

Kapitel 1 | Temperatur und Niederschlag an der Wetterstation Obergurgl, 1953-2011

Michael Kuhn, Ekkehard Dreiseitl, Markus Emprechtinger

Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Bericht sollen die Temperatur- und Niederschlagsdaten der Station Obergurgl (1938 m, 11°01,5'E, 46°52'N) allen BenutzerInnen und InteressentInnen verfügbar gemacht werden. Der praktische Zugriff auf diese und weitere Daten erfolgt über den Pangea Server des Alfred Wegener Instituts, zu dem Links angegeben werden. Ihre Entstehung, Repräsentativität, Genauigkeit, Fehlergrenzen und ihre Anwendbarkeit werden erläutert. Die Möglichkeit der Extrapolation der Daten der Station auf andere Plätze in der weiteren Umgebung von Obergurgl wird gezeigt. Dazu gehören auch die Unterschiede zum Klima anderer Standorte: lokal (Talboden, Hang, Gipfel), regional (Obergurgl / Vent; nördlich oder südlich des Alpenhauptkamms; Alpenrand oder -zentrum) und im Bezug auf die Seehöhe (Vergleich ostalpiner Berg- und Talstationen). Die Änderungen von Temperatur und Niederschlag zeigen, wie dem langfristigen linearen Trend kurzfristige

Schwankungen überlagert sind, und wie diese je nach Jahreszeit verschieden verlaufen.

Abstract

The present report intends to provide and to interpret the records of temperature and precipitation of the weather station of Obergurgl (1938 m, 11°01.5'E, 46°52'N). The data are stored on the Pangea Server of the Alfred Wegener Institute, links are given in the reference list. In this report the most salient features of temperature and precipitation are presented and the methods of data processing and limits of data application are explained. Ways of extrapolating these records over distance and elevation are suggested. Emphasis is given to the discussion of long term temperature trends and shorter fluctuation on a seasonal basis, and to the effects of screening and of elevation in the precipitation fields.

1. Übersicht

Von 1953 bis 2011 wurden an der Station Obergurgl Temperaturen der Luft und des Bodens, Luftdruck, Feuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung laufend registriert, die entsprechenden Instrumente wurden dreimal täglich kontrolliert, wobei auch noch die Bewölkung, die Sichtweite und die Bodenbeschaffenheit festgestellt wurden. Der Niederschlag, die Neuschnee- und Gesamtschneehöhe wurden jeden Morgen notiert. Diese Messungen folgen internationalen Vereinbarungen und den Vorschriften des österreichischen Wetterdienstes (Klinger 1986). Sie sind direkt vergleichbar mit den Daten der Stationen des Hydrographischen Dienstes.

2. Die Wetterstation. Instrumente, Beobachtungen

Die Station (Abb. 1) liegt in 1938 m Höhe bei der Alpinen Forschungsstelle, Universitätszentrum Obergurgl (Abb. 2, 3), am Rand eines asphaltierten Parkplatzes ($11^{\circ}01,5'E$, $46^{\circ}52'N$). Sie ist mit den Standardgeräten des österreichischen Wetterdienstes ausgerüstet, die Beobachtungen erfolgen wie zuvor beschrieben. In den Wintern 1953-70 wurde die Wetterhütte von den Beobachtern vor Ort innen mit Gazetüchern ausgekleidet, um das Eindringen von Treibschnee zu verhindern. Die dadurch entstandenen Fehler in der Temperatur wurden mit einem Vergleich der korrekt gemessenen Temperaturen von Obergurgl



Abb. 1: Die Wetterstation der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) an der Alpinen Forschungsstelle Obergurgl ($11^{\circ}01,5'E$, $46^{\circ}52'N$, 1938 m, Foto: Eva-Maria Koch)



Abb. 2: Die Lage von Obergurgl aus der Sicht von Google Earth. Obergurgl liegt näher am Alpenhauptkamm, der hier rot eingezeichnet ist, als Vent im Nachbartal. Das bedeutet, dass es vom Wolkenstau bei Süd- und Südwestwinden um etwa ein Viertel mehr Jahresniederschlag bekommt als Vent

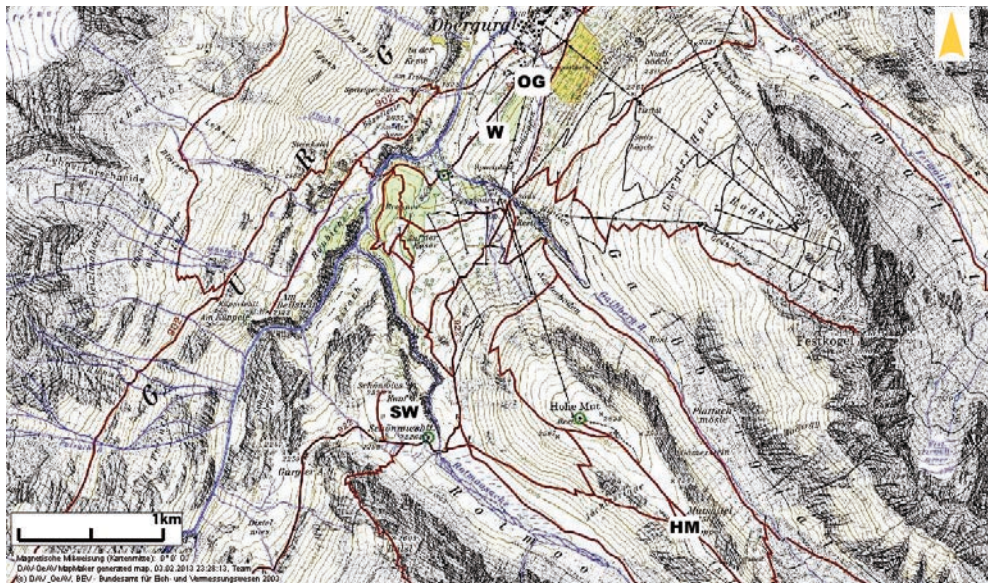


Abb. 3: Ausschnitt aus der Alpenvereinskarte, Blatt Obergurgl. Neben der Wetterstation Obergurgl OG (1938 m) sind auch drei Stationen des Man and Biosphere Projekts (MaB) eingetragen, die von 1978 bis 1981 aktiv waren. W: Station Wiese 1960 m, SW: Station Schönwies 2310 m, HM: Station Hohe Mut 2560 m

und Vent (Abb. 2) aus den Jahren 1971-80 nachträglich korrigiert. Seit 1999 läuft neben den täglichen drei Terminbeobachtungen eine teilautomatische Wetterstation (TAWES), die ihre Messungen an die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Wien überträgt.

3. Kleiner Führer durch die Geschichte der Mittelbildung

Die Wetterbeobachtungen werden im Österreichischen Wetterdienst zu bestimmten Terminen durchgeführt: um 7 h, 14 h und 19 h bzw. 21 h MEZ. Die seit 1980 wieder eingeführte Sommerzeit (SZ) wird bei den selbstschreibenden Geräten nicht berücksichtigt, die Augenbeobachtungen erfolgen um 8 h, 15 h und 20 h SZ, also beim gleichen Sonnenstand wie zu den Beobachtungen 7 h, 14 h, 19 h MEZ.

Die aus diesen Termin- und den Extremwerten (Maximum und Minimum) gebildeten Mitteltemperaturen stellen eine Näherung an das „wahre Mittel“ dar, das aus den 24 Stundenwerten gerechnet wird und für alle Zwecke hinreichende Genauigkeit hat. Die heutigen digitalen Datenerfassungen wie die TAWES liefern diese wahren Tagesmittel.

In den hier diskutierten Zeitreihen befindet sich eine Unstetigkeitsstelle im Jahre 1971, als die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und der Hydrographische Dienst ihre Beobachtungstermine umstellten: mit dem 1.1.1971 wurde die 21 h-Beobachtung durch den Termin 19 h ersetzt. Dadurch ergaben sich bei den Langzeitreihen Inhomogenitäten, die anhand der Temperatur im Folgenden erklärt werden sollen.

Mittelbildung der Temperatur bis einschl.

31.12.1970:

Tagesmittel = $(T7 + T14 + T21)/3$, wobei T7 die Temperatur zur Zeit der Frühbeobachtung bedeutet,

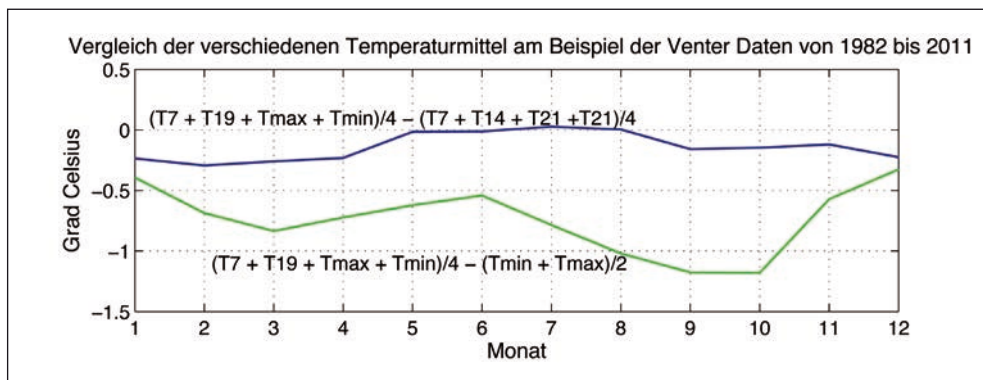


Abb. 4: Differenzen der verschiedenen Temperaturmittel am Beispiel der Venter Daten von 1982 bis 2011

Monatsmittel = $(T7+T14+T21+T21)/4$, in der Literatur meist als Klimamittel bezeichnet.

Mittelbildung seit 1.1.1971:

Tagesmittel = $(T_{\max} + T_{\min})/2$

Monatsmittel = $(T7+T14+T_{\max}+T_{\min})/4$

Um Klarheit und Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden im folgenden Text auch seit 1953 nur die Temperaturmittel $(T_{\max}+T_{\min})/2$ verwendet. Der mittlere Fehler der Messungen wird als 0,1 bis 0,2 °C angenommen.

Detailuntersuchungen (Siogas 1972, Böhm 1992) haben gezeigt, dass die Differenzen der Mittelbildungen für Stationen in verschiedenen Höhenlagen im Bereich von 0,2 bis 1,5 °C liegen und deshalb bei der Homogenisierung von Zeitreihen zu berücksichtigen sind. Da für die Station Vent auf vergleichbarer Höhe mit Obergurgl über eine Zeitspanne von 30 Jahren sowohl die 19 h als auch die 21 h Terminwerte vorliegen (Institute of Meteorology and Geophysics 2013 a, b), sei hier beispielhaft in Abb. 4 der Jahresgang

dieser Differenzen für Vent wiedergegeben. Derselbe Datensatz ist auch die Grundlage für die Tab. 1. Abb. 4 und Tab. 1 zeigen, dass die Mittelbildung mit $(T_{\max}+T_{\min})/2$ deutlich höhere Werte ergibt, also Achtung bei Vergleichen!

4. Diagramme der Temperatur und des Niederschlags der einzelnen Jahre 1953-2011

Die Diagramme (Abb. 5), die für jedes Jahr von 1953 bis 2011 auf dem Pangea Server liegen (Institute of Meteorology and Geophysics 2013 a), verwenden Ablesungen des Maximumthermometers und des Minimumthermometers zum Abendtermin [Monatsmittel werden aus $(T_{\max} + T_{\min})/2$ in °C berechnet] sowie Tageswerte des Niederschlags aus Handablesung des Ombrometers (Gebirgsregennmesser mit 500 cm²).

Tab. 1: Die verschiedenen Temperaturmittel am Beispiel der Venter Daten von 1982 bis 2011

Temperaturmittel in °C													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Auf	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$(T7+T19+T_{\min}+T_{\max})/4$	-5,8	-6,0	-3,0	0,5	5,6	8,7	10,8	10,2	6,9	3,5	-2,0	-5,1	2,0
$(T7+T14+T21+T21)/4$	-5,6	-5,7	-2,7	0,7	5,7	8,7	10,8	10,2	7,1	3,7	-1,8	-4,9	2,2
$(T_{\min}+T_{\max})/2$	-5,4	-5,4	-2,2	1,2	6,3	9,2	11,6	11,3	8,1	4,7	-1,4	-4,8	2,8

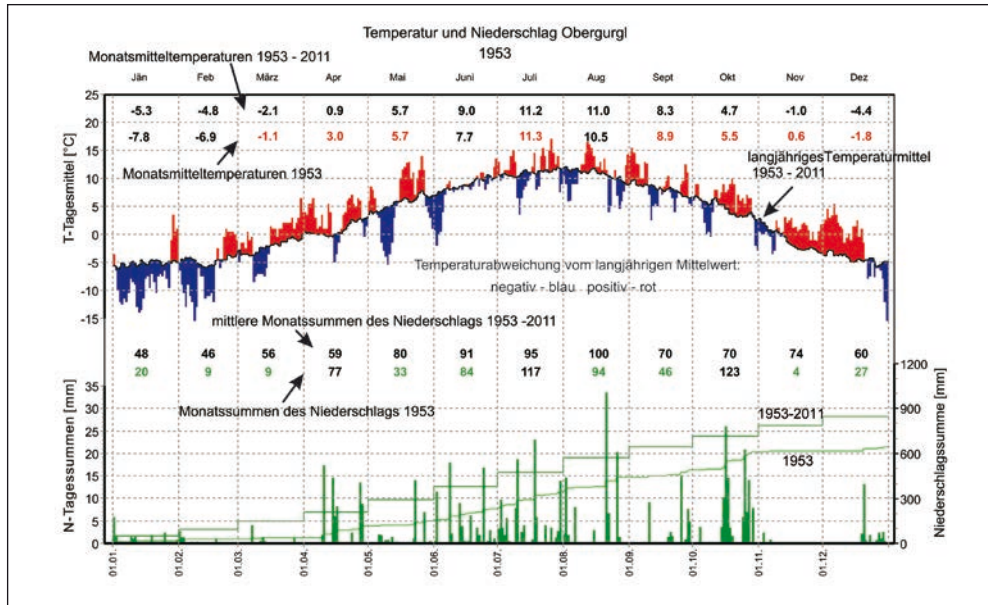


Abb. 5: oben – Monatsmittel der Temperatur $(T_{\max}+T_{\min})/2$ der gesamten Periode 1953-2011, Monatsmittel des laufenden Jahres in Zahlen, schwarze Kurven der Tagesmittel 1953-2011, dazu Tagesmittel des laufenden Jahres. Rot ausgefüllt sind positive Abweichungen, blau negativ;
unten – Mittlere Monatssummen des Niederschlags der Periode 1953-2011, darunter Monatssummen des laufenden Jahres. Die Tagessummen des Niederschlags sind im laufenden Jahr als grüne Säulen (linke Skala), ihre Aufsummierung und die Summierung der Monatsmittel der Periode 1953-2011 als Stufen (rechte Skala) zu lesen

5. Die Temperaturen und ihre Extremwerte

Die Monatsmittel der Temperaturen $(T_{\max} + T_{\min})/2$ von Obergurgl sind in Tab. 2 zusammengefasst. Die Extremwerte und die Mittel $(T_{\max}+T_{\min})/2$ der Stationen Obergurgl, Vent und Innsbruck sind in der Abb. 6 gegenübergestellt. Ihnen allen gemeinsam

ist, dass die absoluten Maxima und Minima, da sie für jeden Tag des Jahres nur einen, von den anderen unabhängigen Wert darstellen, stark schwanken. Die Monatsmittel der Extremwerte der 59 Jahre sind dagegen ausgeglichener und liegen viel näher aneinander. Die Mitteltemperaturen, die als Mittel aus Maxima und Minima berechnet werden, haben verständlicherweise einen ganz ähnlichen Verlauf wie die Extremwerte.

Tab. 2: Monatsmittel der Temperaturen $(T_{\max}+T_{\min})/2$ von Obergurgl, 1953-2011

Temperaturmonatsmittel in °C													
JZ	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
1953	-7,8	-6,9	-1,1	3,0	5,7	7,7	11,3	10,5	8,9	5,5	0,6	-1,8	3,0
1954	-9,4	-6,6	-1,0	-0,6	3,8	8,9	8,0	9,0	8,3	4,1	-1,2	-3,8	1,6
1955	-4,0	-6,4	-3,3	0,5	4,7	8,8	10,1	9,0	7,0	2,9	-1,9	-2,3	2,1
1956	-4,5	-13,8	-3,6	-0,2	5,6	6,1	10,5	9,9	9,7	2,9	-3,7	-5,6	1,1
1957	-5,8	-2,5	1,6	1,1	2,9	9,5	9,9	9,5	7,2	5,5	-0,1	-5,2	2,8
1958	-6,5	-2,3	-5,3	-0,6	8,5	8,2	11,4	11,7	9,8	2,9	-0,4	-4,3	2,8
1959	-7,4	-2,9	0,9	2,1	5,9	9,0	11,8	9,6	9,2	4,5	-2,5	-4,7	3,0
1960	-7,0	-3,8	-1,0	0,5	6,2	9,9	8,6	10,0	6,2	2,8	-1,3	-4,9	2,2
1961	-6,0	-2,6	-0,8	4,6	4,2	10,1	9,3	10,7	11,9	5,3	-0,8	-4,3	3,5
1962	-5,1	-6,8	-6,0	0,4	4,1	7,9	10,0	12,2	8,0	4,7	-3,7	-7,8	1,5
1963	-11,0	-8,7	-2,5	2,2	5,0	9,0	11,8	10,3	8,5	4,7	0,6	-7,5	1,9
1964	-6,1	-4,4	-2,5	2,0	7,2	10,7	11,8	9,8	8,6	1,5	-0,4	-5,6	2,7
1965	-5,2	-11,1	-3,1	-0,8	3,8	10,2	9,8	9,6	6,7	6,9	-2,2	-4,6	1,7
1966	-7,5	0,0	-3,3	2,8	5,4	10,2	9,7	9,7	10,8	5,9	-4,8	-5,8	2,8
1967	-6,3	-4,7	-1,2	-0,1	5,5	7,6	12,6	11,1	8,1	7,3	0,4	-7,3	2,8
1968	-8,4	-4,0	-3,0	2,3	4,8	8,4	9,9	8,8	7,2	6,5	-0,1	-6,2	2,2
1969	-5,9	-8,8	-3,4	-0,1	7,0	7,0	11,4	9,0	9,4	7,2	-1,2	-9,8	1,8
1970	-5,3	-7,2	-6,0	-1,8	3,2	10,1	10,6	10,4	9,5	4,0	0,9	-5,8	1,9
1971	-4,9	-5,8	-6,8	3,0	6,9	7,5	11,9	13,0	6,8	5,8	-2,0	-1,4	2,8
1972	-5,1	-2,3	0,2	0,2	4,4	7,9	9,8	10,1	4,5	2,7	-0,7	-1,9	2,5
1973	-3,8	-6,6	-3,8	-2,5	6,3	9,7	9,8	12,7	8,8	3,5	-1,3	-5,2	2,3
1974	-2,1	-3,5	-0,8	0,3	4,2	7,1	10,4	11,9	7,9	-2,8	-2,4	-3,0	2,3
1975	-2,4	-3,6	-3,0	0,6	5,6	7,1	10,9	10,5	10,5	3,4	-1,7	-3,2	2,9
1976	-5,2	-2,5	-3,6	0,9	6,2	9,9	11,1	8,1	5,7	5,8	-2,5	-6,8	2,3
1977	-5,2	-3,6	1,1	-0,4	4,9	8,5	10,5	9,1	6,7	6,9	-2,0	-2,4	2,8
1978	-5,1	-4,8	-2,3	-0,7	3,3	7,6	9,8	9,7	7,4	4,5	1,4	-2,7	2,3
1979	-7,9	-4,0	-1,7	-1,5	4,7	9,1	9,6	9,6	8,1	6,2	-2,5	-3,0	2,2
1980	-7,0	-3,3	-2,3	-2,4	3,5	7,0	9,3	12,3	9,4	2,9	-1,2	-6,2	1,8
1981	-8,2	-6,4	0,3	2,9	5,1	9,2	9,6	11,2	8,3	3,2	-2,5	-7,0	2,1
1982	-3,6	-4,5	-3,3	-0,5	5,9	10,1	12,4	10,8	10,9	4,3	1,1	-4,1	3,3
1983	-2,1	-7,4	-0,8	1,7	4,4	9,6	14,8	11,3	9,0	5,2	0,8	-3,8	3,6
1984	-6,0	-7,6	-4,8	-0,9	3,1	7,9	10,9	10,3	6,3	5,3	2,6	-3,1	2,0
1985	-9,5	-4,8	-3,5	0,4	5,8	7,4	12,9	10,8	10,2	5,9	-4,0	-1,5	2,5
1986	-6,8	-9,1	-1,5	0,2	8,0	8,9	10,6	11,3	9,1	6,3	0,8	-4,2	2,8

Temperaturmonatsmittel in °C													
1987	-6,9	-3,3	-6,5	1,4	2,7	7,7	12,1	10,8	11,3	6,4	-0,7	-1,6	2,8
1988	-2,6	-5,4	-4,7	2,4	7,3	8,0	12,1	11,6	8,4	6,9	-1,8	-3,8	3,2
1989	-0,8	-0,7	1,2	1,0	5,9	7,0	11,1	11,0	7,8	5,6	-1,0	-1,2	3,9
1990	-2,6	-0,4	0,5	0,0	6,9	8,7	11,7	12,1	7,0	6,6	-2,1	-7,2	3,4
1991	-3,3	-6,4	1,2	-0,3	1,5	8,3	13,0	12,5	10,3	3,8	-1,1	-4,7	2,9
1992	-3,1	-3,7	-1,8	0,7	7,3	8,7	12,3	14,4	8,8	1,9	0,7	-3,2	3,6
1993	-2,3	-3,9	-3,2	1,9	7,6	9,7	10,2	11,8	7,0	4,0	-2,4	-3,2	3,1
1994	-3,9	-4,6	2,0	0,0	6,6	9,7	14,1	13,1	8,8	4,4	2,6	-1,8	4,3
1995	-7,2	-1,9	-4,1	1,5	5,8	7,1	14,0	10,2	5,7	8,6	-1,9	-4,4	2,8
1996	-2,1	-6,9	-3,8	1,8	6,1	10,5	10,6	10,0	4,8	3,5	-1,4	-3,7	2,5
1997	-2,0	-1,8	0,2	-1,1	6,0	9,0	9,9	12,2	10,6	4,5	0,0	-3,3	3,7
1998	-3,7	0,4	-2,6	1,2	6,5	10,3	12,1	12,4	7,5	3,4	-4,3	-4,6	3,2
1999	-3,0	-7,5	-1,6	1,3	7,6	8,3	11,9	11,6	10,2	5,0	-3,2	-5,2	3,0
2000	-5,7	-3,7	-1,8	2,1	7,9	10,9	9,4	12,6	8,8	5,2	-1,0	-2,1	3,6
2001	-4,8	-4,5	0,6	-0,6	8,3	8,1	11,9	13,1	4,7	8,3	-1,6	-7,5	3,0
2002	-3,6	-1,2	0,0	1,0	6,9	12,1	11,8	11,0	6,0	4,4	0,4	-3,1	3,8
2003	-6,6	-7,1	-0,5	0,8	8,4	14,2	12,7	15,2	7,8	0,9	1,2	-3,1	3,7
2004	-7,3	-4,6	-3,0	1,2	4,2	8,9	10,7	12,0	8,3	6,2	-1,2	-3,3	2,7
2005	-6,6	-9,3	-2,4	1,6	6,8	10,4	11,3	9,3	8,9	7,1	-1,7	-7,8	2,3
2006	-6,0	-5,7	-3,9	2,1	6,3	10,6	14,8	8,3	11,3	7,8	1,0	-1,1	3,8
2007	-1,6	-1,4	-1,1	6,1	7,7	11,0	11,9	11,0	6,2	3,7	-2,6	-4,6	3,9
2008	-2,8	-1,6	-3,1	0,5	7,3	11,0	11,3	12,1	7,1	5,6	-0,9	-4,5	3,5
2009	-6,1	-6,3	-3,1	3,6	8,6	9,4	12,1	13,6	9,6	3,7	0,8	-6,4	3,3
2010	-7,3	-5,9	-2,9	2,2	5,0	9,8	13,5	10,8	6,9	3,2	-1,2	-7,3	2,2
2011	-5,0	-2,6	-0,5	4,3	8,0	10,0	9,7	13,1	10,2	4,6	3,9	-3,4	4,4
Mittel	-5,3	-4,8	-2,1	0,9	5,7	9,0	11,2	11,0	8,3	4,7	-1,0	-4,4	2,8

Die absoluten Minima haben im Winter an allen drei Stationen eine starke Varianz, die damit erklärt werden kann, dass die extrem kalten Luftmassen von Russland und Ukraine nur sehr selten mit Ostwinden nach Tirol kommen, damit im Winter nur in wenigen Jahren starke Abkühlung bringen, im Sommer aber unauffällig bleiben, weil ihr Ursprungsgebiet dann ähnliche Temperaturen wie die Alpen hat.

Die Schwankungen der Winterminima scheinen an den drei Stationen Obergurgl, Vent und Innsbruck von ähnlicher Größe zu sein, es fällt aber auf, dass Obergurgl und Vent Anfang März eine positive Spitze in ihren absoluten Minima haben, die in Innsbruck nicht vorkommt, die aber in den beiden Ötztaler Stationen selbst im mittleren Maximum bemerkbar ist. Andererseits treten die „Eisheiligen“ Mitte Mai in den drei Stationen nicht

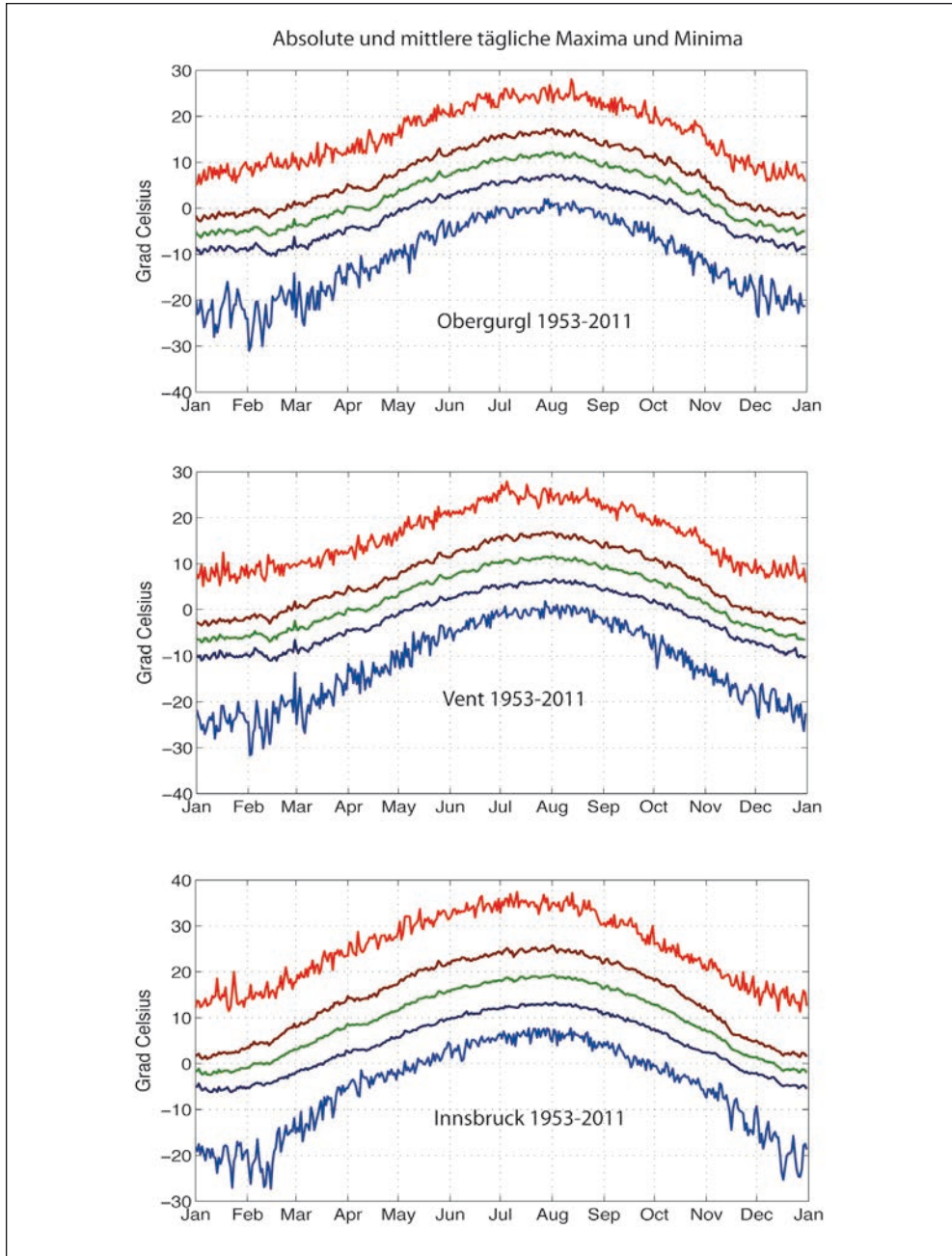


Abb. 6: Absolute und mittlere tägliche Maxima und Minima und Mittelwerte der Temperatur $(T_{\max} + T_{\min})/2$ der Stationen Obergurgl (1938 m), Vent (1890 m) und Innsbruck (580 m) über die Periode 1953-2011

in Erscheinung. Positive Abweichungen der Temperatur Ende Mai sind in Obergurgl und Vent auffällig.

6. Trends in der Temperatur, Vergleich mit anderen Stationen

Bei der Analyse der Trends in den Temperaturreihen wurde Wert darauf gelegt, kurzfristige Schwankungen auszuschließen. Die einzelnen Jahresmitteltemperaturen wurden daher in zehnjährig übergreifende oder gleitende Mittel zusammengefasst: Mittel 1953 bis 1962, Mittel 1954 bis 1963 usw. In Abb. 7 wurde das Jahresmittel mit den Monaten Januar bis Dezember berechnet, das Sommermittel mit den Monaten April bis September und das Wintermittel von Oktober bis März. Die Jahresmittel (Januar bis Dezember) von Obergurgl in Abb. 7 haben einen ganz ähnlichen linearen Trend wie die Halbjahresmittel (April bis September bzw. Oktober bis März), die Steigungen der Geraden unterscheiden sich nicht signifikant. Im Verlauf der geglätteten Mittelwerte der drei Perioden gibt es dagegen deutliche Unterschiede: Jahreswerte scheinen von einem tiefen Niveau in den Achtzigerjahren auf ein höheres anzusteigen, Sommerwerte steigen seit dem Dekadenmittel 1972-81 fast kontinuierlich an, Winterwerte steigen mit Unterbrechungen bis 1987-96 an und fallen bis 2001-2010 um fast 1 °C ab. Dabei muss man berücksichtigen, dass die Extremwerte von zehnjährig geglätteten Mit-

teln nicht immer mit den Extremwerten der Einzeljahre übereinstimmen. Die jahreszeitlichen Trends sind in Obergurgl und Vent sehr ähnlich, in Innsbruck haben sie einen glatteren Verlauf, dort ist die Abnahme der Wintertemperaturen im letzten Jahrzehnt schwächer (Institute of Meteorology and Geophysics 2013d).

Abb. 8 zeigt die Abweichung der gleitenden Dekadenmittel der Lufttemperatur vom langfristigen Mittel für das Jahr, den Sommer und den Winter. Dass hier die Jahreshälften eine größere Amplitude haben als das Jahr, ist statistisch zu erwarten.

Die kühlen Sommer der 1960er und 70er Jahre waren zugleich niederschlagsreich. Zusammen mit milden, schneereichen Wintern waren das Bedingungen, in denen die Öztaler Gletscher so wie die meisten Alpengletscher anwachsen und vorstoßen konnten. Die darauf folgende Erwärmung hat diesen Vorstoß schon lange aufgezehrt.

Der Trend der Temperaturen kommt auch in den ungeglätteten Dekadenmitteln (Tab. 3) zum Ausdruck. Hier liegen die Temperaturen der letzten Dekade durchwegs über denen der ersten. Das Jahresmittel ist von der ersten zur vierten in Obergurgl um 1,0 °C, in Vent um 1,1 °C und in Innsbruck um 1,3 °C gestiegen.

Die Differenzen zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat sind in Innsbruck deutlich größer als an den besser durchlüfteten Höhenstationen Obergurgl und Vent. Bei den Gipfelstationen Sonnblick, Zugspitze und Patscherkofel (Abb. 9) sind diese Differenzen nur noch ca. 13 °C.

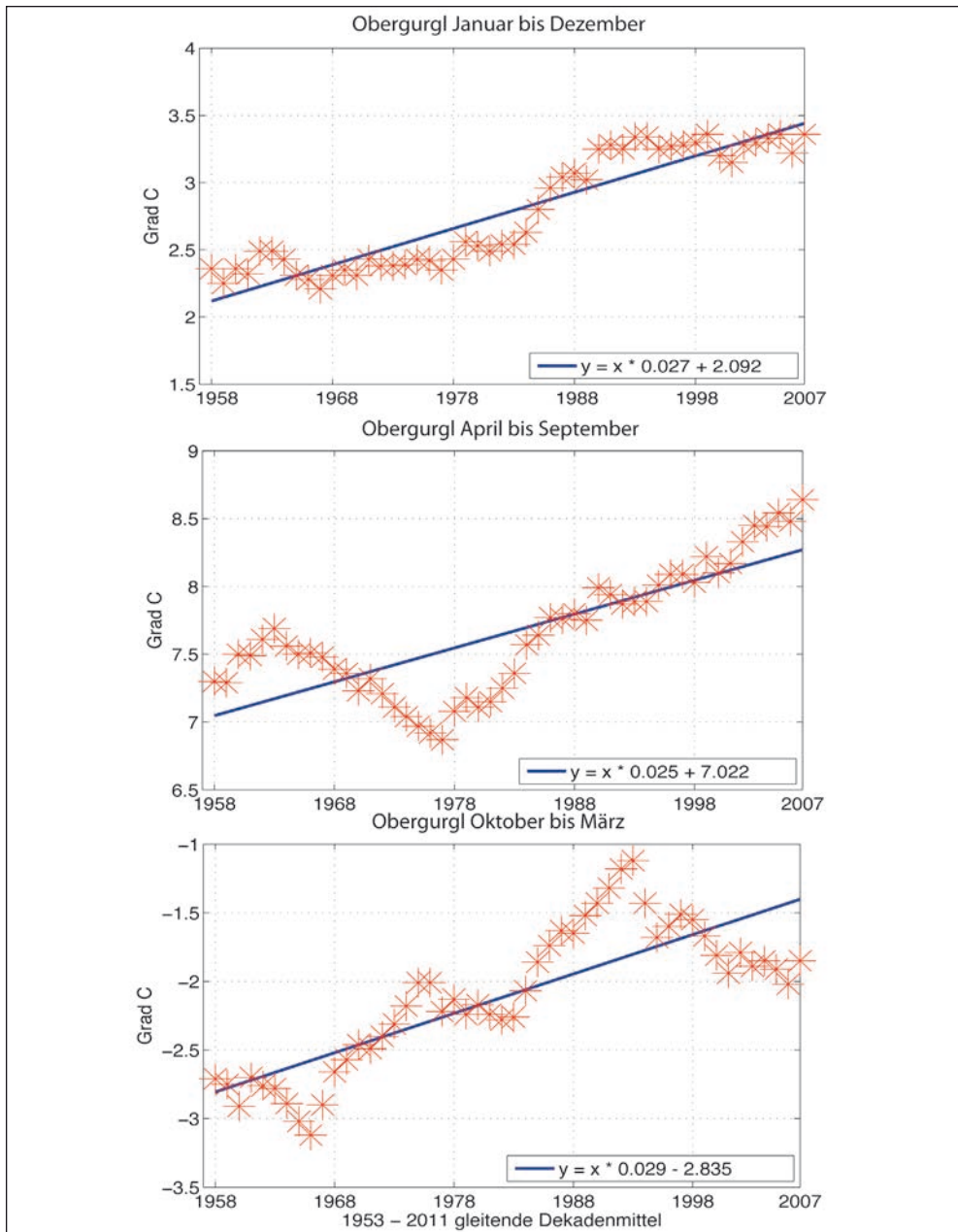


Abb. 7: Trend der Temperaturen $(T_{max}+T_{min})/2$ der Station Obergurgl mit zehnjährig übergreifenden Mitteln (rote Kreuze) und dem linearen Trend (schwarze Linie). Der Wert 1958 gilt für das Mittel 1953-1962, der Wert 2007 für das Mittel 2002-2011. Sommerhalbjahr April-September, Winterhalbjahr Oktober-März

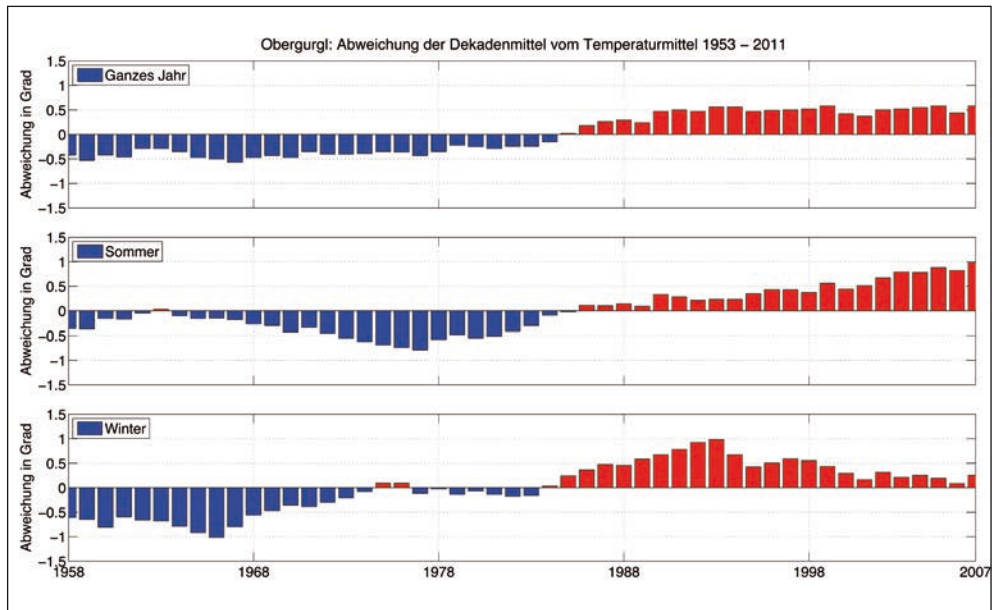


Abb. 8: Abweichung der gleitenden Dekadenmittel 1953-62 bis 2002-2011 von der Mitteltemperatur der Periode 1953-2011. Der Wert 1958 gilt für das Mittel 1953-1962, der Wert 2007 für das Mittel 2002-2011. Es lässt sich keine wesentlich andere Aussage als in Abb. 7 machen. Hier wird aber deutlich, dass die Kombination von milden (schneereichen) Wintern mit kühlen (niederschlagsreichen) Sommern Ende der 60er, Anfang der 70er Jahre die Gletscher der Ötztaler Alpen anwachsen ließ und danach dort ein starker Gletscherrückgang eintrat

7. Niederschlag

Tab. 4 zeigt die Monats- und Jahressummen des Niederschlags von Obergurgl. Im Vergleich zur Temperatur, die in den Alpen homogen verteilt ist, ist der Niederschlag zeitlich und räumlich sehr variabel. Obergurgls geringster Jahresniederschlag war 564 mm im Jahr 1976, der höchste war 1242 mm im Jahr 2002; zweimal hat es Monatssummen über 300 mm gegeben (Mai 1983, November 2002), einmal nur 1 mm (Oktober 1995). Die im langjährigen Mittel trockensten Mo-

nate sind Januar und Februar, die geringsten Einzelwerte hat der Oktober.

Wenn sich bei Südföhn Wolken am Alpenhauptkamm stauen, hängen sie oft so weit über den Kamm nach Norden, dass sie das Gebiet von Obergurgl mit Niederschlag versorgen. Vent im Nachbartal ist gerade außerhalb dieser Stauzone, sodass es trockener bleibt (Abb. 2 und 10). Abb. 10 zeigt auch, dass es gerade die föhnreichsten Monate (März, April, Oktober, November) sind, in denen Obergurgl deutlich mehr Schnee und Regen bekommt als Vent.

Tab. 3: Monatsmittel der Temperatur der Station Obergurgl für 4 Dekaden in °C und Vergleich der Daten von Obergurgl, Vent und Innsbruck. Delta T entspricht der Differenz zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat

Obergurgl												
(Tmin+Tmax)/2	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
1972-1981	-5,2	-4,1	-1,6	-0,3	4,8	8,3	10,1	10,5	7,7	3,6	-1,5	-4,1
1982-1991	-4,4	-5,0	-2,2	0,5	5,2	8,4	12,2	11,3	9,0	5,6	-0,5	-3,5
1992-2001	-3,8	-3,8	-1,6	0,9	7,0	9,2	11,6	12,1	7,7	4,9	-1,3	-3,9
2002-2011	-5,3	-4,6	-2,1	2,4	6,9	10,8	12,0	11,6	8,2	4,7	0,0	-4,5
1972-2011	-4,7	-4,4	-1,9	0,9	6,0	9,2	11,5	11,4	8,2	4,7	-0,8	-4,0

	Obergurgl		Vent		Innsbruck	
(Tmin+Tmax)/2	Jahr	Delta T	Jahr	Delta T	Jahr	Delta T
1972-1981	2,4	15,7	1,9	16,3	9,4	18,3
1982-1991	3,0	17,1	2,5	17,7	9,8	18,7
1992-2001	3,3	16,0	2,8	16,5	10,4	17,0
2002-2011	3,4	17,3	3,0	17,9	10,7	20,7
1972-2011	3,0	16,1	2,6	16,8	10,1	19,4

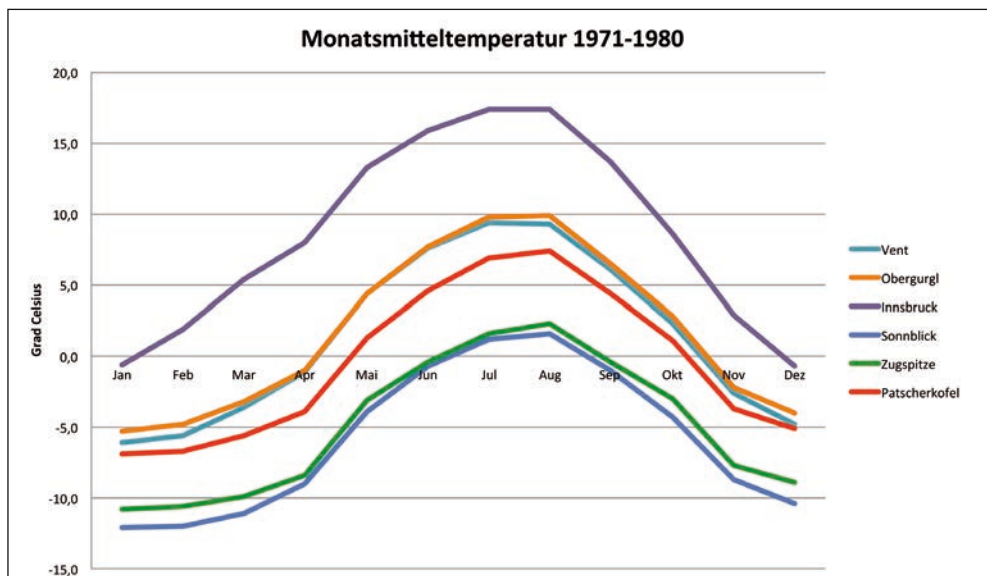


Abb. 9: Mittlerer Jahresgang der Temperatur an Stationen in verschiedener Höhenlage. Für diese Stationen waren nur die Klimamittel $(T_7 + T_{19} + T_{min} + T_{max})/4$ verfügbar (s. Tab. 1)

Tab. 4: Monats- und Jahressummen des Niederschlags von Obergurgl

Niederschlag Obergurgl in mm													
JZ	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
1953	20	9	9	77	33	84	117	94	46	123	4	27	643
1954	51	18	21	42	89	105	110	134	68	23	9	135	805
1955	17	55	23	40	51	61	87	59	92	23	31	47	586
1956	47	14	76	55	76	134	104	117	124	104	40	14	905
1957	35	79	21	55	66	141	143	128	67	24	85	29	873
1958	62	91	48	99	65	124	120	97	54	126	61	142	1089
1959	38	15	56	78	86	92	77	51	11	90	71	99	764
1960	67	49	83	61	36	83	110	113	256	188	84	96	1226
1961	26	119	26	41	116	80	104	70	16	87	74	76	835
1962	98	79	67	107	135	45	85	86	78	26	101	92	999
1963	50	33	110	64	71	95	83	155	67	22	89	35	874
1964	19	43	104	49	53	117	86	120	34	128	82	73	908
1965	31	16	60	63	161	109	125	84	191	2	65	89	996
1966	34	52	61	47	94	97	131	220	48	77	176	83	1120
1967	59	60	73	67	79	103	69	110	82	31	56	26	815
1968	105	14	34	47	70	113	101	101	66	24	137	38	850
1969	58	40	37	41	64	107	74	93	33	2	55	28	632
1970	24	140	82	76	41	45	61	194	63	58	45	29	858
1971	30	58	64	34	78	82	65	73	39	5	94	41	663
1972	28	32	14	115	66	119	165	55	38	62	61	14	769
1973	44	27	41	52	60	79	88	79	76	85	81	76	788
1974	46	29	75	58	55	67	70	111	71	44	72	80	778
1975	66	9	111	78	94	69	103	156	68	51	105	15	925
1976	46	17	7	29	60	16	110	36	52	137	26	28	564
1977	104	74	59	114	133	88	81	101	25	26	30	34	869
1978	54	36	60	24	95	64	91	67	61	75	17	27	671
1979	32	47	134	76	74	125	58	102	153	39	142	119	1101
1980	30	38	49	26	64	87	75	38	21	178	48	57	711
1981	114	19	123	25	141	78	169	64	145	138	53	91	1160
1982	111	8	32	11	48	103	105	137	33	80	42	49	759
1983	81	20	41	60	311	46	38	79	59	29	61	61	886
1984	32	106	30	62	115	72	27	67	141	78	26	39	795
1985	59	38	50	68	98	103	90	181	35	22	50	33	827
1986	182	37	34	106	100	76	73	121	38	31	16	70	884

Niederschlag Obergurgl in mm													
1987	50	119	55	49	113	92	85	144	48	55	89	46	945
1988	34	39	99	18	72	107	82	129	40	71	28	100	819
1989	14	67	26	146	37	111	150	63	53	14	53	53	787
1990	13	136	42	62	42	122	68	40	43	82	71	59	780
1991	33	18	37	44	116	96	100	26	49	60	56	114	749
1992	8	39	133	68	17	139	103	63	36	127	111	66	910
1993	33	29	37	84	65	76	119	84	79	204	25	79	914
1994	90	28	36	69	86	71	85	77	94	22	70	48	776
1995	92	39	67	58	61	123	126	105	87	1	44	74	877
1996	21	23	41	41	104	81	92	144	41	166	171	18	943
1997	12	37	46	60	55	150	81	67	23	62	90	65	748
1998	32	12	44	123	30	119	119	77	94	137	57	32	876
1999	46	136	67	62	141	110	76	97	135	49	93	63	1075
2000	43	64	137	61	50	97	140	117	103	180	201	21	1214
2001	35	0	79	85	24	138	119	108	67	35	69	44	803
2002	10	58	89	62	176	97	95	124	98	43	335	55	1242
2003	55	14	7	32	59	61	90	94	23	163	89	122	809
2004	81	64	48	59	67	73	96	54	67	80	61	38	788
2005	63	49	23	61	50	38	99	171	66	97	42	75	834
2006	31	61	54	59	96	74	83	102	43	65	29	32	729
2007	56	42	72	10	101	83	76	158	94	19	82	28	821
2008	62	8	48	81	88	93	157	76	71	59	125	95	963
2009	27	71	100	53	21	66	125	84	51	33	103	72	806
2010	25	30	38	21	125	92	51	232	97	83	121	80	995
2011	25	31	37	8	54	119	84	86	123	76	13	110	766
Mittel	48	46	56	59	80	91	95	100	70	70	74	60	848

Der Vergleich der Monatssummen verschiedener Höhenstationen in Abb. 10 zeigt, dass, anders als bei der Temperatur, selbst die Dekadenmittel verschiedene Größe und verschiedenen zeitlichen Verlauf haben. Auch wenn Niederschlagsmessungen auf Gipfeln aerodynamisch gestört sind, stimmen die Größenordnungen der Werte von Zugspitze und Sonnblick. Sie sind so hoch, weil die

Stationen nicht durch höhere Gipfel abgeschirmt sind (Fliri 1975). Der Patscherkofel bei Innsbruck wird im Norden und Süden von höheren Gebirgsketten abgeschirmt, so dass sich sein Niederschlag kaum von dem der Stadt unterscheidet. Diese Unterschiede im Niederschlag sind höher als die erwähnten Messfehler von Gipfelstationen.

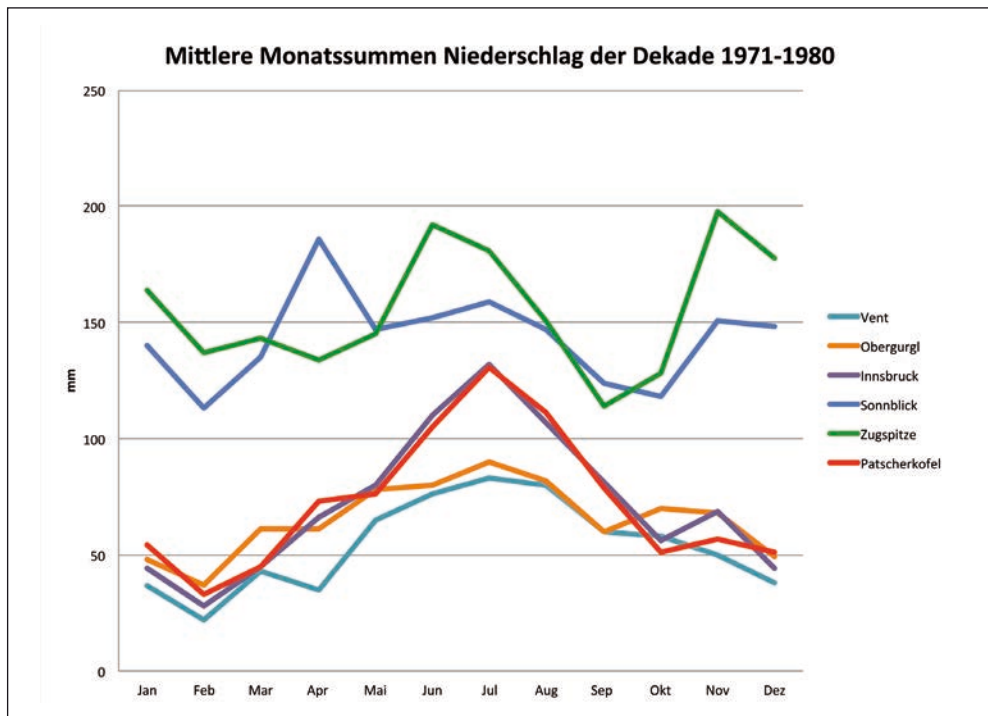


Abb. 10: Mittlere Monatssummen des Niederschlags von Obergurgl (1971-80) im Vergleich zu anderen Höhenstationen

8. Höhengradienten des Niederschlags und der Temperatur

Das Klima der Alpen, ausgedrückt z.B. durch Temperatur und Niederschlag, ist im lokalen Maßstab (< 1 km) keine lineare Funktion der Höhe, des Abstands vom Alpenrand, oder der Exposition, hier ist die lokale Topographie mit ihrem Einfluss auf den Wind und die Strahlungsbilanz wichtiger als die Höhe. In einem regionalen Maßstab von 10-100 km kann aber die Abhängigkeit von der Höhe, der Exposition (N/S) oder von der Vegetati-

on einheitlich sein. Den Einfluss des Abstands vom Alpenrand, der Abschirmung durch höhere Berge und den der Höhe hat Fliri (1975) ausführlich erklärt und belegt.

Wetterstationen und Totalisatorenmessungen in der weiteren Umgebung von Obergurgl zeigen in den tieferen, abgeschirmten Tälern keine Zunahme des Niederschlags mit der Höhe. Erst ab etwa 1800 m Höhe nimmt der Niederschlag bis zu den höchsten Messpunkten zu (Abb. 11). In diesem Bereich ist die Zunahme in den vier Tälern ähnlich, rund 100 mm Jahresniederschlag pro 100 m Seehöhe. Aus meteorologischer Sicht sollte diese Zu-

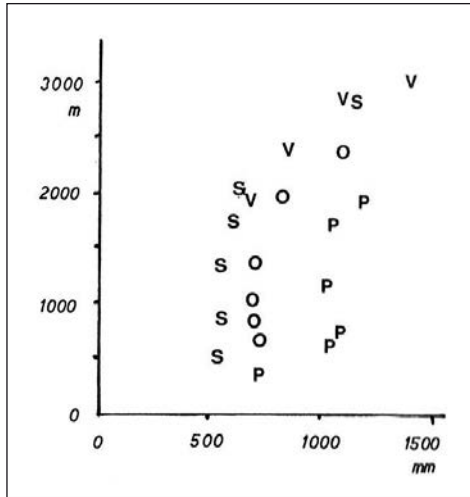


Abb. 11: Jahresniederschlag in der weiteren Umgebung von Obergurgl. S: Stationen im Schnalstal, P: Passeiertal, O: Ötztal bis Schönwies (s. Abb. 2), V: Vent bis zum Hintereisferner (Kuhn et al. 1982)

nahme bei den konvektiven Niederschlägen im Sommer geringer sein als bei den mehr advektiven im Winter.

Die Höhengradienten der Temperatur sind über weite Flächen einheitlich. Sie sind jahreszeitlich und tageszeitlich von der Stabilität der Atmosphäre bestimmt, gering in den Wintermonaten und während der Nacht, weil dann in den Tälern Inversionen auftreten, maximal beim wolkenfreien Überströmen der Gebirgsketten, zum Beispiel bei Föhn (der trockenadiabatische Temperaturgradient ist $-1\text{ }^{\circ}\text{C pro } 100\text{ m}$) oder bei trockener, konvektiver Durchmischung der atmosphärischen Grenzschicht. In Wolken oder im Niederschlag

gilt der sogenannte feuchtadiabatische Gradient von rund $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C pro } 100\text{ m}$. Monatliche Mittelwerte sind von der Häufigkeit des Auftretens dieser verschiedenen Bedingungen abhängig, sie sind in den Alpen erstaunlich homogen.

Dazu sollen zwei Beispiele gegeben werden: Abb. 12 zeigt vertikale Temperaturgradienten in Vorarlberg, Tirol und Salzburg, die jeweils nur aus einer Tal- und einer Bergstation gebildet wurden (Kuhn 1997).

Tab. 5 wurde von Martin Ortner (unpubl. Daten) mit Temperaturgradienten von 22 vergletscherten Tiroler Einzugsgebieten aus dem Datensatz des Histalp Projekts (Auer et al. 2007) berechnet. Aus dieser Arbeit werden das Gebiet der Ötztaler Ache als repräsentativ für den Bereich nördlich des Alpenhauptkamms und das der Passer (Timmelsjoch bis Meran) für den südlichen Bereich genommen. Die Unterschiede zwischen Nord und Süd sind gering, aber signifikant. Die Werte von Stubai, Ötztal, Pitztal, Kaunertal im Norden und für Etsch, Passer, Talfer und Mareiterbach im Süden unterscheiden sich jeweils nur um $0,01\text{ }^{\circ}\text{C pro } 100\text{ m}$. Die Werte im trockenen Süden liegen um $0,05\text{ }^{\circ}\text{C pro } 100\text{ m}$ näher am trockenadiabatischen Temperaturgradienten. Bei der Modellierung verschiedener Tiroler Einzugsgebiete fand Kuhn (2010) im März Zunahmen des Niederschlags mit der Höhe von $5 - 9\%$, im Juli nur $2 - 7\%$ pro 100 m Höhe.

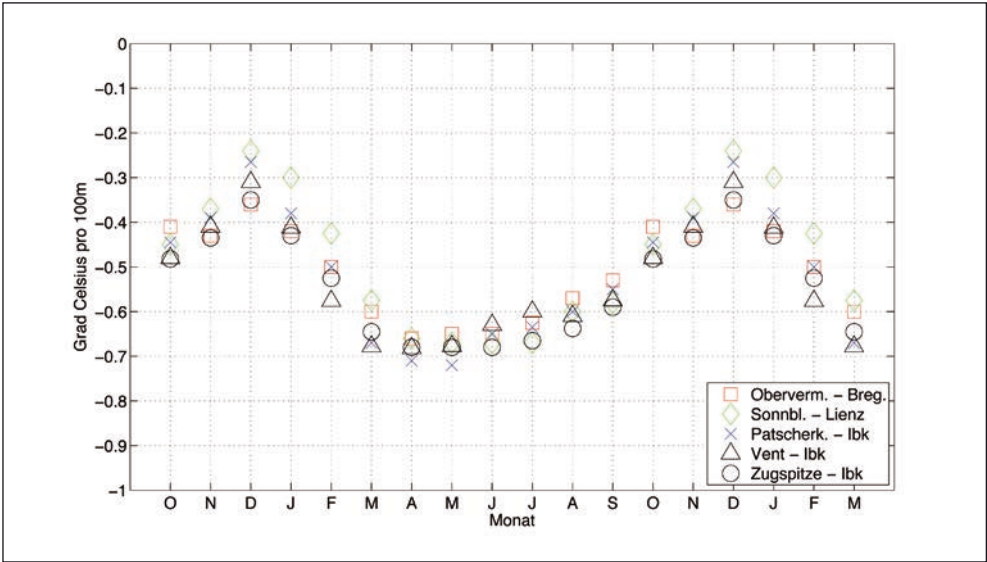


Abb. 12: Vertikale Temperaturgradienten zwischen Berg- und Talstationen Obervermunt/Bregenz, Sonnblick/Lienz, Patscherkofel/Innsbruck, Vent/Innsbruck und Zugspitze/Innsbruck (Kuhn 1997)

Tab. 5: Mittlere monatliche vertikale Temperaturgradienten (°C pro 100 m) für die Einzugsgebiete der Ötztaler Ache und der Passer. Aus Histalpdataen 1969-97 (Auer et al. 2007), bearbeitet von Martin Ortner

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ötztaler Ache	-0,41	-0,48	-0,59	-0,64	-0,65	-0,65	-0,62	-0,60	-0,56	-0,49	-0,45	-0,39
Passer	-0,43	-0,52	-0,63	-0,69	-0,69	-0,71	-0,68	-0,65	-0,60	-0,51	-0,46	-0,42

9. Mikrometeorologie und Energiebilanzen

In der näheren Umgebung von Obergurgl hat es mehrere intensive mikrometeorologische Programme gegeben. Die Forstliche Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn hat an der Waldgrenze am Ausgang des Königstals langjährige ökologische Untersuchungen angestellt, die

unter anderem von Aulitzky (1961, 1963) veröffentlicht wurden. Im Internationalen Man and Biosphere Projekt wurden von 1978 bis 1981 Messungen von Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Bodentemperaturen und Strahlungs- und Energiebilanz an den drei Stationen Wiese, Schönwies und Hohe Mut (Abb. 2) durchgeführt (Patzelt 1987, Rott 1979, Staudinger 1978, 1987; Kuhn 1997, Fischer 2010). Im Gletschervorfeld des Rot-

moosferners wird derzeit eine Reihe von mikrometeorologischen Messungen durchgeführt (Koch & Erschbamer 2010, Erschbamer, Kapitel 8 in diesem Band). Außerdem besteht ein mikrometeorologisches Messnetz entlang der Monitoring-Standorte von der subalpinen bis zur subnivalen Höhenstufe in Obergurgl (Hartl et al., Kapitel 7 in diesem Band).

Literaturverzeichnis

- Auer, I., Böhm, R. et al. (2007) HISTALP – Historical instrumental climatological ssurface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *International Journal of Climatology* 27: 17-46.
- Aulitzky, H. (1961) Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im sub-alpinen Lärchen-Zirbenwald. In: *Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe- Teil 1. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt* 59: 153-208.
- Aulitzky, H. (1963) Grundlagen und Anwendungen des vorläufigen Wind-Schnee-Ökogrammes. In: *Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe – Teil 2. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt* 60: 765-834.
- Böhm, R. (1992) Lufttemperaturschwankungen in Österreich seit 1775. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*. Wien, 95 S.
- Fischer, A. (2010) Klima und Gletscher in Obergurgl. *Alpine Forschungsstelle 1, innsbruck university press*, Innsbruck, S. 53-72.
- Fliri, F. (1975) Das Klima der Alpen im Raum von Tirol. *Universitätsverlag Wagner*, Innsbruck, 454 S.
- Institute of Meteorology and Geophysics (2013 a) Climate Data Obergurgl, 1953-2011, University of Innsbruck, <http://doi.pangaea.de/10.1594/PAN-GAEA.806635>
- Institute of Meteorology and Geophysics (2013 b) Climate Data Vent, Ötztal, 1935-2011, University of Innsbruck, <http://doi.pangaea.de/10.1594/PAN-GAEA.806582>
- Institute of Meteorology and Geophysics (2013 c) Climate Data Obergurgl, Ötztal, 1953-2011 Klimadiagramme Obergurgl, University of Innsbruck, <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA>
- Klinger, E. (1986) Die Wetterbeobachtungen an Klimastationen. *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik*, Wien, 107 S.
- Koch, E.-M. & Erschbamer, B. (2010) Glaziale und periglaziale Lebensräume im Raum Obergurgl. *Alpine Forschungsstelle Obergurgl 1, innsbruck university press*, Innsbruck, 304 S.
- Kuhn, M., Nickus, U. & Pellet, F. (1982) Die Niederschlagsverhältnisse im Inneren Ötztal. *DWD. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie*, Berchtesgaden 1982, S. 235-237.

- Kuhn, M. (1997) Meteorologische und klimatische Bedingungen für die Flora von Nordtirol, Osttirol und Vorarlberg. In: Flora von Nordtirol, Osttirol und Vorarlberg, Polatschek, A. (Hg.), Verlag des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum, S. 26-42.
- Kuhn, M. (2010) Rain and snow at high elevation. In: Plants in Alpine Regions, Lütz, C. (Hg.), Springer Verlag Wien, New York, S. 1-10.
- Patzelt, G. (1987) MaB Projekt Obergurgl. Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Programms, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 350 S.
- Rott, H. (1979) Vergleichende Untersuchungen der Energiebilanz im Hochgebirge. Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie Ser. A, 28 (2-3): 211-232.
- Siogas, L. (1972) Vergleich von Temperaturmittelbildungen mit dem wahren Mittel für das Observatorium Innsbruck-Universität. Wetter und Leben 24: 17-22.
- Staudinger, M. (1978) Die Strahlungsbilanz zweier hochalpiner Stationen während der Vegetationsperiode. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologische Zentralanstalt Zürich, 40: 236-239.
- Staudinger, M. (1987) Verdunstungsbestimmung während der Vegetationsperiode durch Energiebilanzmessungen In: MaB Projekt Obergurgl. Patzelt, G. (Hg.), Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Programms, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 350 S.

Verzeichnis der Autoren

Michael Kuhn
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
Michael.Kuhn@uibk.ac.at

Ekkehard Dreiseitl
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
Ekkehard.Dreiseitl@uibk.ac.at

Markus Emprechtinger
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
Markus.Emprechtinger@uibk.ac.at