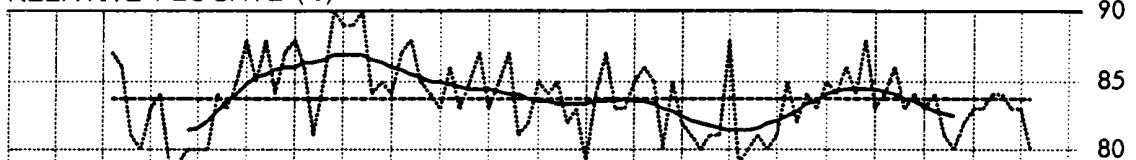
SONNENSCHWEINDAUER (Stunden)



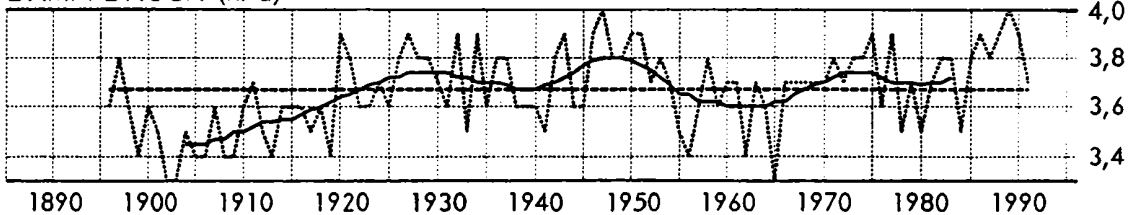
BEWÖLKUNG (1/10 der Himmelsfläche)



RELATIVE FEUCHTE (%)

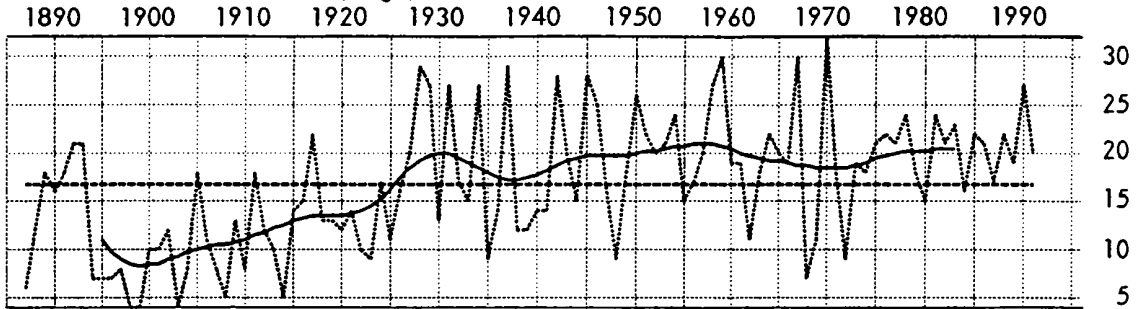


DAMPFDRUCK (hPa)

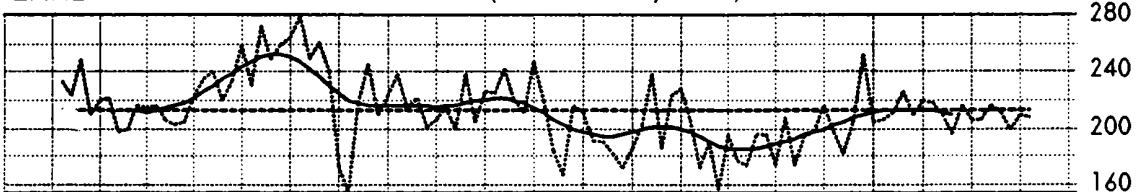


FORTSETZUNG ABBILDUNG 1: JAHRESWERTE

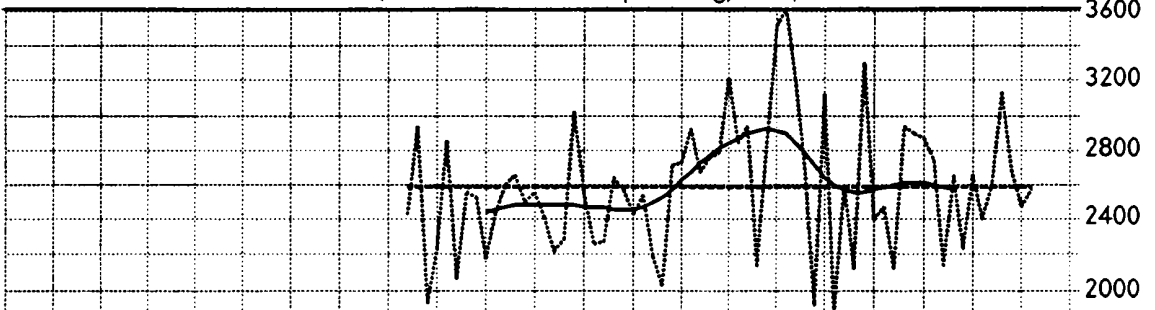
GEWITTERHÄUFIGKEIT (Tage)



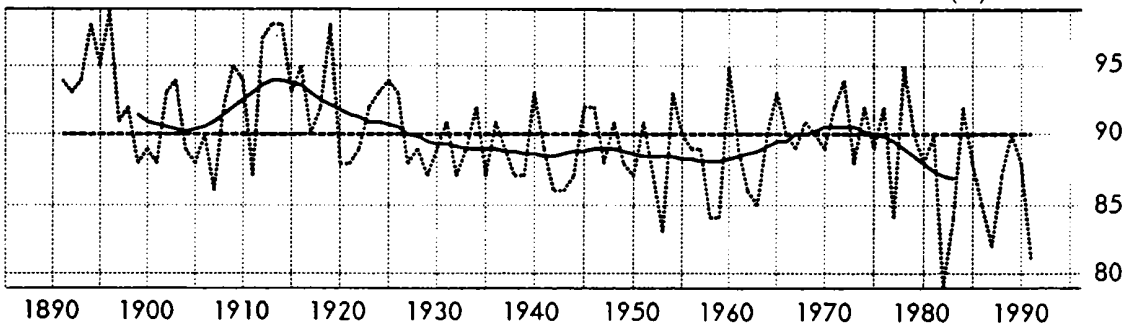
ZAHL DER NIEDERSCHLAGSTAGE (zumindest 0,1 mm)



NIEDERSCHLAGSSUMMEN (Totalisator mit Nipherring, mm)

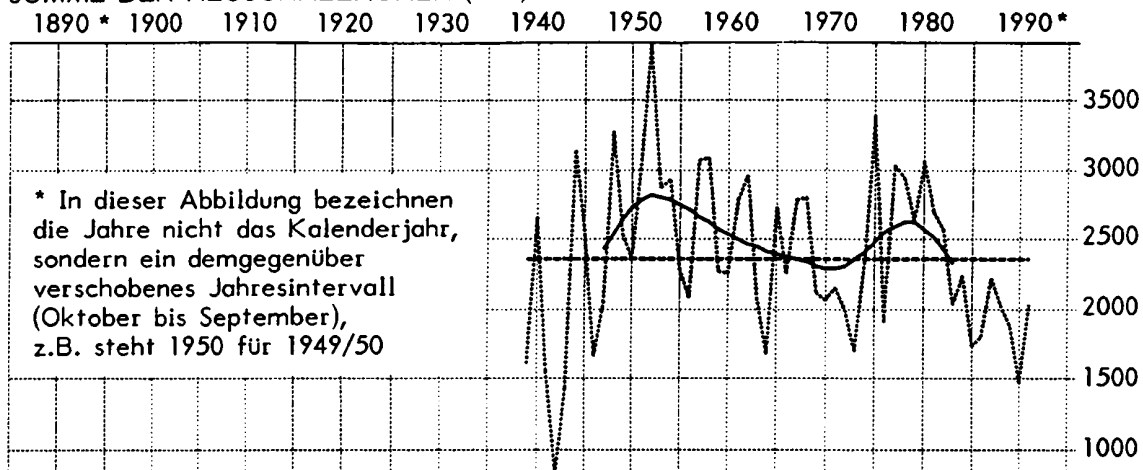


ANTEIL DES FESTEN NIEDERSCHLAGS AM GESAMTNIEDERSCHLAG (%)

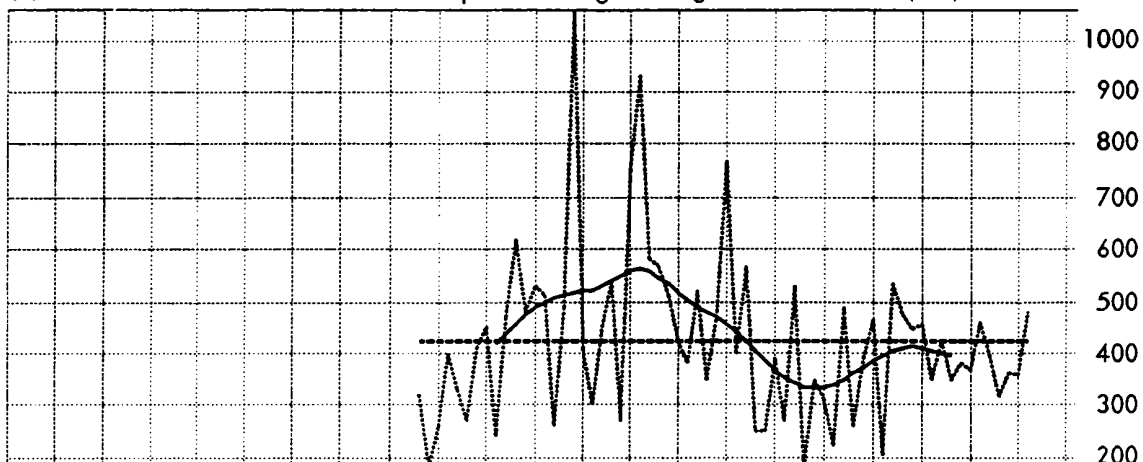


FORTSETZUNG ABBILDUNG 1: JAHRESWERTE

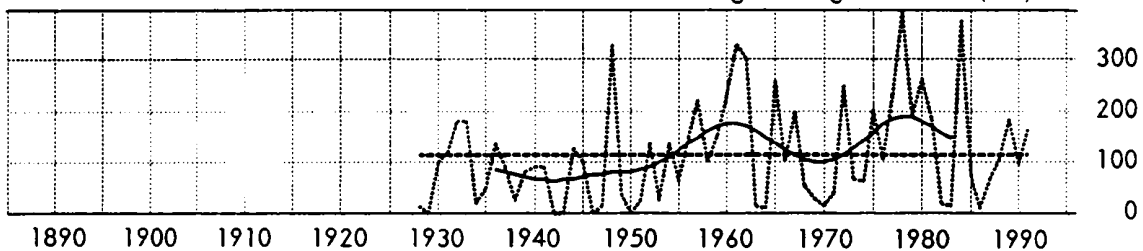
SUMME DER NEUSCHNEEHÖHEN (mm)



SCHNEEHÖHEN AM 1. MAI - Höhepunkt des glaziologischen Winters (cm)



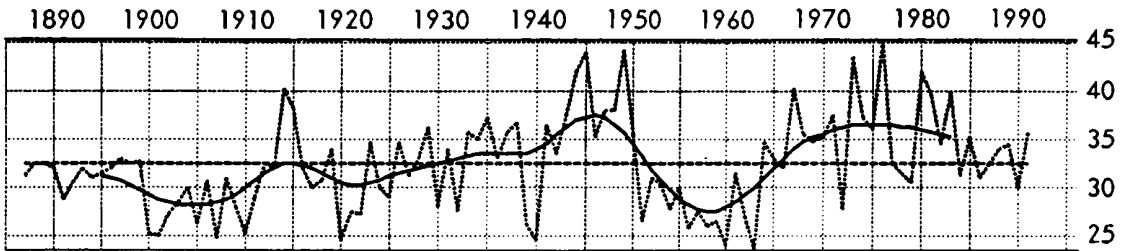
SCHNEEHÖHEN AM 1. OKT. - Altschneerest nach dem glaziolog. Sommer (cm)



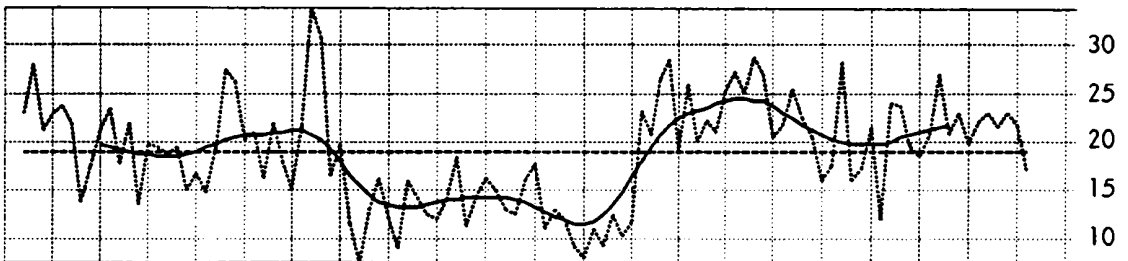
FORTSETZUNG ABBILDUNG 1: JAHRESWERTE

WINDRICHTUNGSHÄUFIGKEITEN DER VIER HAUPTKOMponentEN (%)

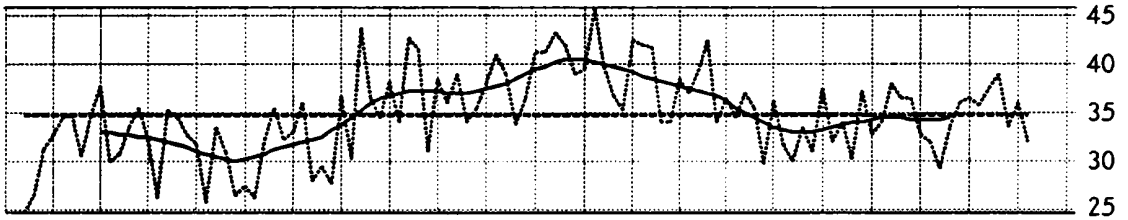
MERIDIONAL NORD



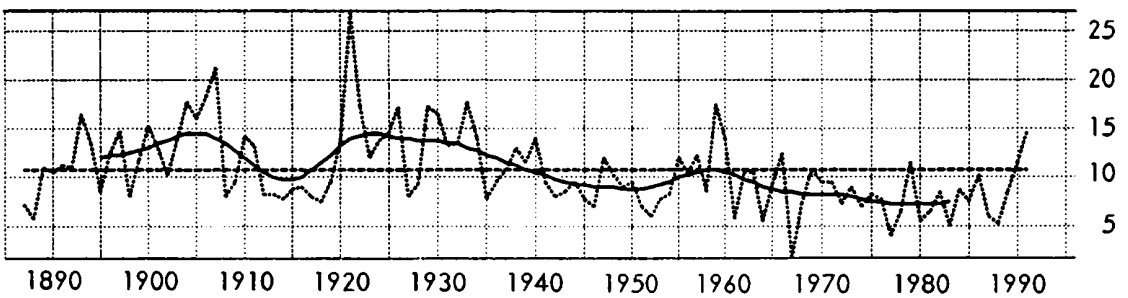
MERIDIONAL SÜD



ZONAL WEST

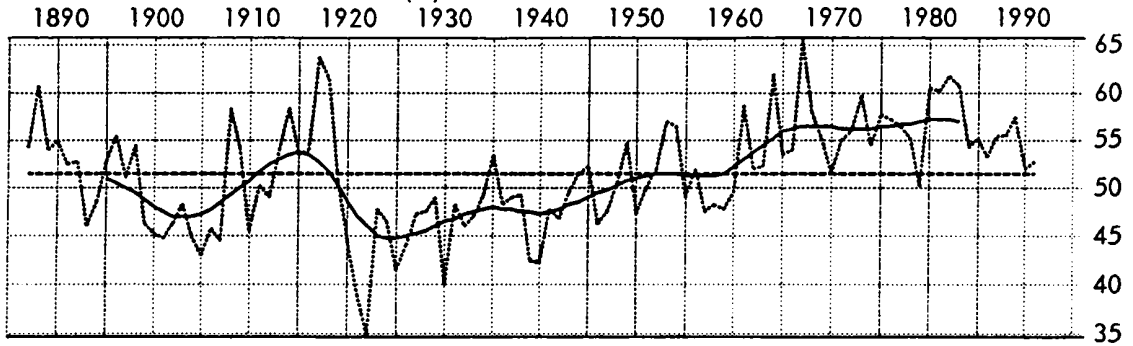


ZONAL OST

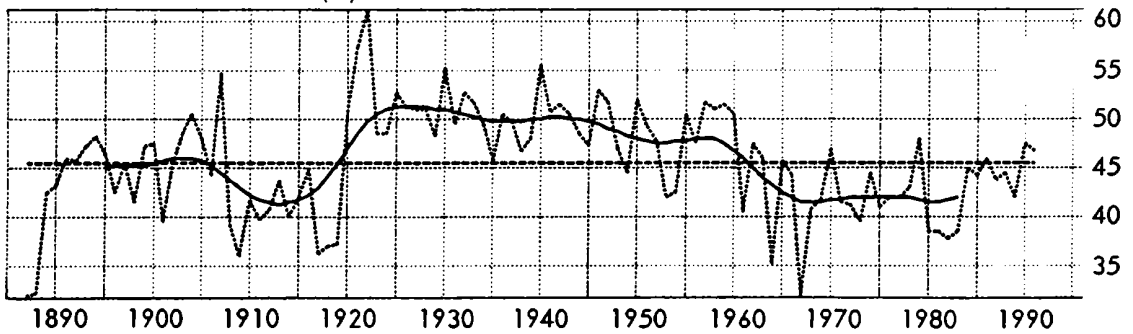


FORTSETZUNG ABBILDUNG 1: JAHRESWERTE

MERIDIONALKOMPONENTE (%)

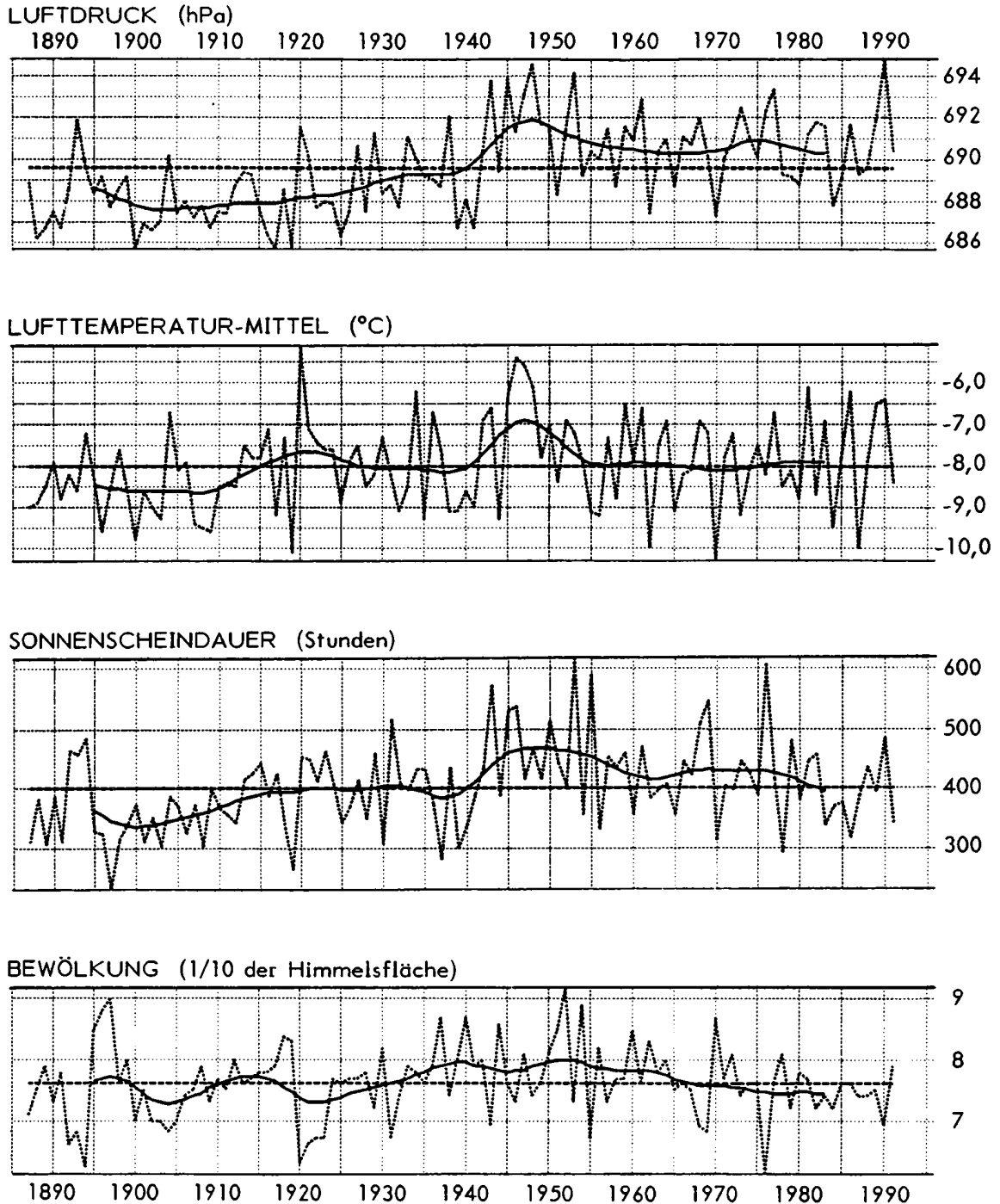


ZONALKOMPONENTE (%)



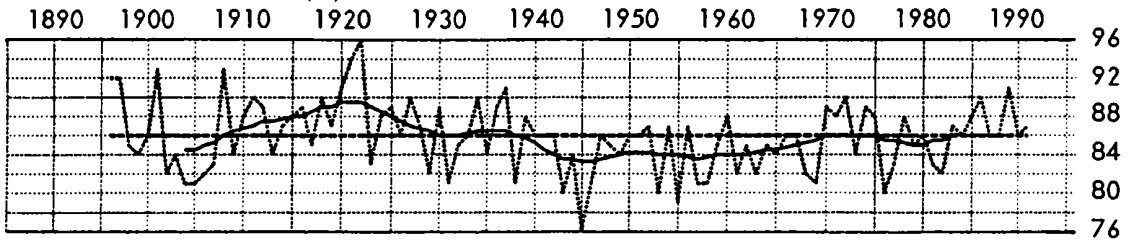
24 dieser Zeitreihen können auch für die Jahreszeiten in den Abbildungen 2 bis 5 - für manche Elemente wie beispielsweise einige Schneeparameter ergibt die jahrezeitliche Darstellung keinen Sinn - gezeigt werden.

ABBILDUNG 2: Zeitreihen der Klimaelemente auf dem Sonnblick 1887-1991 - **Frühling**
 Einzelwerte, ~ gefilterte Werte (Gauß-Tiefpaß-Filterung, $T^* = 20$ Jahre)
 und --- langjährige Mittel

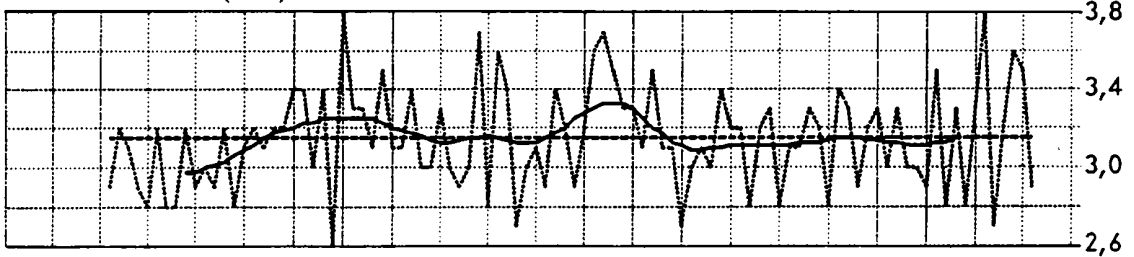


FORTSETZUNG ABBILDUNG 2: FRÜHLING

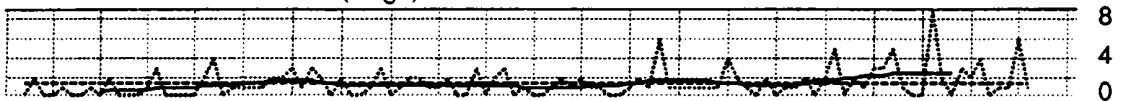
RELATIVE FEUCHTE (%)



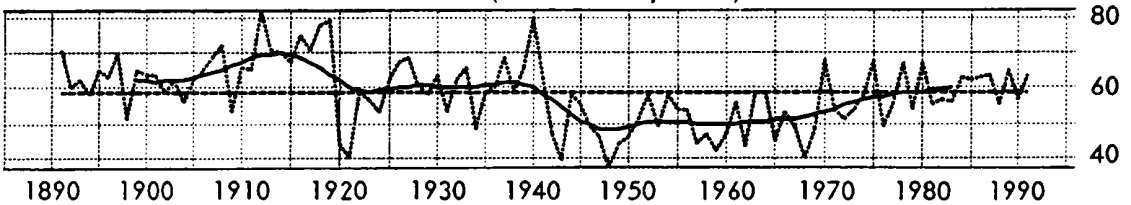
DAMPFDRUCK (hPa)



GEWITTERHÄUFIGKEIT (Tage)

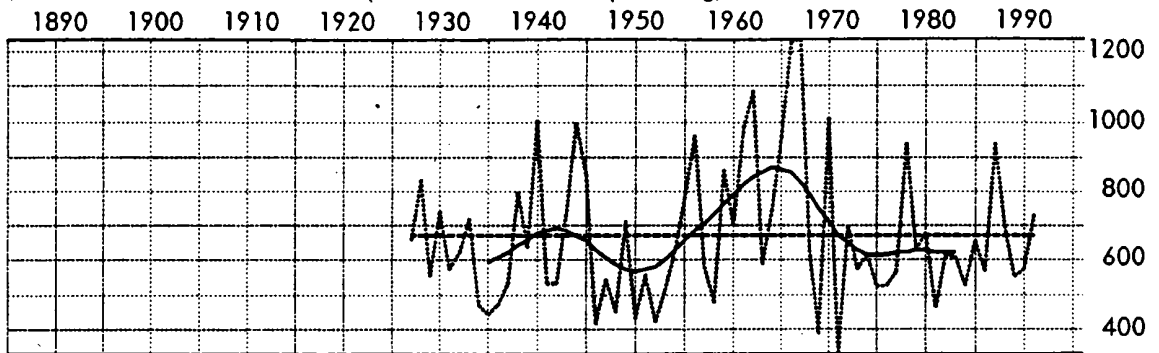


ZAHL DER NIEDERSCHLAGSTAGE (zumindest 0,1 mm)

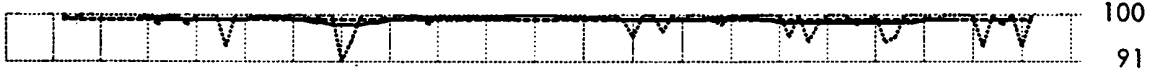


FORTSETZUNG ABBILDUNG 2: FRÜHLING

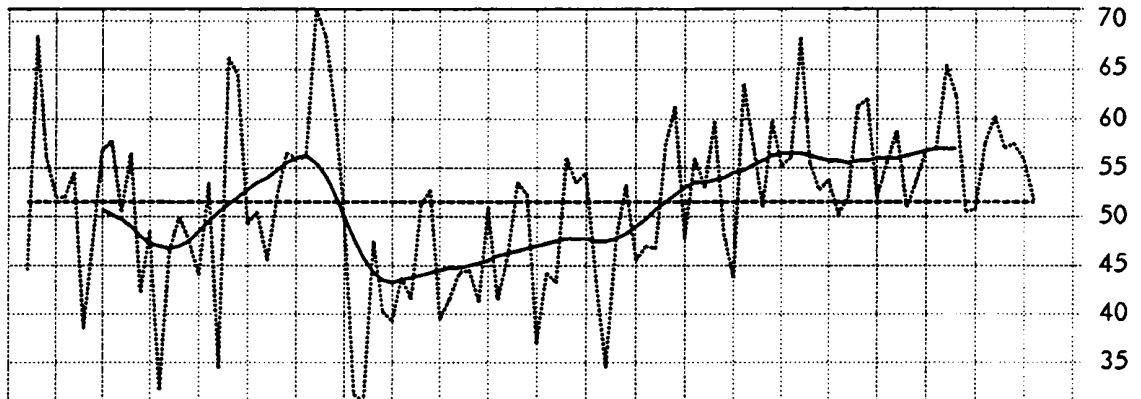
NIEDERSCHLAGSSUMMEN (Totalisator mit Nipherring, mm)



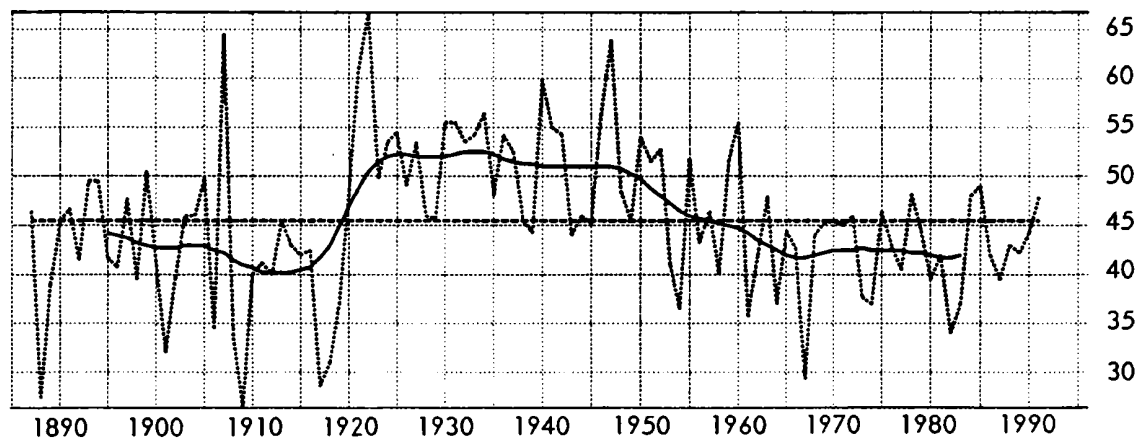
ANTEIL DES FESTEN NIEDERSCHLAGS AM GESAMTNIEDERSCHLAG (%)



RELATIVE HÄUFIGKEIT MERIDIONALER WINDRICHTUNGEN (%)



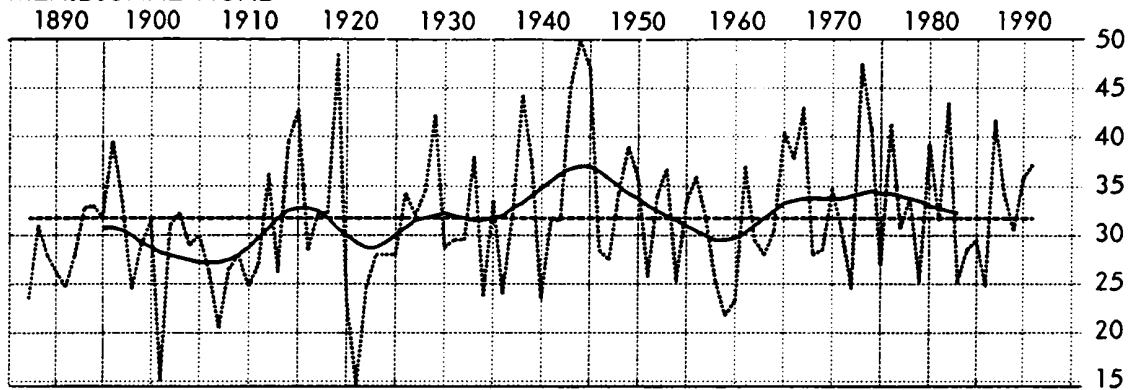
RELATIVE HÄUFIGKEIT ZONALER WINDRICHTUNGEN (%)



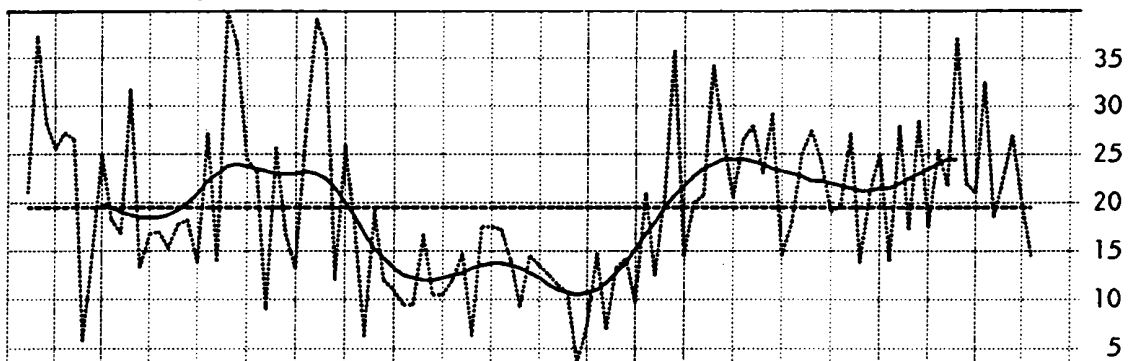
FORTSETZUNG ABBILDUNG 2: FRÜHLING

WINDRICHTUNGSHÄUFIGKEITEN DER VIER HAUPTKOMponentEN (%)

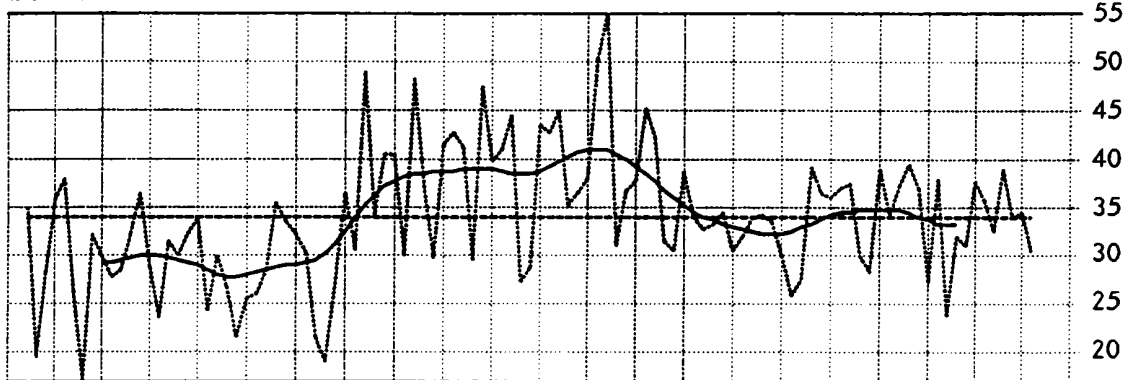
MERIDIONAL NORD



MERIDIONAL SÜD



ZONAL WEST



ZONAL OST

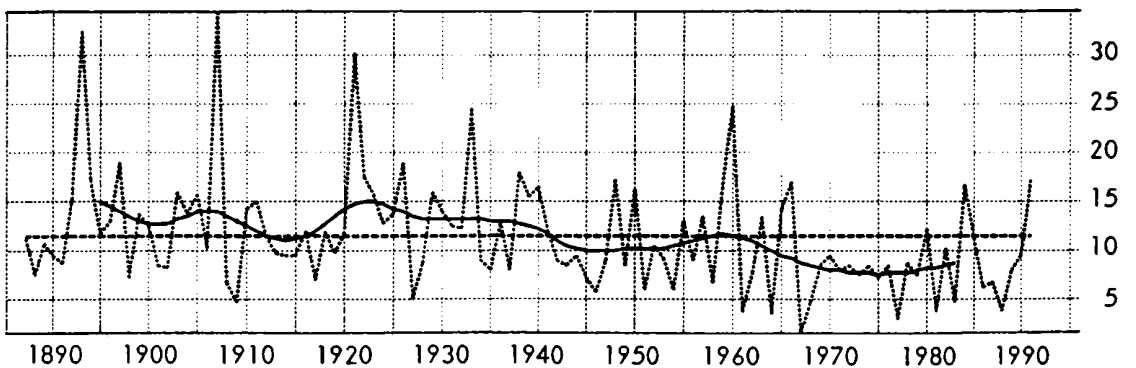
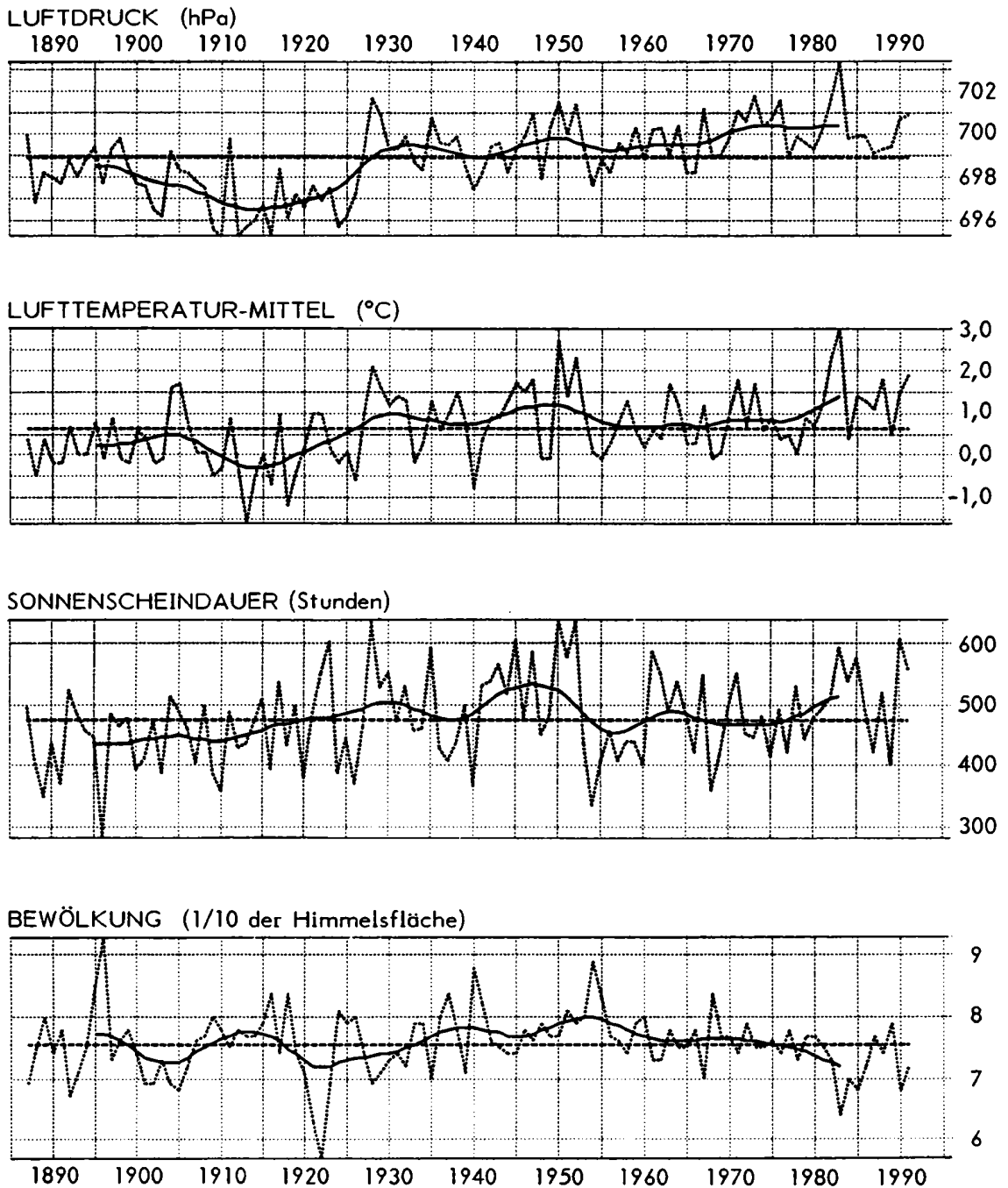


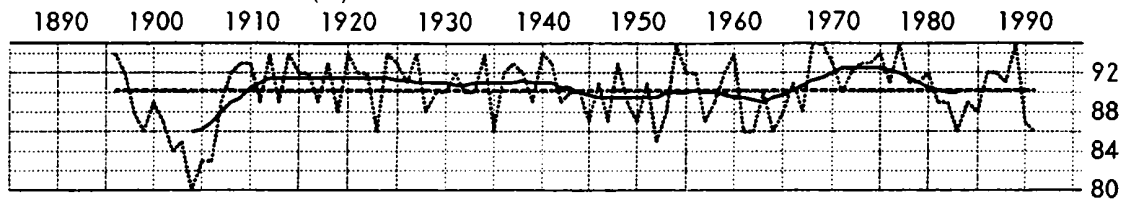
ABBILDUNG 3: Zeitreihen und Klimaelemente auf dem Sonnblick 1887-1991 - Sommer

----- Einzelwerte, ~ gefilterte Werte (Gauß-Tiefpaß-Filterung, $T^* = 20$ Jahre)
 und --- langjährige Mittel

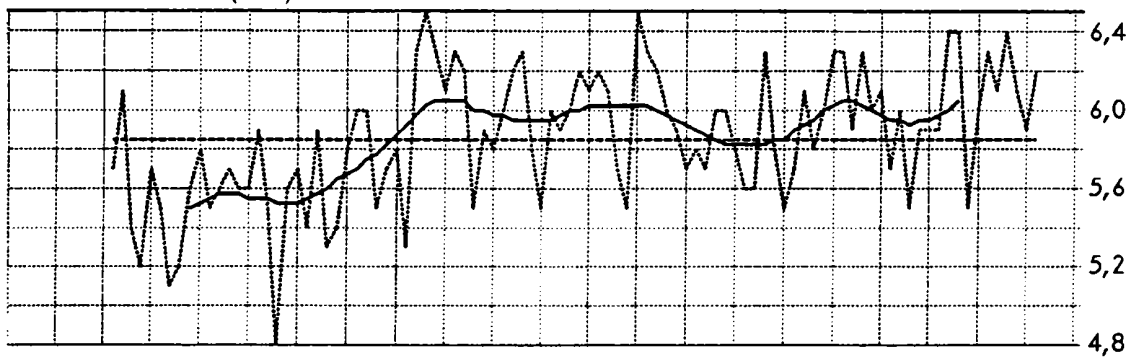


FORTSETZUNG ABBILDUNG 3: SOMMER

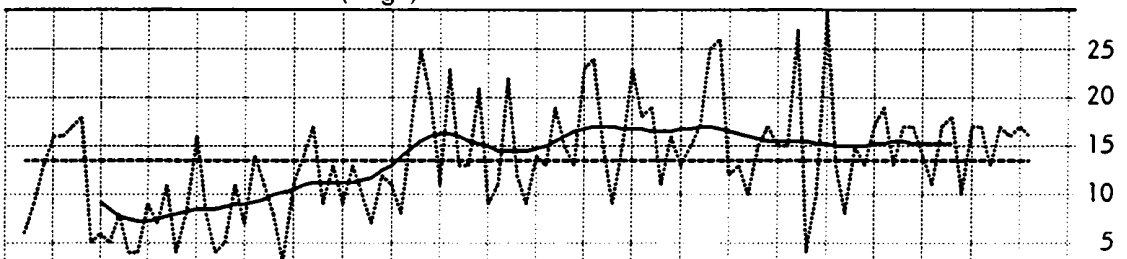
RELATIVE FEUCHTE (%)



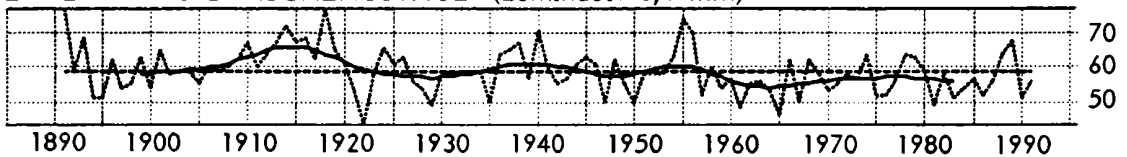
DAMPFDRUCK (hPa)



GEWITTERHÄUFIGKEIT (Tage)

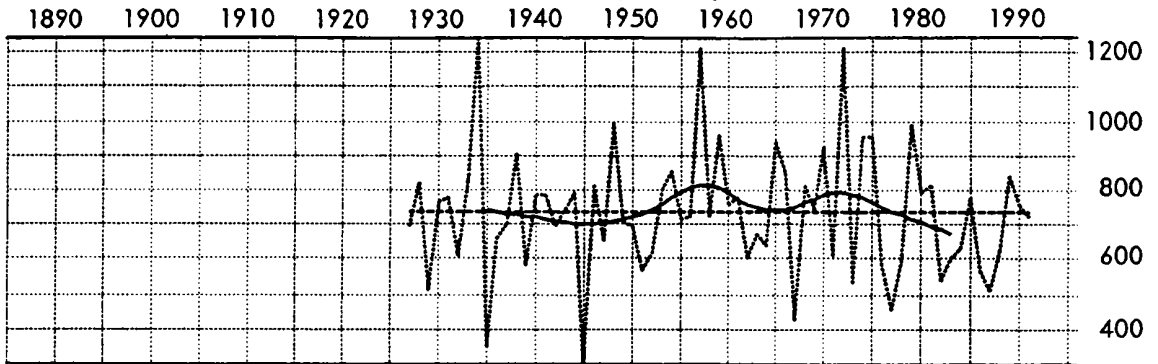


ZAHL DER NIEDERSCHLAGSTAGE (zumindest 0,1 mm)

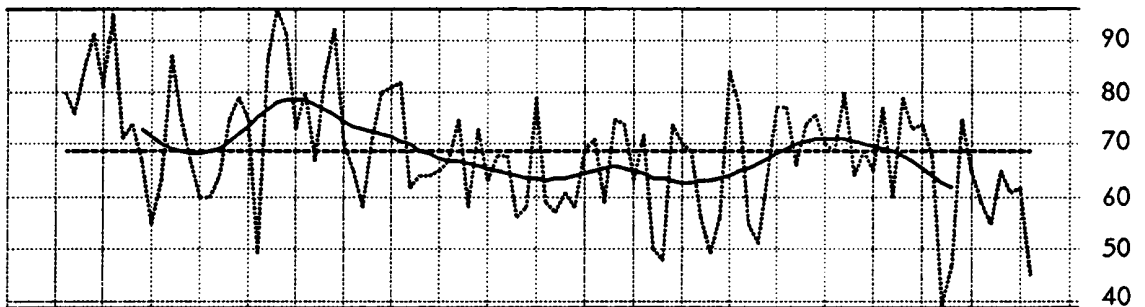


FORTSETZUNG ABBILDUNG 3: SOMMER

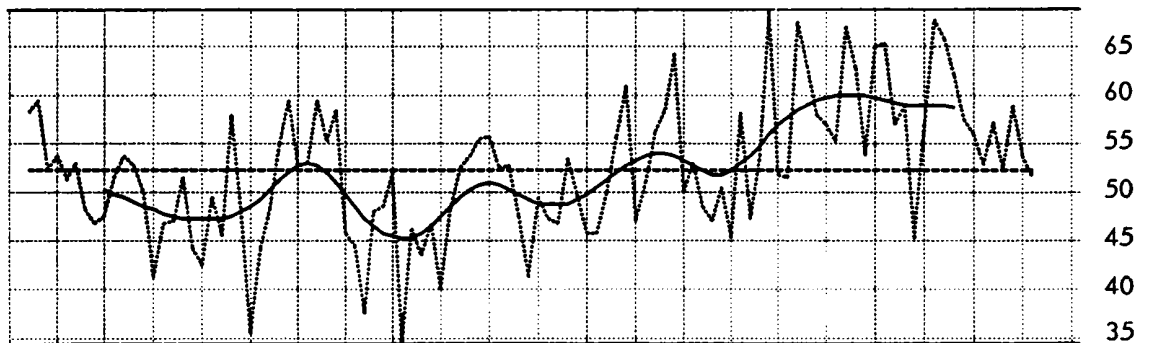
NIEDERSCHLAGSSUMMEN (Totalisator mit Nipherring, mm)



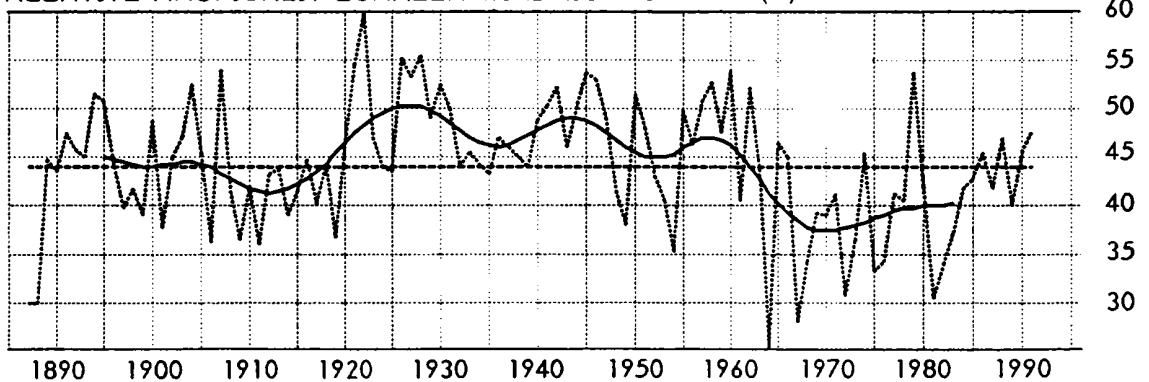
ANTEIL DES FESTEN NIEDERSCHLAGS AM GESAMTNIEDERSCHLAG (%)



RELATIVE HÄUFIGKEIT MERIDIONALER WINDRICHTUNGEN (%)



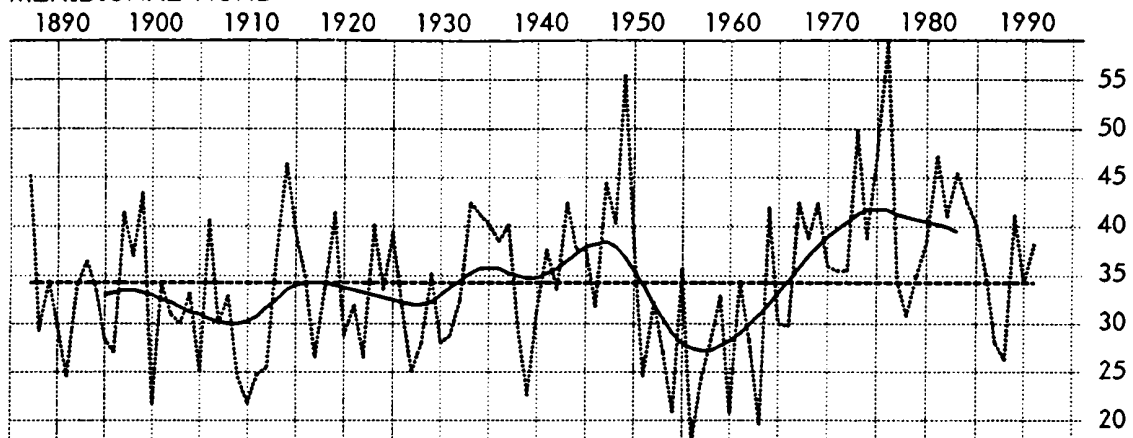
RELATIVE HÄUFIGKEIT ZONALER WINDRICHTUNGEN (%)



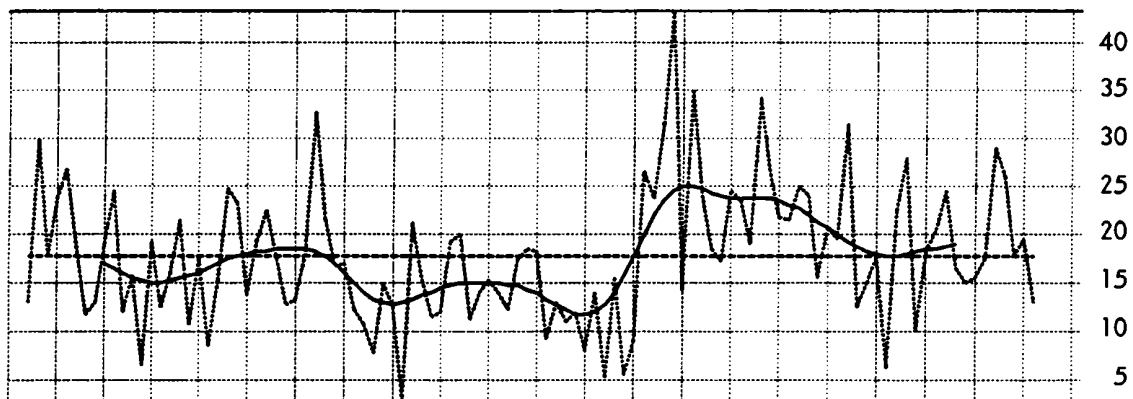
FORTSETZUNG ABBILDUNG 3: SOMMER

WINDRICHTUNGSHÄUFIGKEITEN DER VIER HAUPTKOMPONENTEN (%)

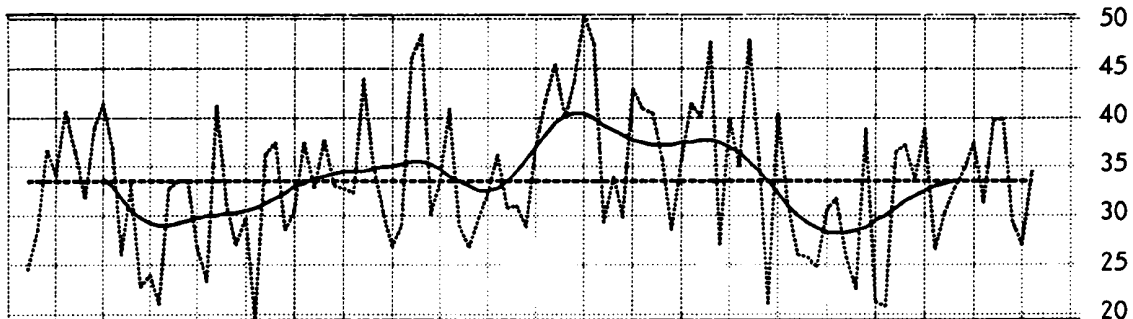
MERIDIONAL NORD



MERIDIONAL SÜD



ZONAL WEST



ZONAL OST

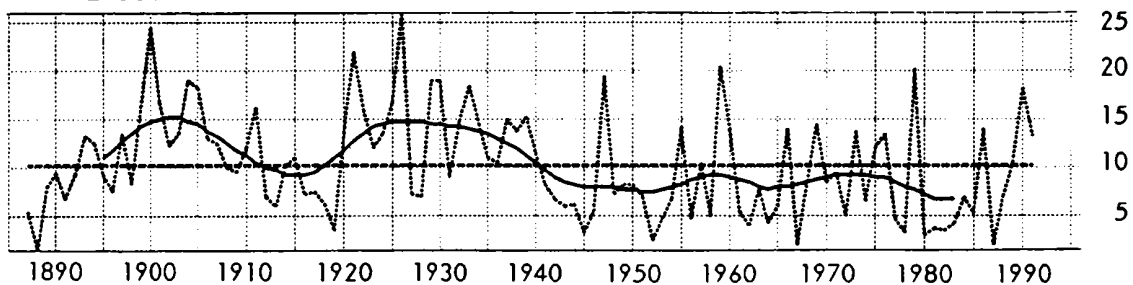
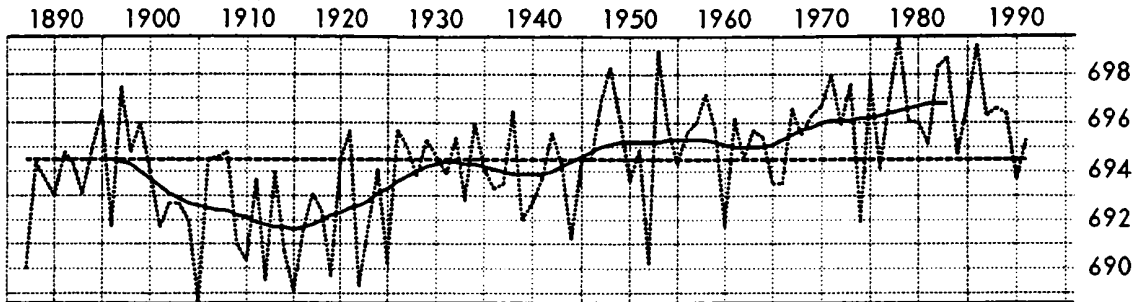


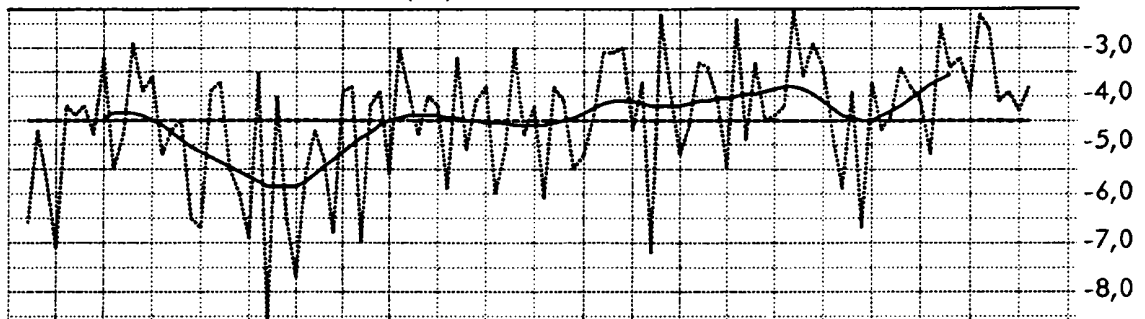
ABBILDUNG 4: Zeitreihen und Klimaelemente auf dem Sonnblick 1887-1991 - Herbst

----- Einzelwerte, ~ gefilterte Werte (Gauß-Tiefpaß-Filterung, $T^* = 20$ Jahre)
 und --- langjährige Mittel

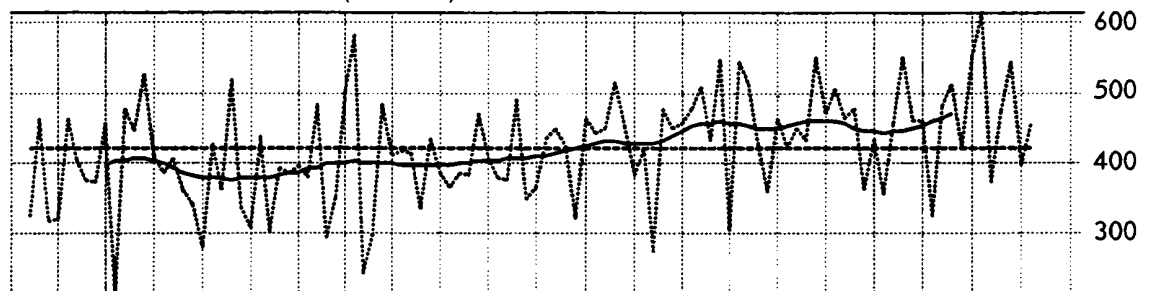
LUFTDRUCK (hPa)



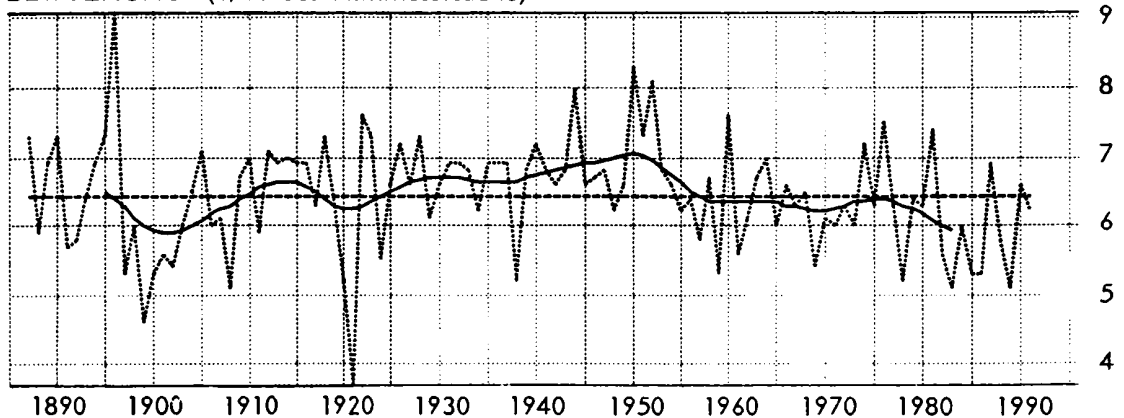
LUFTTEMPERATUR-MITTEL (°C)



SONNENSCHENDAUER (Stunden)

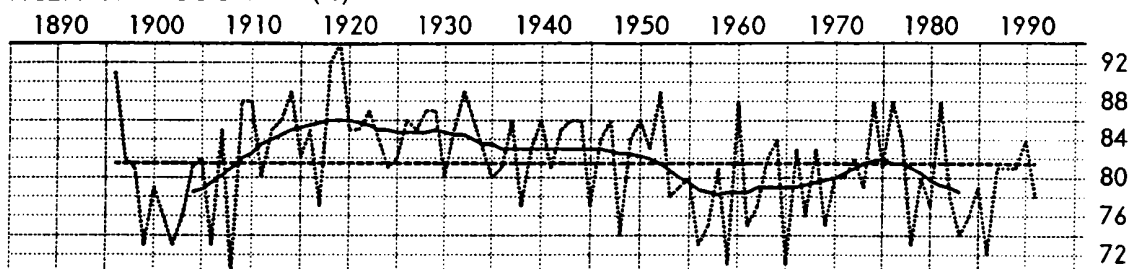


BEWÖLKUNG (1/10 der Himmelsfläche)

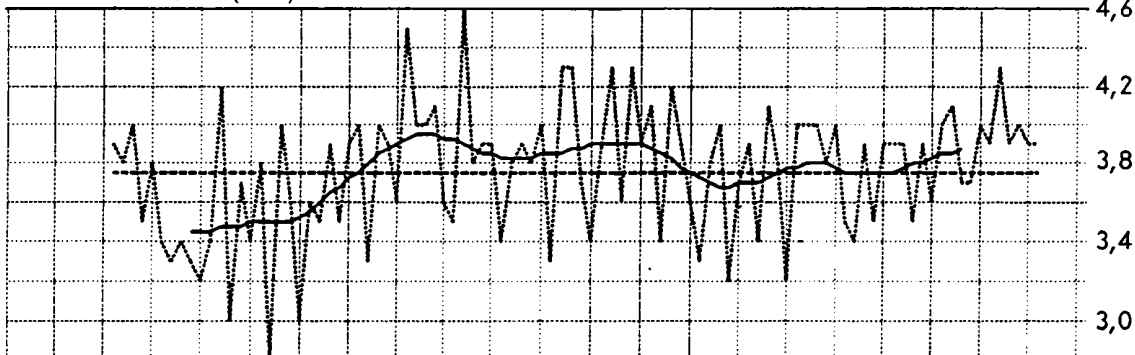


FORTSETZUNG ABBILDUNG 4: HERBST

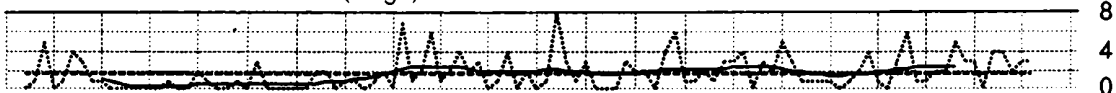
RELATIVE FEUCHTE (%)



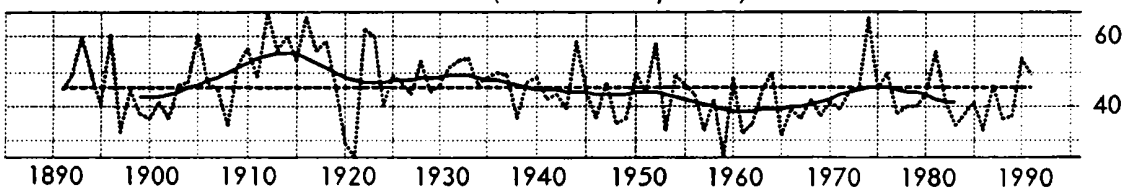
DAMPFD RUCK (hPa)



GEWITTERHÄUFIGKEIT (Tage)

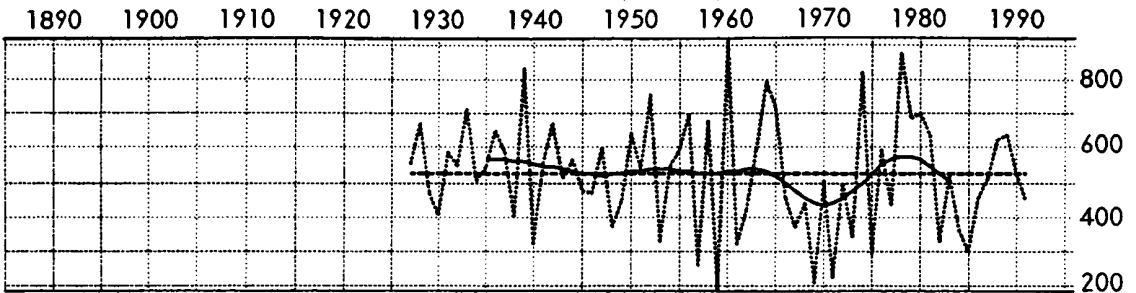


ZAHL DER NIEDERSCHLAGSTAGE (zumindest 0,1 mm)

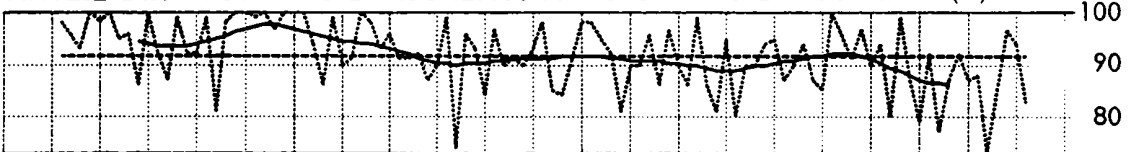


FORTSETZUNG ABBILDUNG 4: HERBST

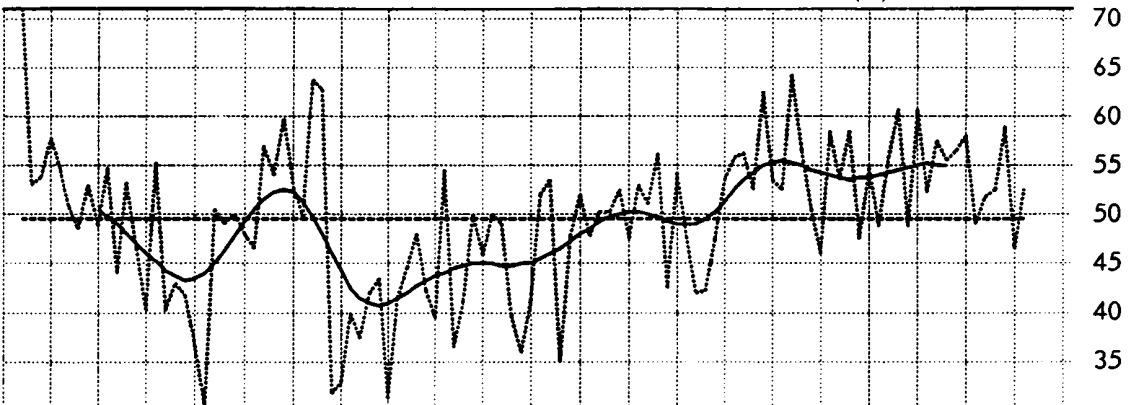
NIEDERSCHLAGSSUMMEN (Totalisator mit Nipherring, mm)



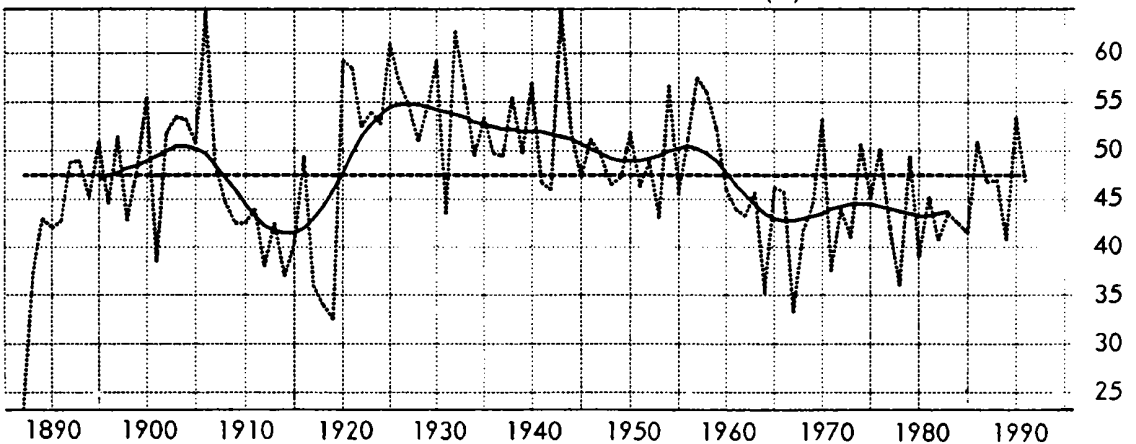
ANTEIL DES FESTEN NIEDERSCHLAGS AM GESAMTNIEDERSCHLAG (%)



RELATIVE HÄUFIGKEIT MERIDIONALER WINDRICHTUNGEN (%)



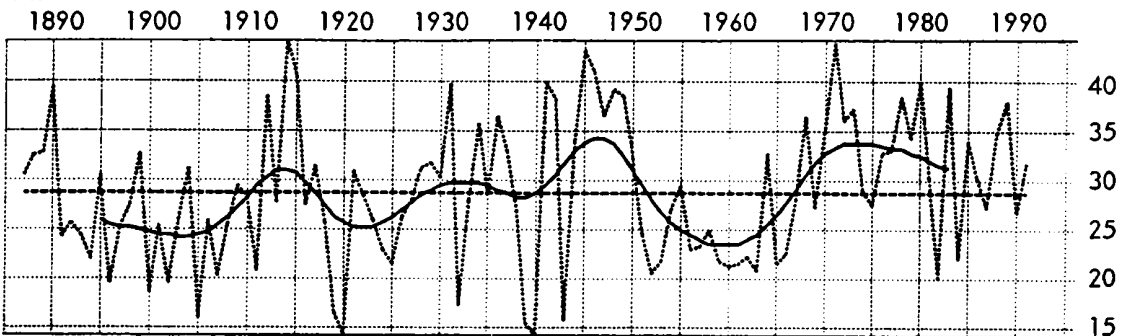
RELATIVE HÄUFIGKEIT ZONALER WINDRICHTUNGEN (%)



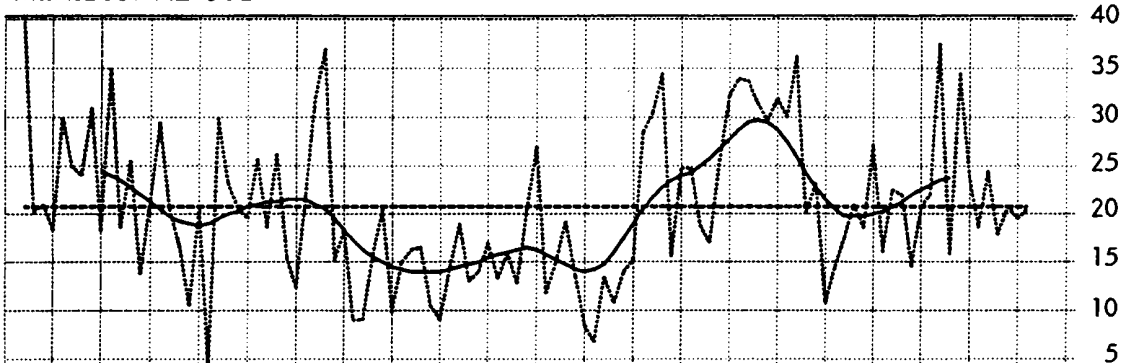
FORTSETZUNG ABBILDUNG 4: HERBST

WINDRICHTUNGSHÄUFIGKEITEN DER VIER HAUPTKOMponentEN (%)

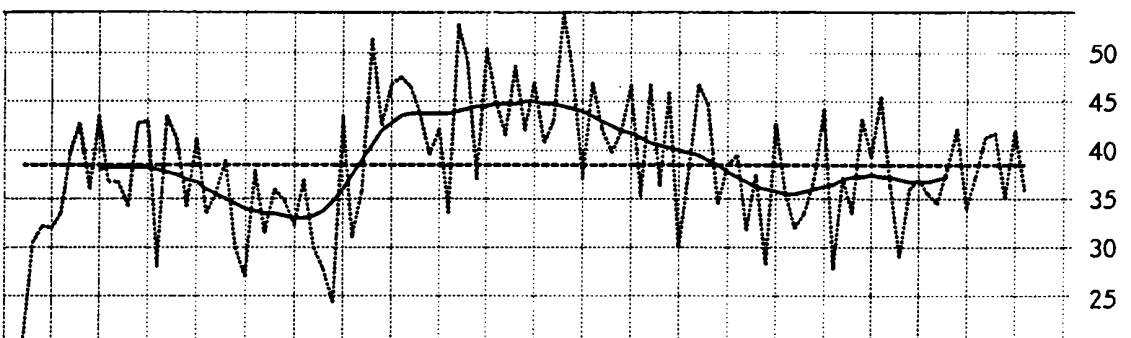
MERIDIONAL NORD



MERIDIONAL SÜD



ZONAL WEST



ZONAL OST

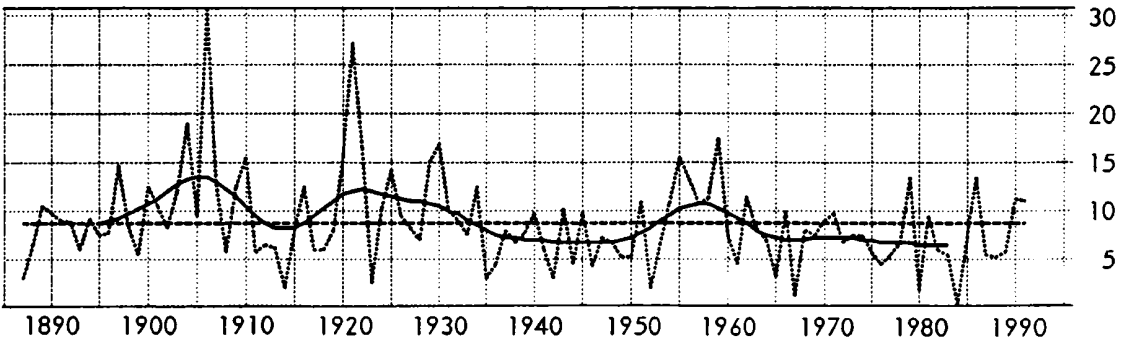
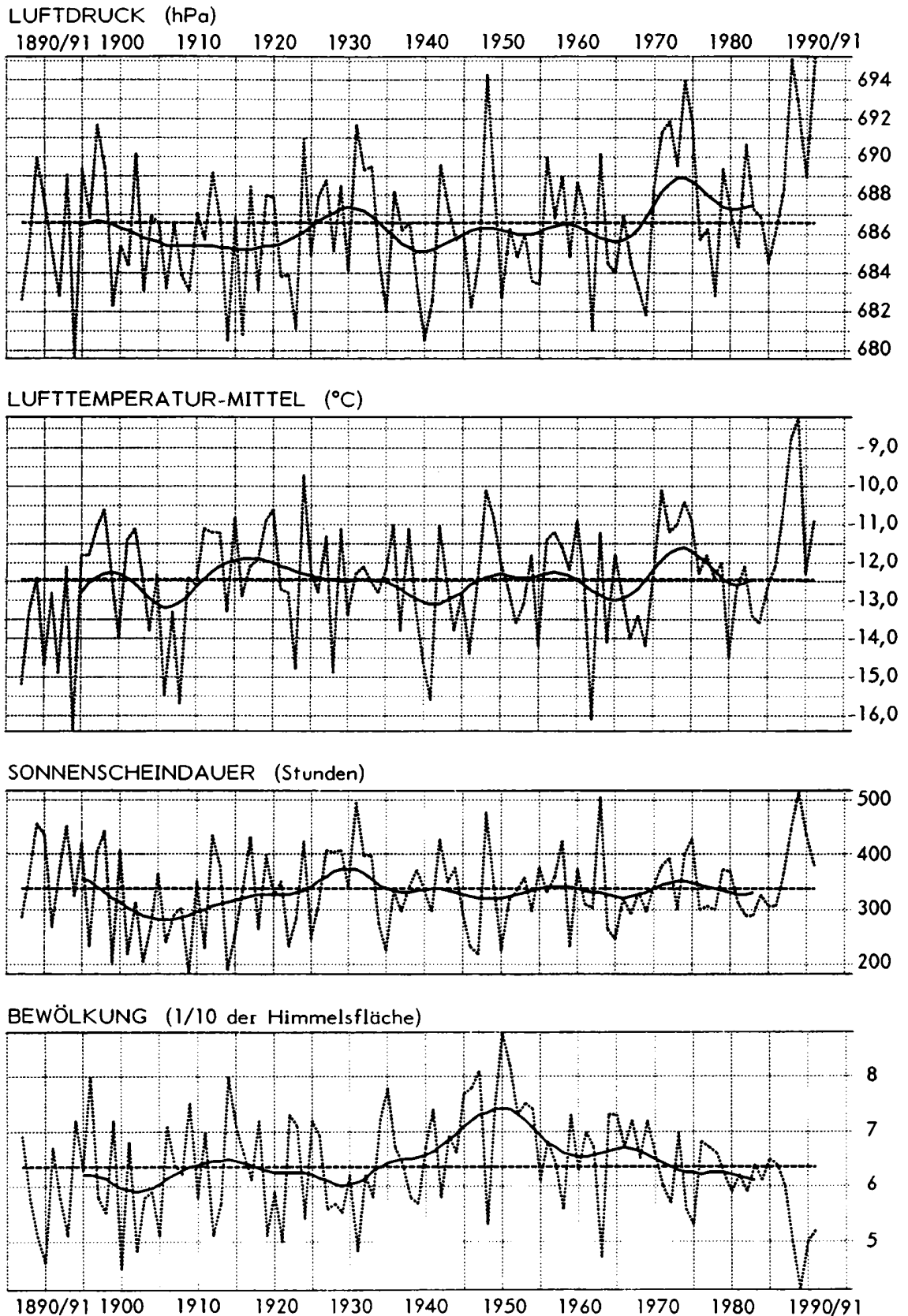
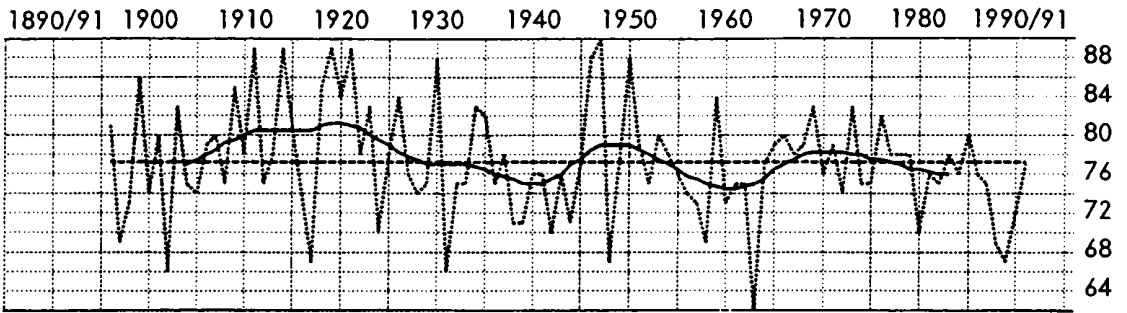


ABBILDUNG 5: Zeitreihen und Klimaelemente auf dem Sonnblick 1887-1991 - Winter
Einzelwerte, ~ gefilterte Werte (Gauß-Tiefpaß-Filterung, $T^* = 20$ Jahre)
 und --- langjährige Mittel

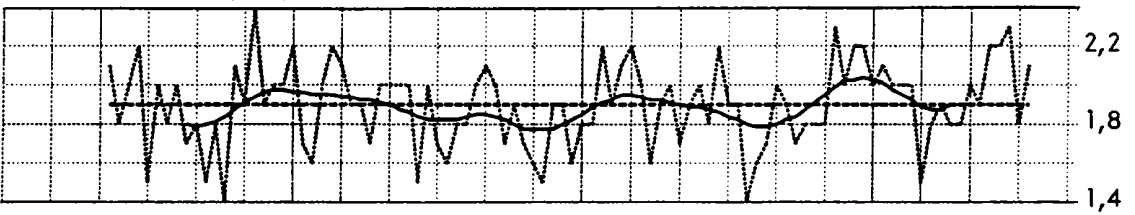


FORTSETZUNG ABBILDUNG 5: WINTER

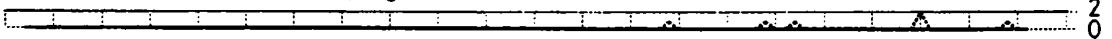
RELATIVE FEUCHTE (%)



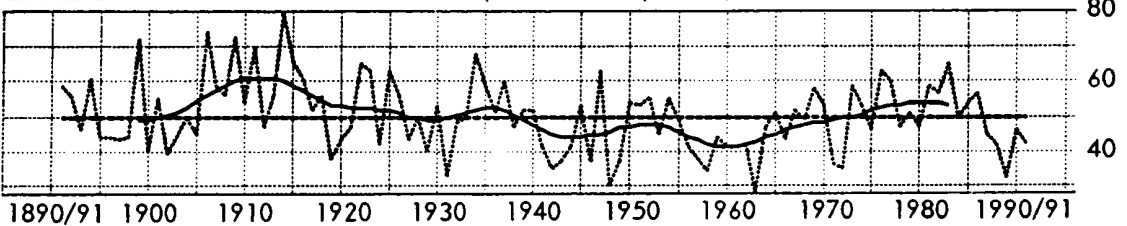
DAMPFDRUCK (hPa)



GEWITTERHÄUFIGKEIT (Tage)



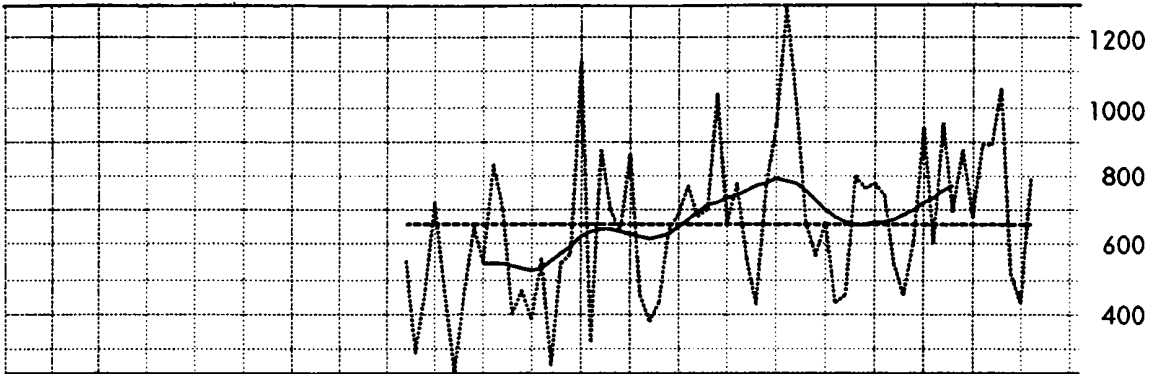
ZAHL DER NIEDERSCHLAGSTAGE (zumindest 0,1 mm)



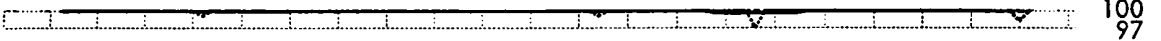
FORTSETZUNG ABBILDUNG 5: WINTER

NIEDERSCHLAGSSUMMEN (Totalisator mit Nipherring, mm)

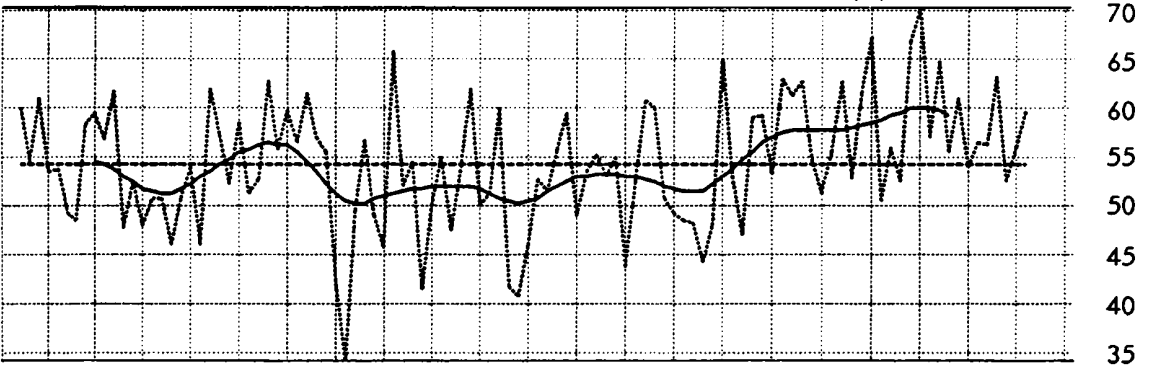
1890/91 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990/91



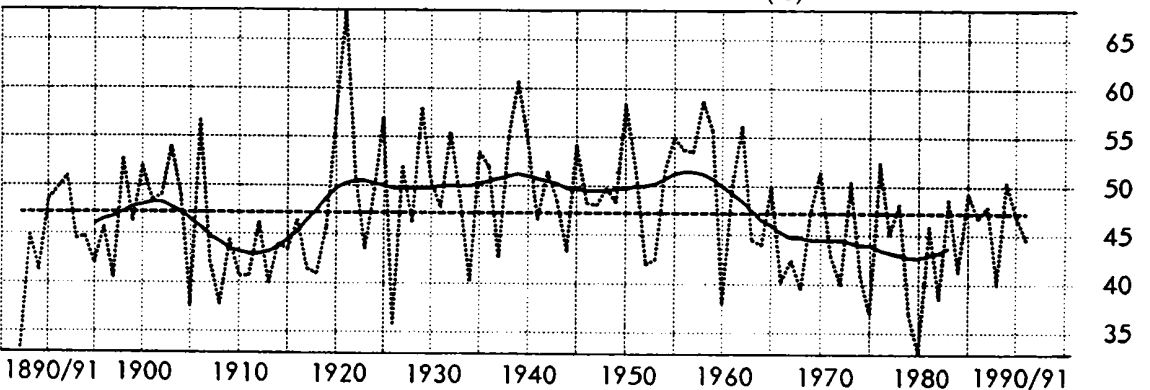
ANTEIL DES FESTEN NIEDERSCHLAGS AM GESAMTNIEDERSCHLAG (%)



RELATIVE HÄUFIGKEIT MERIDIONALER WINDRICHTUNGEN (%)



RELATIVE HÄUFIGKEIT ZONALER WINDRICHTUNGEN (%)

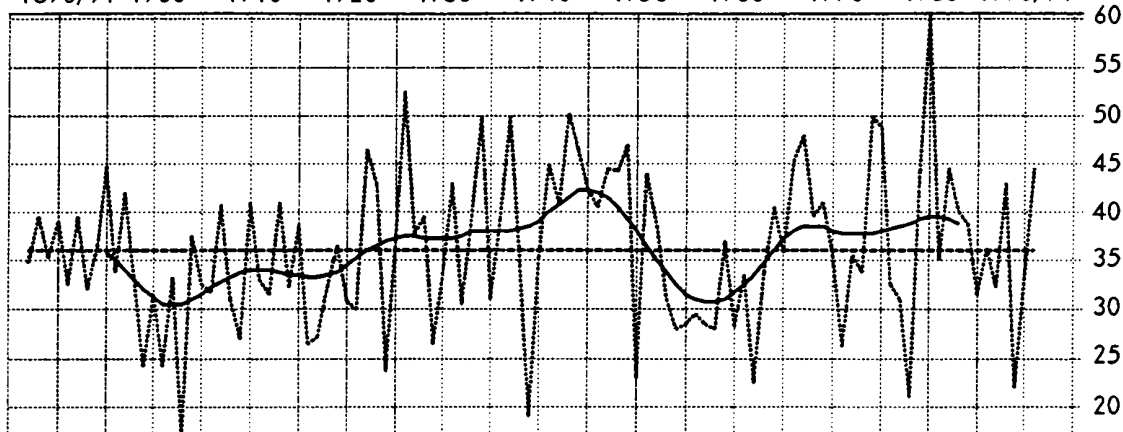


FORTSETZUNG ABBILDUNG 5: WINTER

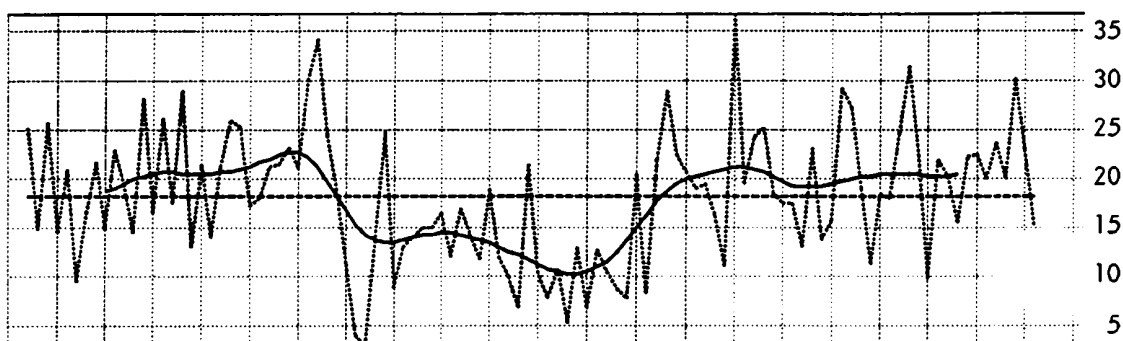
WINDRICHTUNGSHÄUFIGKEITEN DER VIER HAUPTKOMponentEN (%)

MERIDIONAL NORD

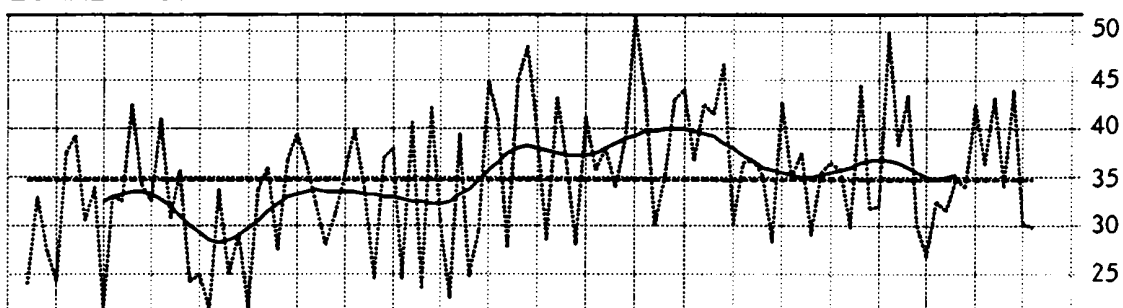
1890/91 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990/91



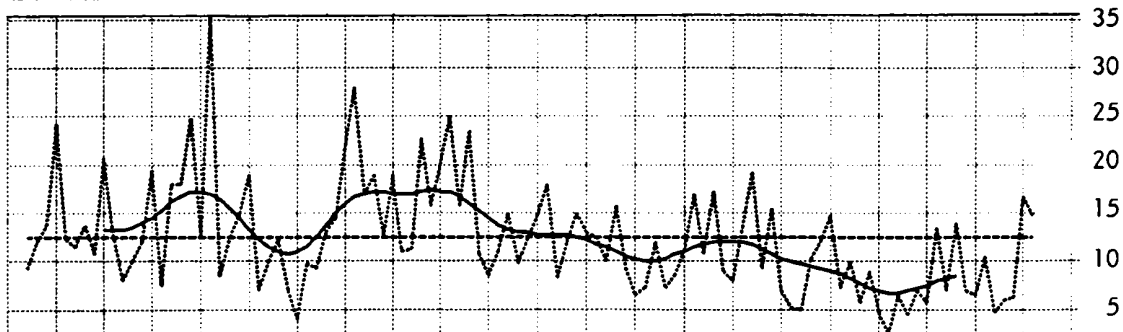
MERIDIONAL SÜD



ZONAL WEST



ZONAL OST



1890/91 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990/91

3.1 Lufttemperatur

Der zeitliche Verlauf der jährlichen Temperaturkurve zeigt niedrige Werte am Beginn der Beobachtungsreihe, ab 1910 ist ein Anstieg bis zu einem Maximum um 1950 zu erkennen. Es folgt ein leichter Rückgang, der aber bereits ab 1968 durch einen neuerlichen Anstieg bis zu den derzeitigen Verhältnissen beendet ist. Dabei ist zu bemerken, daß der Temperaturtrend am Hohen Sonnblick trotz seines geringen durchschnittlichen Jahresmittels von $-6.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ keinerlei signifikante Unterschiede zu den Temperaturtendenzen im übrigen Österreich zeigt (vgl. BÖHM, 1992). Die Differenz zwischen den Hauptextremen der gefilterten Kurve beträgt $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, Einzeljahre schwanken zwischen $-7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Bei der Betrachtung der Jahreszeiten fällt auf, daß diese keine einheitlichen Charakteristiken aufweisen. So zeigt sich der vorhin beschriebene Temperaturanstieg bis 1950 nur im Frühling, Sommer und Herbst, die Wintertemperaturen hingegen weisen keinen ausgeprägten Säkulartrend auf. Der Temperaturanstieg der letzten 20 Jahre hingegen kommt durch Sommer, Herbst und Winter zustande. Am unterschiedlichsten entwickelten sich die Winter- und Sommertemperaturen in der Periode 1910 bis 1920, als die kältesten Sommer- und Herbsttemperaturen gleichzeitig mit der zweitmildesten Winterdekade der gesamten Zeitreihe zusammenfielen. In dieser Phase "ozeanischen Klimas" auf dem Sonnblick waren sowohl die mittlere Tagesschwankung als auch die absolute jährliche Schwankungsweite stark reduziert (Kurven 3 und 4 aus Abb. 1), es wurden die geringsten Werte der Sonnenscheindauer, die maximalen jährlichen Niederschlagstage und der niedrigste Luftdruck beobachtet. Die Kombination dieser atypischen Klimabedingungen führte in der zweiten Dekade des 20. Jahrhunderts zu einem im gesamten Alpengebiet beobachtbaren Gletschervorstoß mit seinem Maximum um 1920. Während der zweiten, schwächeren Gletschervorstoßperiode des 20. Jahrhunderts in den Siebzigerjahren (Höhepunkt um 1980) finden sich in den Sonnblickreihen wieder extrem milde Winter, kühle Herbste aber nun normale Sommer, ein weniger markantes Niederschlagsmaximum, niedrige winterliche Schneeakkumulation (= Schneehöhe 1. Mai), aber relativ hohe "Firnreste" (= Schneehöhe am 1. Oktober) am Ende der glaziologischen Ablationsperiode. Beide besprochenen Vorstoßperioden hinterließen ihre Spuren überall in den Alpen - die deutlich sichtbaren "1920er-Moränen" und die vor einigen Jahren vor den nun neuerlich stark zurückgehenden Gletscherzungen verbliebenen "1980er-Moränen". Im Sonnblickgebiet findet man die am stärksten ausgeprägte 1920er-Moräne im Vorland des Goldbergkeeses in der Nähe des Knappenhauses, 1980er-Moränen kamen in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts vor dem Krumml-, Weißenbach- und Schlapperebenkees zum Vorschein.

Eine sehr ähnliche Entwicklung wie bei den Jahresmitteln der Lufttemperatur findet sich bei den Jahresmaxima (Kurve 5), weniger jedoch bei den Jahresminima, die - bei wesentlich höherer Kurzzeitvariabilität - zwar auch mit niedrigen Werten beginnen, aber im 20. Jahrhundert keinen durchgehenden Trend zu höheren Temperaturen besitzen, eher ein Schwanken um einen relativ konstanten Mittelwert.

3.2 Zusammenhänge zwischen Luftdruck-, Sonnenscheindauer- und Temperaturschwankungen.

Sehr enge Zusammenhänge existieren - sowohl bei den Jahres- als auch bei den Jahreszeitenkurven - zwischen Luftdruck, Temperatur und Sonnenscheindauer. Alle drei Elemente zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf der gefilterten Kurven, also der Langzeitentwicklung, und sie sind auch bezüglich ihrer Kurzzeitvariabilität eng miteinander verknüpft. Das Maß dafür sind die hohen Korrelationskoeffizienten, die den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen sind. Wenn man nun den Luftdruck als Ausdruck der großräumigen Zirkulation als prägenden Faktor regionaler Klimaänderungen postuliert, kann der gleichzeitig erfolgende Anstieg der Sonnenscheindauer und damit der Einstrahlung nach dem Minimum der 2. Dekade des 20. Jahrhunderts wiederum als Erklärung für die parallel dazu ansteigenden Lufttemperaturen verwendet werden. Auch der nach 1950 beobachtbare Temperaturrückgang bis Ende der 60er Jahre als auch die neuerliche Erwärmung in den Achtzigerjahren kann aus den analog verlaufenden Entwicklungen von Luftdruck und Einstrahlung erklärt werden.

TABELLE 1: Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizienten in %) für verschiedene Klimaelemente auf dem Sonnblick - Jahreswerte; Reihe 1939-1991, nur Korrelationen von $\geq 10,31$ angegeben

PPM	TTM	TAMP	TASW	TMA	TMI	SOD	BEW	RFM	VPM	GWH	RRH	RRS	PFN	SNH	SH1	SH2	WRM	WRZ	WRMN	WRMS	WRZW	WRZE	
100	81				35	62	-60		52		-35						52	-48	37		-43	PPM	
	100				35	57	-45		74		-39		-32										TTM
		100						-33															TAMP
			100		-93																		TASW
				100																			TMA
					100																		TMI
						100	-48	-54			-45	-35								32			SOD
							100	50					33	46			-40	43				52	BEW
								100	36		38	37											RFM
									100			-38						-45					VPM
										100													GWH
											100												RRH
												100	30										RRS
													100										PFN
														100	43	47							SNH
															100								SH1
																100							SH2
																	100	-96	44	45	-76	-63	WRM
																		100	-40	-45	81	62	WRZ
																			100	-60		-39	WRMN
																				100	-45		WRMS
																					100		WRZW
																						100	WRZE

PPM: Luftdruckmittel; TTM: Lufttemperaturmittel; TAMP: Mittlere Tagesamplitude der Lufttemperatur; TASW: Absolute Schwankungsweite der Lufttemperatur; TMA: Lufttemperaturmaximum; TMI: Lufttemperaturminimum; SOD: Absolute Sonnenscheindauer; BEW: Bewölkungsmittel; RFM: Mittel der relativen Feuchte; VPM: Dampfdruckmittel; GWH: Gewitterhäufigkeit; RRH: Zahl der Niederschlagstage; RRS: Niederschlagssumme; PFN: Prozentanteil des festen Niederschlages; SNH: Summe der Neuschneehöhen; SH1: Schneehöhe 1. Mai; SH2: Schneehöhe 1. Oktober; WRM: Windkomponente meridional; WRZ: Windkomponente zonal; WRMN: meridional Nord; WRMS: meridional Süd; WRZW: zonal West; WRZE: zonal Ost.

TABELLE 2: Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizienten in %) für verschiedene Klimatelemente auf dem Sonnblick - Jahreszeitenwerte; Reihe: 1939-1991, nur Korrelationen von $\geq 10,31$ angegeben

PPM	TTM	TAMP	TASW	TMA	TMI	SOD	BEW	RFM	VPM	GWH	RRH	RRS	PFN	SNH	SH1	SH2	WRM	WRZ	WRMN	WRMS	WRZW	WRZE		
100	72			31	30	56	-41	-36	54	35	-45	-44	-43										PPM	
	100			32	42	37			89		-34												TTM	
		100	42	-34	37				-54	-34													TAMP	
			100	63	-82				-32														TASW	
				100		45			-33	31													TMA	
					100																		TMI	
						100																	SOD	
							100	-63	-75														BEW	
								100	49														RFM	
									100														VPM	
										100													GWH	
											100												RRH	
												100											RRS	
													100										PFN	
														100									SNH	
															100	43	47						SH1	
																100							SH2	
																	100						WRM	
																		100	-99	40	53	-71	-52	WRZ
																			100	-39	-53	73	51	WRMN
																				100	-57	-37		WRMS
																					100			WRZW
																						100		WRZE

Frühling

PPM	TTM	TAMP	TASW	TMA	TMI	SOD	BEW	RFM	VPM	GWH	RRH	RRS	PFN	SNH	SH1	SH2	WRM	WRZ	WRMN	WRMS	WRZW	WRZE		
100	67			53		55	-57	-47	43	31	-51	-33	-33										PPM	
	100	36		55	43	65	-52	-56	81	41	-39	-34	-62										TTM	
		100				55	-45	-44															TAMP	
			100	56	-67																		TASW	
				100		41	-36	-42	35														TMA	
					100				31														TMI	
						100			30														SOD	
							100	-62	-75														BEW	
								100	59														RFM	
									100														VPM	
										100	39												GWH	
											100												RRH	
												100											RRS	
													100										PFN	
														100									SNH	
															100	43	47						SH1	
																100							SH2	
																	100						WRM	
																		100	-95	50	32	-69	-32	WRZ
																			100	-45	-34	77		WRMN
																				100	-66	-48		WRMS
																					100			WRZW
																						100		WRZE

Sommer

PPM	TTM	TAMP	TASW	TMA	TMI	SOD	BEW	RFM	VPM	GWH	RRH	RRS	PFN	SNH	SH1	SH2	WRM	WRZ	WRMN	WRMS	WRZW	WRZE		
100	72			37		74	-68	-56															PPM	
	100	-32		48	31	55	-51	-50	57														TTM	
		100	30	-35					-39														TAMP	
			100	40	-88																		TASW	
				100																			TMA	
					100																		TMI	
						100																	SOD	
							100	-89	-79														BEW	
								100	77														RFM	
									100														VPM	
										100													GWH	
											100												RRH	
												100											RRS	
													100										PFN	
														100									SNH	
															100	43	47						SH1	
																100							SH2	
																	100						WRM	
																		100	-94	40	38	-75	-39	WRZ
																			100	-36	-38	81	40	WRMN
																				100	-69			WRMS
																					100			WRZW
																						100		WRZE

Herbst

PPM	TTM	TAMP	TASW	TMA	TMI	SOD	BEW	RFM	VPM	GWH	RRH	RRS	PFN	SNH	SH1	SH2	WRM	WRZ	WRMN	WRMS	WRZW	WRZE		
100	79			41	68	-67	-49	46															PPM	
	100	-35	-36	32	57	54	-49	-30	78														TTM	
		100							-32														TAMP	
			100	49	-91																		TASW	
				100																			TMA	
					100																		TMI	
						100																	SOD	
							100	-85	-84														BEW	
								100	76														RFM	
									100														VPM	
										100													GWH	
											100												RRH	
												100											RRS	
													100										PFN	
														100									SNH	
															100	43	47						SH1	
																100							SH2	
																	100						WRM	
																		100	-98	61		-76	-36	WRZ
																			100	-57		78	35	WRMN
																				100	-68	-55		WRMS
																					100			WRZW
																						100		WRZE

Winter

Die beschriebene Gleichartigkeit der Änderungen dieser drei Klimaelemente existiert nicht nur in den Jahres- sondern auch in allen Jahreszeitenkurven. Das läßt die einfache Modellvorstellung als sehr plausibel erscheinen, daß die viel diskutierte Erwärmung des Klimas im 20. Jahrhundert zumindest in den Alpen, für die der Sonnblick eine gute "Backgroundstation" darstellt, hauptsächlich durch den Luftdruckanstieg (als Ausdruck einer geänderten großräumigen Zirkulation) verursacht wird. Das dadurch verursachte Anwachsen der Einstrahlung ist so eng an die analog auftretende Erwärmung gekoppelt, daß eine Änderung der Ausstrahlung (über den CO₂-Effekt) als Erklärung in diesem Fall zumindest nicht die alleinige Ursache sein kann.

3.3 Schwankungen weiterer Klimaelemente

In Untersuchungen über Klimaschwankungen wird das Klima sehr oft allein mit der Lufttemperatur, weniger häufig zusätzlich dem Niederschlag gleichgesetzt. Nur sehr wenig ist bekannt über Änderungen anderer Klimaelemente, obwohl manche von ihnen sowohl von theoretischem Interesse sind als auch hohen praktischen Anwendungswert besitzen, wie beispielsweise der hydrologische Komplex unter Einschluß von Feuchte, Bewölkung, Niederschlag und Schnee. Der Grund für dieses Forschungsdefizit liegt zweifellos in dem Notstand an homogenen Reihen. Der hier vorgestellte Sonnblick-Datensatz ermöglicht zumindest für diese eine qualitativ gute Station eine Annäherung an das Problem der Klimaschwankungen auf multifaktorieller Basis. Es können gegenseitige Abhängigkeiten und Vernetzungen aufgezeigt werden, die, wie bereits beim Beispiel Luftdruck - Sonnenschein - Temperatur gezeigt, Einblick in die Wirkungsweise des Klimasystems erlauben. Einschränkend muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß die räumliche Repräsentanz der Punktmessungen einer Station je nach Klimaelement sehr unterschiedlich ist. Sie reicht von mehreren hundert Kilometern bei Temperaturmitteln (vgl. SCHÖNWIESE et al. 1990) bis zu einigen hundert Metern bei Schneeparametern (vgl. BÖHM und MOHNL, 1987). Für die räumliche Repräsentanz von Niederschlagsdaten liegt eine Untersuchung von AUER, 1992b vor, während über eine große Zahl von anderen Klimaelementen diesbezüglich noch wenig bekannt ist.

Bewölkung: Der Bedeckungsgrad sollte ein der Sonnenscheindauer reziprokes Verhalten zeigen, die einen das Klimasystem wesentlich prägenden Faktor darstellt. Die erwartete Beziehung zwischen Sonnenschein und Bewölkung zeigt sich in den Sonnblick-Reihen jedoch eher bezüglich der Kurzzeitvariabilität der einzelnen Jahre (Jahreszeiten), die mit Hilfe der Korrelationsanalyse meßbar ist. Sie sind auf dem Sonnblick mit $r = -0.48$ (für die Jahreswerte) bzw. -0.62 bis -0.89 (für die Jahreszeitenwerte) deutlich negativ korreliert. Die niedrigfrequenten Langzeitschwankungen der gefilterten Zeitreihen der Bewölkung hingegen zeigen nicht das zu erwartende, der Sonnenscheinkurve entgegengesetzte Bild. Die Bewölkung - als von Beobachtern geschätztes, nicht gemessenes Klimaelement - scheint bezüglich Langzeithomogenität die am wenigsten gesicherte aller hier dargestellten Zeitreihen zu liefern.

Feuchte: Einen höheren Grad von Glaubwürdigkeit besitzen die Feuchtereihen. Markant ist vor allem die Analogie der absoluten Feuchte - hier dargestellt durch den Dampfdruck - zur Temperaturreihe, sowohl was die hochfrequente (Korrelation zwischen +0.57 und +0.89) als auch die niederfrequente Variabilität betrifft. Das ist ein wichtiger Hinweis für Klimaszenarien einer wärmeren Atmosphäre, die offensichtlich mehr Feuchte enthalten würde, wie beispielsweise aus der Erwärmung und gleichzeitigen Erhöhung der absoluten Feuchte der letzten 100 Jahre auf dem Sonnblick ersichtlich ist.

Die relative Feuchte wiederum ist nicht so eng an die Temperaturentwicklung gebunden. Die zu erwartenden negativen Korrelationen sind mit -0.36 bis -0.49 bei den Jahreszeiten und weniger als -0.3 bei den Jahresmitteln relativ gering, und auch die niederfrequenten Variationen der gefilterten Kurven zeigen gegenüber der Temperatur keine sehr enge Bindung. Nur sehr langfristig betrachtet ist über die gesamte Zeitreihendauer eine leichte Abnahme der relativen Feuchte bemerkbar, die Feinstruktur der gefilterten Kurven entspricht jedoch nicht sehr gut derjenigen der Temperatur.

Gewitterhäufigkeit: Sie zeigt einen säkularen Aufwärtstrend von weniger als 15 jährlichen Gewittertagen zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf derzeit durchschnittlich 20 Tage. Die gefilterte Kurve verläuft, wie von den Wirkungsmechanismen her zu erwarten, sehr ähnlich denjenigen von Temperatur, Sonnenschein und absoluter Feuchte, und auch die (später diskutierte) Zunahme der Meridionalität in der Windrichtungsverteilung paßt zu den Modellvorstellungen über Gewitterentstehung. Interessant ist die Tatsache, daß während der letzten Jahrzehnte eine gewisse Verlagerung der Gewittertätigkeit vom Sommer zu den Jahreszeiten Frühling und Herbst und sogar Winter stattgefunden hat, während die Sommergewitter, die immer noch die eindeutige Mehrheit darstellen, derzeit leicht rückläufige Tendenz haben.

Niederschlag: Zurück bis 1891 kann für das Sonnblickobservatorium eine geschlossene Zeitreihe für die Niederschlagshäufigkeit (Zahl der Niederschlagstage) angegeben werden. Sie paßt wieder gut zum Verhalten der Luftdruck- und Sonnenscheinkurven. Niedriger Druck und wenig Sonnenschein zu Beginn der Sonnblickreihen sind begleitet von hoher Niederschlagshäufigkeit und die Erwärmung, der Druckanstieg und die höhere Sonneneinstrahlung im 20. Jahrhundert bewirken eine Abnahme der Zahl der Niederschlagstage.

Die kürzeren Reihen der Niederschlagssummen (vgl. Kap. Datenkritik dieser Arbeit bzw. AUER, 1991 und AUER, 1992c) hingegen gehen nicht parallel zu den Niederschlagshäufigkeiten. Wir finden beispielsweise hohe Niederschlagsmengen in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts, einer Zeit mit niedrigen Niederschlagshäufigkeiten. Das erscheint auf dem ersten Blick paradox, bei genauerer Überlegung wird dieser scheinbare Widerspruch aber verständlich, wenn man in Rechnung stellt, daß die überwältigende Mehrheit der Niederschlagstage solche von geringer Niederschlagsmenge sind, der größte Teil der Jahresniederschlagsmenge an verhältnismäßig wenigen Tagen fällt. Ein ähnlicher Kurvenverlauf der Zeitreihen von Niederschlagshäufigkeit und -menge muß somit nicht

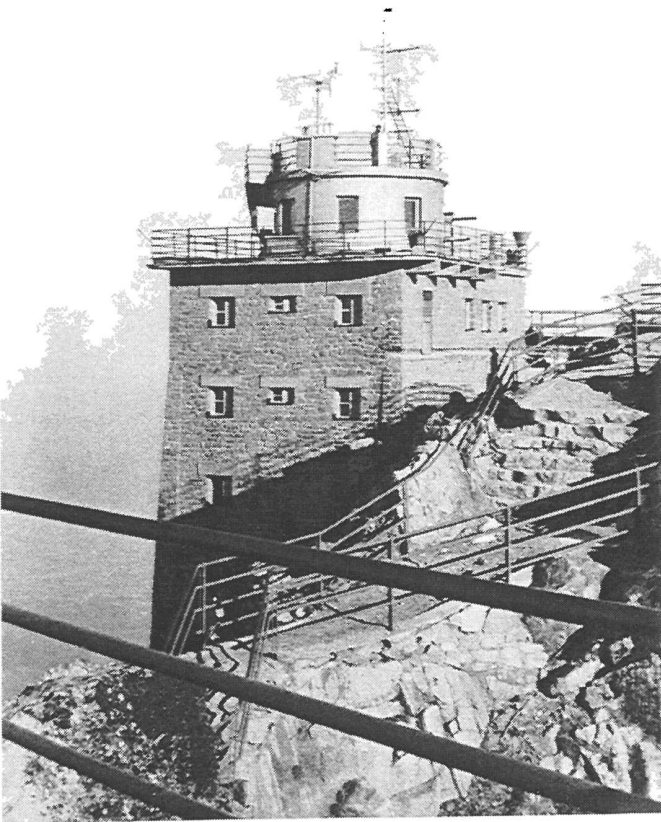


ABBILDUNG 6: Historische Aufnahme des meteorologischen Observatoriums auf dem Lomnický štít von 1960

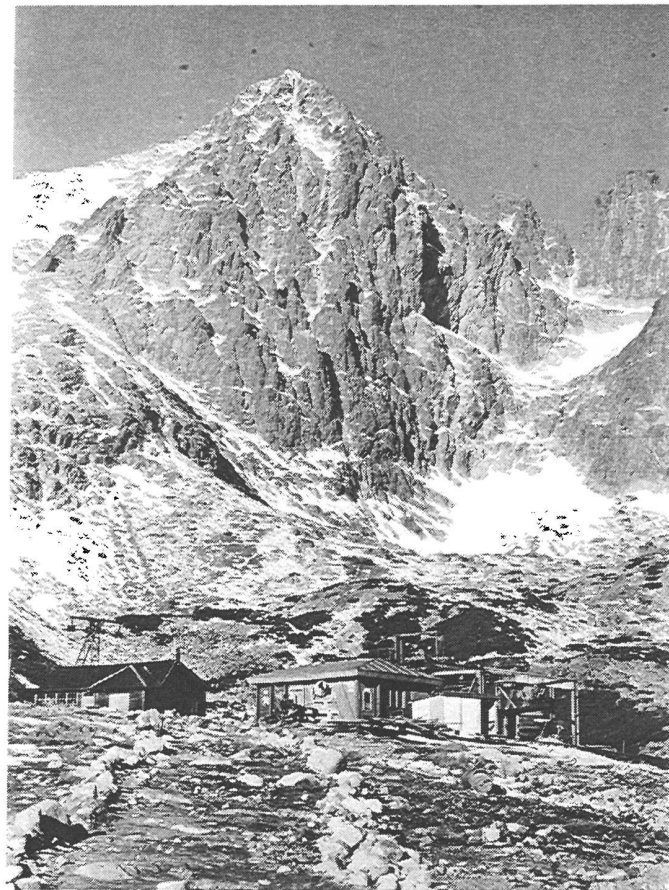


ABBILDUNG 7: Blick auf Lomnický štít von Skalnaté Pleso - Überhöhung von 880 m

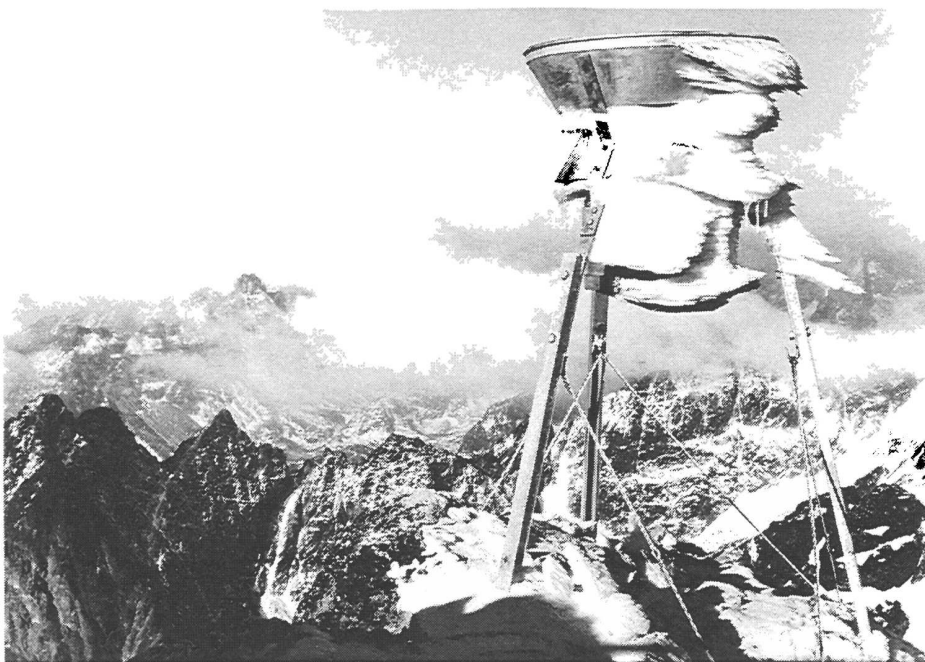


ABBILDUNG 8: Totalisator auf dem Lomnický štít

gegeben sein. Dies verdeutlicht gut eine der Schwierigkeiten, die bei theoretischen Überlegungen bis hin zu komplizierten Modellrechnungen auftreten, wenn Aussagen über Klimaschwankungen bezüglich des Klimaelements Niederschlag gemacht werden sollen.

Anteil des festen Niederschlags: In hochalpinen Regionen fallen große Mengen des Gesamtniederschlags in Form von Schnee. Auf dem Sonnblick beträgt der Anteil des festen Niederschlags am Gesamtniederschlag im langjährigen Mittel 90% (99% im Frühjahr, 68% im Sommer, 92% im Herbst, 100% im Winter), aber auch diese Prozentanteile unterliegen Schwankungen. Das diesbezügliche Bild der Zeitreihen ist sehr klar: der Prozentanteil des festen Niederschlags hat auf die Klimaänderung der letzten 100 Jahre so reagiert, wie zu erwarten war, invers zur Lufttemperatur. Die Form der gefilterten Kurve entspricht sehr genau derjenigen der Sommertemperaturmittel, da die Änderungen im Frühling und Herbst infolge der Nähe zur 100% Marke nur wenig, die Winterverhältnisse überhaupt nichts zur langfristigen Änderung beitragen können. In sehr langfristigem Sinn kann auf dem Sonnblick von einem Rückgang des Anteils des festen Niederschlags von maximalen 93% in der zweiten Dekade des 20. Jahrhunderts (vergleiche die erwähnten Gletschervorstöße) auf derzeit 83% gesprochen werden.

Schneehöhen: Sie gehören, speziell im Hochgebirge, zu den Klimaelementen mit sehr geringer örtlicher Repräsentanz. Wie BÖHM u. MOHNL, 1987 unter Benutzung des dichten Sonnblick- Schneepegelnetzes zeigen konnten, geht die Korrelation von monatlichen Schneehöhen bereits in einer Horizontalentfernung von 1 km auf unter 0.75 zurück und unterschreitet in einer Distanz von 6 km die $r = 0.5$ -Marke. Deshalb besitzen vor allem die Einzelwerte der Zeitreihen der Schneehöhen sicher nur lokale Bedeutung. Die gefilterten Kurven sollten höhere Aussagekraft für größere Gebiete haben, da eine Glättung im Zeitverlauf sicher auch eine Erhöhung der örtlichen Repräsentanz mit sich bringt.

Neuschneesummen: Bei den Reihen der Neuschneesummen fallen die sehr hohen Werte im Hochgebirge auf: 24 m Neuschnee fällt im langjährigen Mittel pro Jahr in der Fleißcharte in der Nähe des Sonnblickgipfels. Dabei treten sehr hohe Schwankungen von minimal 8 m pro Jahr bis maximal 40 m pro Jahr auf. Der geglättete Zeitverlauf korrespondiert gut mit der Schneehöhenkurve des Meßtermins 1. Mai, der etwa dem Schneehöhenmaximum in dieser Höhenlage entspricht, ist aber in schlechter Übereinstimmung mit der Niederschlagsmengenkurve. Dies führt deutlich vor Augen, daß, hauptsächlich verursacht durch die windinduzierte Schneedrift, im Gebirge ein oft markanter Unterschied zwischen dem fallenden und dem abgelagerten Niederschlag besteht (vergleiche HOINKES, 1957). Ein gutes Beispiel für den wesentlich bedeutenderen Einfluß der Sommerwitterung auf das Gletscherverhalten und die relativ geringe Bedeutung der Winterwitterung gibt der Vergleich der Schneehöhenkurven des 1. Mai und des 1. Oktober, die gut die jährlichen Maxima und Minima der Schneeakkumulation in der Dreitausenderregion repräsentieren. Infolge der Lage des Sonnblicks oberhalb der klimatischen Schneegrenze erreicht das durchschnittliche Minimum nach der Abschmelzperiode nicht den Wert Null. Das langjährige Mittel der Schneehöhe am

1. Oktober beträgt 1 m. Dieser Überschuß speist die beiden auf der Fleißcharte entspringenden Gletscher. Dieser Firnrest nach der sommerlichen Ablationsperiode zeigt in seinem Zeitverlauf keinerlei Ähnlichkeit mit dem Verlauf des Schneehöhenmaximums. Die höchsten Winterschneehöhen wurden auf dem Sonnblick zwischen 1940 und 1955 registriert, während in dieser Zeit die Firnreste ihr Minimum erreichten, und die Gletscher sich in vollem Rückzug befanden. Nach 1955 stieg der nach dem Sommer im Nährgebiet der Gletscher verbleibende Schnee an, was zu der bereits erwähnten Vorstoßperiode mit dem Höhepunkt um 1980 führte, während genau in dieser Zeitspanne die Winterschneedecke nur minimale Mächtigkeit aufwies.

3.4 Änderungen der Windrichtungsverteilung - Eine Möglichkeit zur Beschreibung von großräumigen Zirkulationsänderungen?

Die Lage des Observatoriums auf einem exponierten Gipfel des Alpenhauptkammes prädestiniert es vor allem als Standort für Windmessung. Windrichtung und -geschwindigkeit wurden auch von Beginn an auf der Spitze des Observatoriumsturms gemessen. Trotz der günstigen Lage erwies sich die Zeitreihe der Windgeschwindigkeiten an zumindest 2 Stellen als inhomogen. Die Windrichtungen scheinen verwendbar zu sein, wenn auch Unsicherheiten durch den Neubau vor einigen Jahren aufgetaucht sind. Über die Existenz einer diesbezüglichen Inhomogenität kann erst in einigen Jahren entschieden werden. Die Windrichtungen sind in dieser Arbeit dargestellt durch die Zeitreihen der 4 Hauptkomponenten (zonal West, zonal Ost, meridional Nord, meridional Süd) sowie - noch höher aggregiert - durch die Zusammenfassung zu einer Zonal- und einer Meridional Komponente. Die Komponenten konnten nur durch skalare Addition der entsprechenden Richtungshäufigkeiten gebildet werden, da zu einer vektoriiellen Addition homogene Geschwindigkeitsdaten fehlten. Veränderungen in der Struktur der Windrichtungsverteilung sollten gewisse Effekte bei anderen Elementen nach sich ziehen, die etwa sensitiv auf Kontinentalität reagieren. Daß derartige Veränderungen der Windrosen in den Sonnblickdaten auftreten, kann den entsprechenden Zeitreihen der Abbildungen 1 bis 5 entnommen werden. Nach einer 30 jährigen Zeitspanne nicht systematischer Schwankungen gab es eine relativ stetige Entwicklung: Beginnend bei durchschnittlich 45% Meridionalität und 52% Zonalität in den Zwanzigerjahren erfolgte eine Zunahme der Meridional Komponente auf aktuell ca 57% gegenüber 42% der zonalen Richtungskomponente. Innerhalb der meridionalen Strömungen hat die Südkomponente stärker zugenommen als die nördliche. Südliche Winde erreichten ihr Maximum um 1960, während nördliche Strömungen in den 40er und 70er Jahren dominierten. Die erwähnte Abnahme zonaler Strömungskomponenten seit etwa 1920 verlief sehr stetig für die östlichen Winde, während Westwinde um 1940 ein Maximum erreichten und seither abnehmen.

Es fallen keine saisonalen Besonderheiten auf, die beschriebenen Charakteristiken der jährlichen Zeitreihen treten auch in den einzelnen Jahreszeiten auf (vgl. Abbildungen 2 bis 5).

Ein Vergleich der Schwankungen der Windrichtungshäufigkeiten mit den anderen Klimaelementen ist insgesamt widersprüchlich. Die für viele Einzelheiten typische "ozeanische" Klimaphase in der zweiten Dekade des 20. Jahrhunderts fällt nicht zusammen mit Häufigkeitsmaxima von Luftströmungen vom Atlantik oder Mittelmeer. Das Haupttemperaturmaximum fand etwa 10 Jahre vor dem Hauptmaximum der Südwinde statt. Andererseits besteht ein guter Zusammenhang zwischen hohen Niederschlagssummen in den Sechzigerjahren mit dem Maximum der Windrichtungen vom Mittelmeer. Auch die Zunahme der Meridionalität seit den Zwanzigerjahren paßt gut zu dem parallel dazu stattfindenden Luftdruckanstieg.

Insgesamt beurteilt bringt die Analyse der Schwankungen der Windrichtungshäufigkeiten nicht die erwartete Erklärungsmöglichkeit für die Schwankungen der anderen Klimaelemente. Offensichtlich repräsentiert der Sonnblick, trotz seiner anscheinend so günstigen Lage auf dem Alpenhauptkamm, doch nicht die ungestörten Strömungsverhältnisse der freien Atmosphäre im kontinentalen Scale. Es wäre günstig gewesen, die Sonnblick-Windregistrierung als eine Art Tracersignal für die großräumigen Strömungsverhältnisse verwenden zu können und so für diese eine lange Zeitreihe zu gewinnen - dieser Weg scheint aber nicht gangbar zu sein. Sowohl die lokale Orographie als auch das Strömungshindernis der Alpen als Ganzes beeinflussen offenbar die Windrosen des Sonnblicks doch zu stark.

4. Ausblick

Die in dieser Arbeit verwendete multifaktorielle Beschreibung der Klimaschwankungen am Beispiel der Sonnblick-Zeitreihen hat einige neue Aspekte für die Klimaänderungsdiskussion aufgezeigt. Die gleichzeitige Behandlung von Zeitreihen mehrerer Klimaelemente ermöglicht einen gewissen Einblick in die Wirkungsmechanismen innerhalb des vernetzten Klimasystems. Natürlich können derartige Zeitreihenanalysen einer Station nicht globale Modellrechnungen ersetzen, aber sie tragen sicher zu einem besseren Verständnis bei und beinhalten gewisse Verifikationsmöglichkeiten von Modellrechnungsergebnissen. Unsere Intention war es, diese Möglichkeiten anhand des Beispiels einer Station aufzuzeigen. Möglicherweise können derartige multifaktorielle Klimareihen auch für andere qualitativ gute Stationen in anderen Regionen erarbeitet werden, was sicherlich interessante neue Möglichkeiten zum besseren Verständnis der vielen noch offenen Fragen innerhalb des Problemkreises der Klimaschwankungen eröffnen würde.

Literatur

- AUER, I., 1991: An Investigation of Precipitation Trends Based on a Rain-Gauge and Totalizer Network in the Sonnblick-Region (950-3100 m asl.). Proc. of the International Conference: "Mountainous Meteorology, Climatology of the Lower Layers of Troposphere, Stara Lesna, Aug. 26-30 1991, S. 43-48, Slov. Hydromet. Inst., Bratislava.
- AUER, I., 1992a: Precipitation Measurements in a High Alpine Region of Austria - Intercomparison of Different Measuring Systems. WMO-TD-Nr. 462, S. 252-255, Geneva.

- AUER, I., 1992b: Die Niederschlagsverhältnisse seit 1927 im Sonnblickgebiet nach Totalisatorenmessungen ergänzt durch Meßergebnisse von Talstationen nördlich und südlich des Alpenhauptkammes. 86.-87. Jb. d. SBV f. d. J. 1988-1989, S. 3-31, Wien.
- AUER, I., 1992c: Homogenization of Precipitation Series and Fluctuations of Precipitation Totals in Austria Since Mid-19th Century. Proc. of 73 rd. Annual Meeting of AMS, Boston.
- AUER, I., R. BÖHM and H. MOHNL, 1993: Climatic Change on Sonnblick - A Multi Elemental Approach to Describe Climatic Change Using a Centennial Data Set. Proc. of 73 rd. Annual Meeting of AMS, Boston.
- BÖHM, R., 1984: Monographie der Gletscher der Goldberggruppe in den Hohen Tauern. Teil I: Das Wurtenkees. Entwicklung des Gletschers seit 1850. 79.-81. Jb. d. SBV f. d. J. 1981-1983, S. 3-75, Wien.
- BÖHM, R., 1992: Lufttemperaturschwankungen in Österreich seit 1775. Österr. Beiträge z. Met. u. Geophys., Bd. 5, 96 S. Wien.
- BÖHM, R. and H. MOHNL, 1987: Statistische Analysen der Schneehöhen im Gebiet des Hohen Sonnblicks. Zeitschr. f. Gletscherk. u. Glazialgeol., Bd. 23, H. 1, S. 47-63, Innsbruck.
- BÖHM, R. and J. STROBL, 1987: Monographie der Gletscher der Goldberggruppe in den Hohen Tauern. Teil II: Goldberggletscher und Kleines Fleißkees. 82.-83. Jb. d. SBV f. d. J. 1984-1985, S. 3-44, Wien.
- FICKER, H., 1920: Beziehungen zwischen Änderungen des Luftdruckes und der Temperatur in den unteren Schichten der Troposphäre. Sitz. Ber. d. Akad. d. Wiss., Jg. 129, S. 763-810, Wien.
- GUTMANN, J., 1936: Die Aufstellung des Sonnenscheinautographen auf dem Sonnblick. 44. Jb. d. SBV f. d. J. 1935, S. 60-67, Wien.
- HOINKES, H., 1957: Über die Schneeuumlagerung durch den Wind. 51.-53. Jb. d. SBV f. d. J. 1953-1955, S. 27-32, Wien.
- MOHNL, H., 1991: Fluctuations of Snow Parameters in the Mountainous Region of Austria Within the Last 90 Years. Mitteilungsbl. d. Hydrograph. Dienstes in Österr., Nr. 65/66, S. 264-268, Wien.
- PATZELT, G., 1985: The Period of Glacier Advances in the Alps 1965-1980. Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol., Bd. 21, S. 403-407, Innsbruck.
- SCHÖNWIESE, C. D., J. MALCHER and C. HARTMANN, 1990: Globale Statistik langer Temperatur- und Niederschlagsreihen. 2. Aufl., Ber. Inst. Met. u. Geophys. Univ. Frankfurt/Main, Nr. 65.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Ingeborg Auer, Dr. Reinhard Böhm, Dr. Hans Mohnl

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

A-1190 Wien, Hohe Warte 38