

Eine Analyse der langfristigen Entwicklung der hochalpinen Wintertemperaturen der Ostalpen nördlich des Alpenhauptkammes

A. Gobiet, K. Ulreich, M. Hofstätter, A. Podesser, M. Olefs, J. Vergeiner, G. Zenkl



Quelle: ZAMG/Hvnek

Kontakt: Andreas Gobiet, ZAMG KS-STMK, andreas.gobiet@zamg.ac.at

ZAMG, Oktober 2017

1. Zusammenfassung

Diese Studie fasst den aktuellen Wissensstand über Veränderungen der winterlichen Temperaturen an Hochgebirgsstandorten der Ostalpen nördlich des Alpenhauptkammes zusammen. Dafür werden exemplarisch Zeitreihen von Wintertemperaturen der Stationen Sonnblick, Schmittenhöhe und Sämtis untersucht, wobei zuerst gezeigt wird, dass diese Stationen in Bezug auf winterliche Temperaturänderungen repräsentativ für Hochgebirgsstandorte im gesamten Ostalpenraum nördlich des Alpenhauptkammes sind. Trends werden innerhalb der vergangenen 30 bis 90 Jahre analysiert und die Sinnhaftigkeit von Trendberechnungen bei kurzen Berechnungsperioden wird hinterfragt.

Die Resultate zeigen, dass **langfristig eine statistisch hochsignifikante Zunahme der Wintertemperaturen im Hochgebirge nachweisbar** ist (innerhalb der letzten 90 Jahre im Mittel um etwa +0.25 Grad Celsius pro Jahrzehnt) und dass aufgrund von hoher Variabilität und einer oft sprunghaften Entwicklung der Wintertemperaturen **eine Periode von 30 Jahren für die Berechnung von langfristigen Trends zu kurz** ist und zu Ergebnissen führt, die für die langfristige und zukünftige Entwicklung keine Aussagekraft haben. Die hohe Variabilität bedeutet auch, dass für die kommenden 5 bis 10 Jahre keine seriösen Vorhersagen gemacht werden können, da in diesem kurzen Zeitraum kurzfristige Temperaturschwankungen im Allgemeinen größer sind als der langfristige Erwärmungstrend. Trotzdem **steigt die Wahrscheinlichkeit, im Gebirge ungewöhnlich warme Winter zu erleben, von Jahr zu Jahr an.**

2. Daten und Methoden

2.1. Daten

Für die Analyse der Temperaturtrends werden Daten von hochalpinen Messstationen verwendet, welche die Ost-West-Erstreckung der Ostalpen weitgehend abbilden: Im Osten die Stationen Rauriser Sonnblick (3105 m) und Schmittenhöhe (1973 m) und im Westen die Station Säntis (2502 m; liegt genau genommen schon in den Westalpen). Diese drei Stationen sind für den Höhenbereich von knapp 2000 m bis 3100 m Seehöhe repräsentativ. Die Daten der Stationen Sonnblick und Schmittenhöhe wurden dem HISTALP-Datensatz (Auer et al., 2007; ZAMG, 2017) entnommen, der derzeit die beste Quelle für homogenisierte Temperaturdaten in Österreich darstellt. Die Daten der Schweizer Station Säntis sind ebenfalls homogenisiert und qualitativ auf höchstem Niveau (MeteoSchweiz, 2017).

Um die Repräsentativität dieser drei Stationen für den gesamten Ostalpenraum nördlich des Alpenhauptkammes zu demonstrieren, wird ein Vergleich mit den Wintertemperaturen weiterer hochalpiner Stationen im Ostalpenraum durchgeführt: Patscherkofel (2251 m), Zugspitze (2962 m), Obergurgl-Vent (1938 m) und Galzig (2079 m). Abgesehen von Galzig und Patscherkofel verfügen alle diese Stationen über eine mindestens 90-jährige Datenreihe und stammen aus dem HISTALP-Datensatz. Patscherkofel ist ebenfalls homogenisiert, weist aber nur 85 Jahre Daten auf (Start 1931/32). Die Station Galzig im Skigebiet Arlberg misst erst seit Winter 1994/95 (insgesamt 23 Jahre Daten) und wurde zusätzlich ausgewählt, um zu zeigen, dass die Ergebnisse dieser Studie auch auf Hochgebirgsstandorte mit kürzeren Messreihen übertragbar sind. Abbildung 1 zeigt die geographische Lage der untersuchten Temperaturstationen.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Wintertemperaturen der untersuchten Stationen in den vergangenen 90 Jahren. In Abbildung 3 sind dieselben Daten nach Abzug des Mittelwertes der Periode 1994/95 bis 2014/15 (in der alle Stationen gemeinsam Daten aufweisen) dargestellt. Diese Darstellung von Anomalien veranschaulicht, dass die untersuchten Stationen abgesehen von einem konstanten, seehöhenabhängigen Unterschied nahezu identische Entwicklungen der mittleren Wintertemperaturen aufweisen, was aus meteorologischer Sicht auch zu erwarten ist. Die Korrelation der Datenreihen ist sehr hoch (Pearson Korrelationskoeffizient: 0.98 – 0.99). Wir verzichten in Abschnitt 3 daher auf die detaillierte Darstellung der Temperaturtrends jeder einzelnen Station und konzentrieren uns auf die Hauptstationen im Osten und Westen des Untersuchungsgebiets. Die Ergebnisse für diese drei Hauptstationen sind für sämtliche Hochgebirgslagen der Ostalpen nördlich des Alpenhauptkammes repräsentativ.

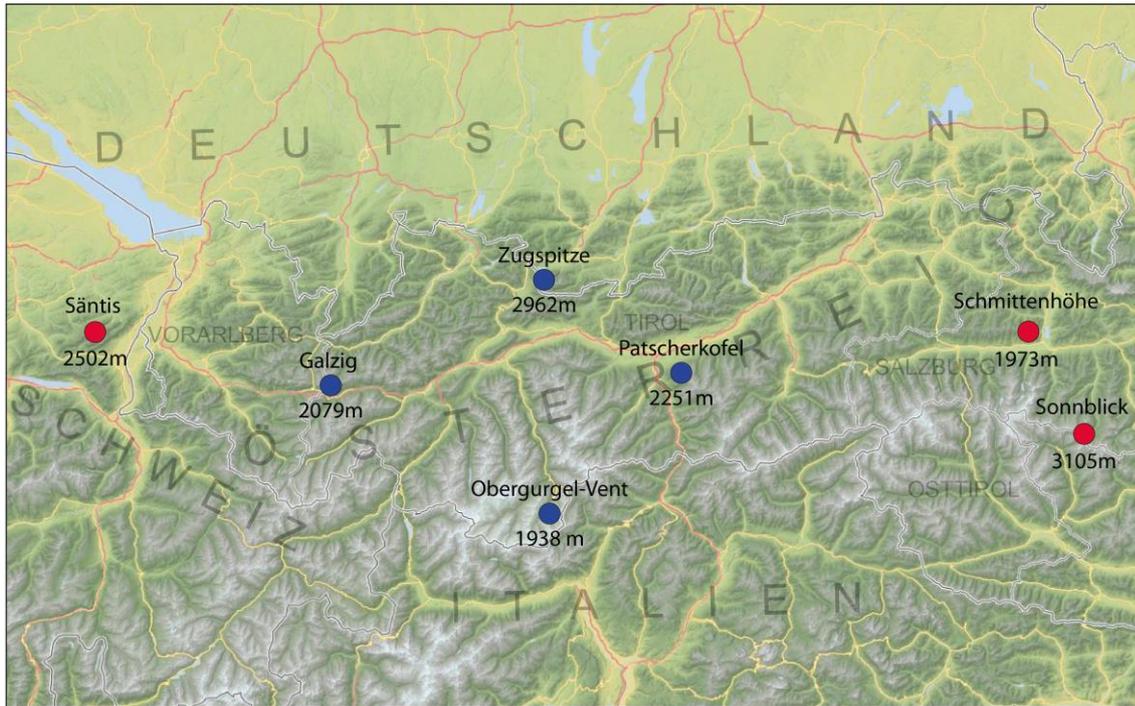


Abbildung 1: Geographische Lage der untersuchten Stationen. Die Trendanalyse wurde für die Hauptstationen Sonnblick (3105 m), Schmittenhöhe (1973 m) und Sämtis (2502 m) durchgeführt (rot), die übrigen Stationen (blau) dienen der Demonstration der Repräsentativität der Hauptstationen für andere Hochgebirgsstandorte in den Ostalpen. Quellen: OpenStreetMap, ZAMG.

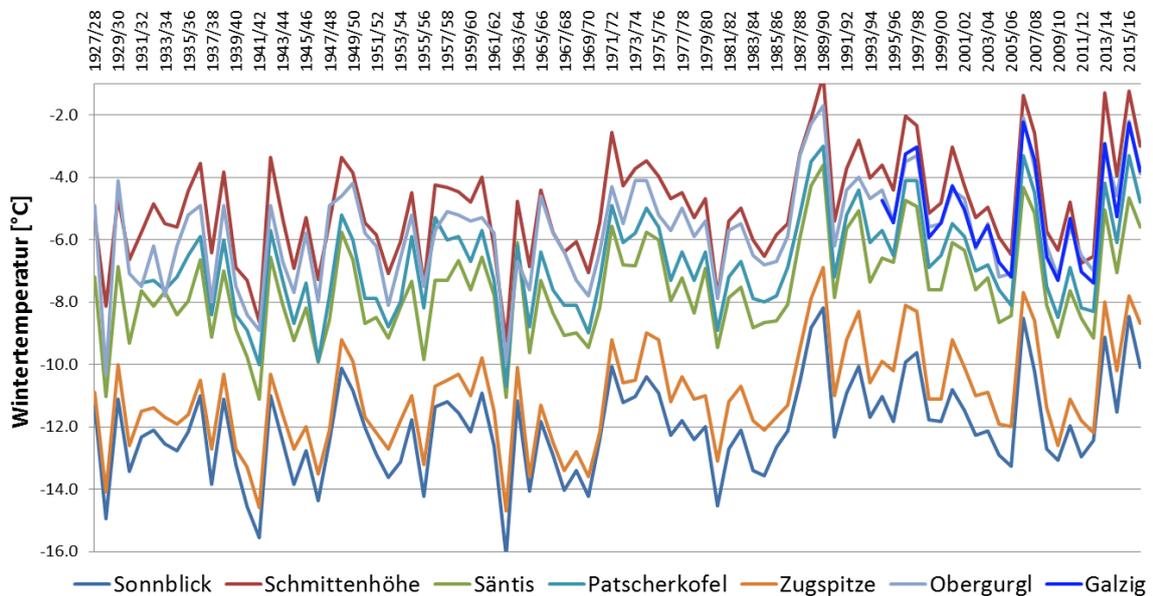


Abbildung 2: Wintertemperaturen (Dezember, Jänner, Februar) der Stationen Sonnblick (3105 m), Schmittenhöhe (1973 m), Sämtis (2502 m), Patscherkofel (2251 m), Zugspitze (2962 m), Obergurgl (1938 m) und Galzig (2079 m) in der Periode 1927/28 bis 2016/17.

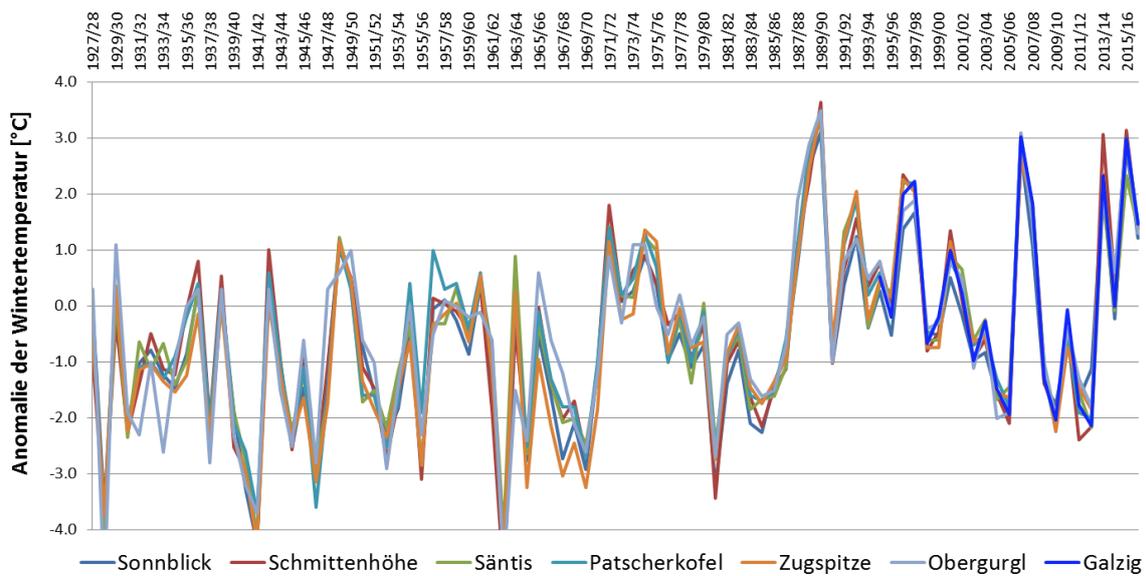


Abbildung 3: Anomalien der Wintertemperaturen (Dezember, Jänner, Februar) der Stationen Sonnblick (3105 m), Schmittenhöhe (1973 m), Säntis (2502 m), Patscherkofel (2251 m), Zugspitze (2962 m), Obergurgl (1938 m) und Galzig (2079 m) in der Periode 1927/28 bis 2016/17. Zur Berechnung der Anomalien wurde der Mittelwert der gemeinsamen Periode 1994/95 – 2014/15 abgezogen.

2.2. Methoden

Die Wintertemperaturen wurden jeweils für den meteorologischen Winter (Anfang Dezember bis Ende Februar des nächsten Jahres) berechnet. Um die Veränderung der Wintertemperaturen zu veranschaulichen, wurden mittels Regression lineare Trends berechnet. Die statistische Signifikanz der Veränderung der Wintertemperaturen wurde durch den Vergleich der mittleren Temperaturen der jüngsten 30-jährigen Periode A (1987/88 bis 2016/17) mit den zwei davorliegenden Perioden B (1957/58 bis 1986/87) und C (1927/28 bis 1956/57) berechnet (Tabelle 1). Dazu wurde ein einseitiger T-Test mit einem Konfidenzniveau von 99% durchgeführt. Es wird die Nullhypothese getestet, sodass sich die mittleren Temperaturen dieser Perioden nicht unterscheiden. Das Ergebnis des Tests gibt an, ob die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese (die jüngste Periode war im Mittel wärmer als die vorhergehenden Perioden) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1% zurückgewiesen werden kann. Zusätzlich wurde auch eine Analyse der langfristigen Temperaturänderung für den 90-jährigen Zeitraum L (1987/88 bis 2016/17) durchgeführt.

Tabelle 1: Überblick über die Untersuchungszeiträume

Periode	L	A	B	C
Zeitraum	1927-2017	1987-2017	1957-1987	1927-1957
Länge (Jahre)	90	30	30	30

3. Veränderung der Wintertemperaturen

3.1. Beispiel Säntis (2502m)

In Abbildung 4 sind die Wintertemperaturen der vergangenen 90 Jahre an der westlichsten Station des Untersuchungsgebiets (Säntis) dargestellt. Des Weiteren sind Trendlinien für die vier verschiedenen Perioden A, B, C und L dargestellt (siehe Tabelle 1). Innerhalb der 30-jährigen Perioden A, B und C treten teilweise negative Trends auf, insbesondere in Periode A, trotzdem ist der Trend über 90 Jahre mit +0.23 Grad Celsius pro Jahrzehnt deutlich positiv und zeigt einen langfristigen Anstieg der Wintertemperaturen. Wenn man den Zeitraum für die Trendberechnung auf die letzten 60 Jahre einschränkt (Abbildung 5), ergibt sich eine etwas stärkere Erwärmung von +0.25 Grad Celsius pro Jahrzehnt. Betrachtet man die 30-jährigen Temperaturmittelwerte, stellt sich heraus, dass Periode A hochsignifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1%) wärmer ausgefallen ist als die beiden Perioden davor (B und C; siehe Tabelle 2 in Abschnitt 4).

In Abbildung 5 sind die 10-jährigen Mittelwerte der Wintertemperaturen dargestellt, die seit 1987/88 wärmer ausgefallen sind als in den 30 Jahren davor, aber dennoch deutlich durch die hohe Variabilität beeinflusst sind.

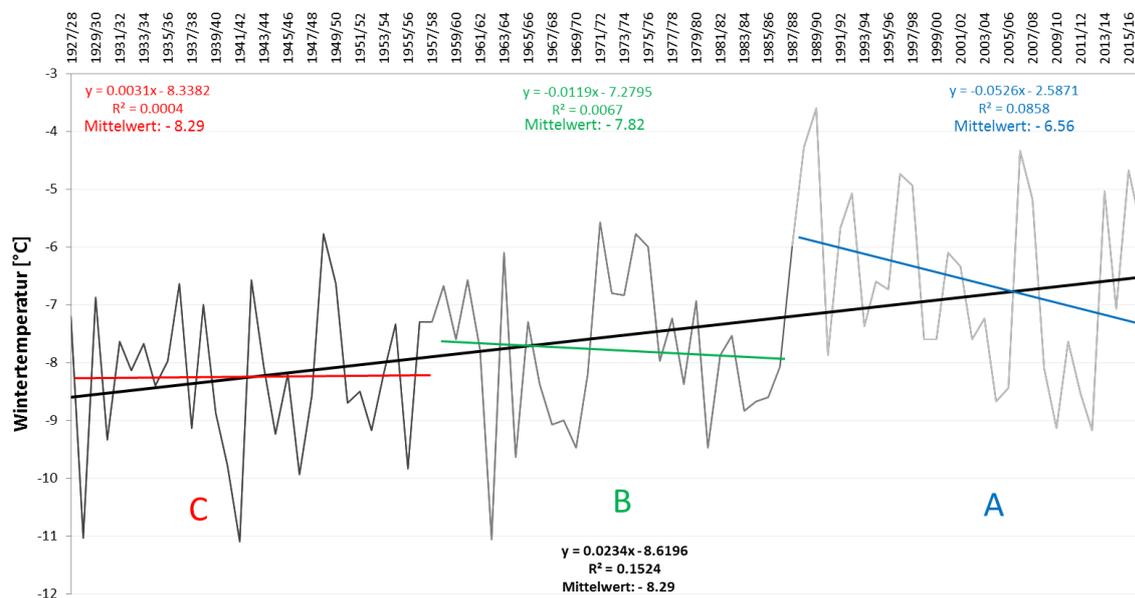


Abbildung 4: Wintertemperaturen an der Station Säntis zwischen 1928/28 und 2016/17 (schwarz, dünne Linie). Lineare Trends über die gesamte Periode (fett, schwarz) und über die 30-jährigen Teilperioden A, B und C (farbig).

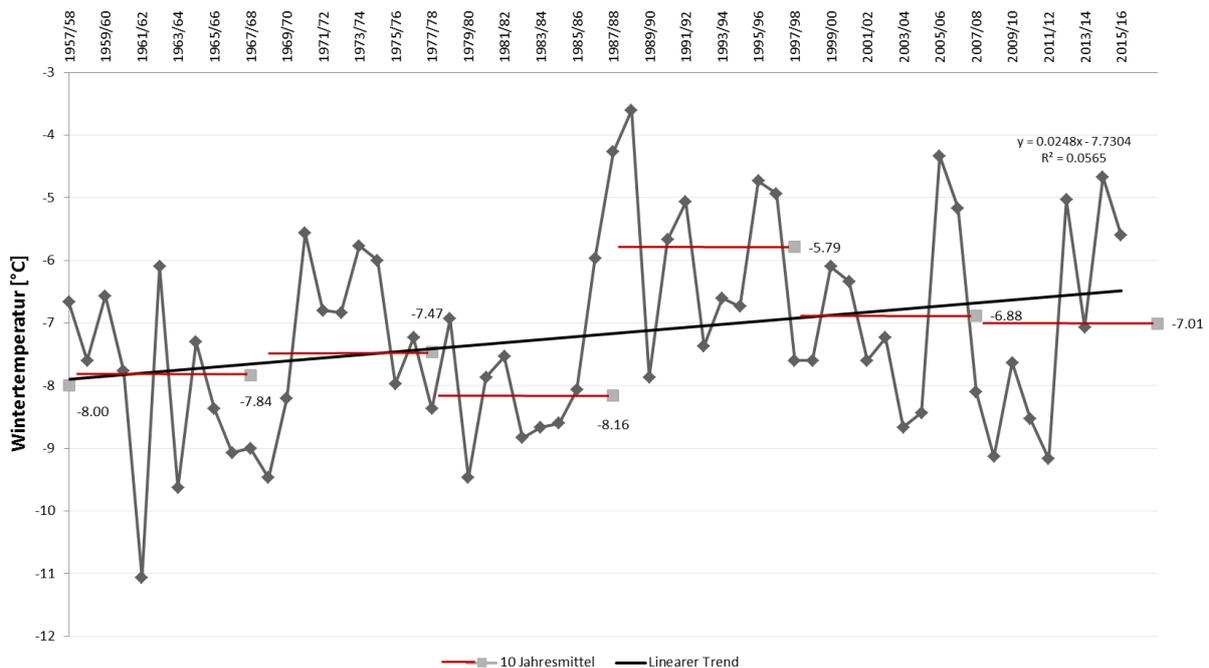


Abbildung 5: Wintertemperaturen der Station Säntis (2502 m) zwischen 1957/88 und 2016/17 (grau) mit Darstellung des linearen Trends (schwarz) und der 10-jährigen Mittelwerte (rot).

3.2. Beispiele Sonnblick (3105 m) und Schmittenhöhe (1973 m)

Erwartungsgemäß zeigt sich auch im Osten der untersuchten Region an den Stationen Sonnblick (3105 m; Abbildung 6) und Schmittenhöhe (1973 m; Abbildung 7) ein fast identisches Bild wie im Westen an der Station Säntis. Der Trend innerhalb der letzten 30 Jahre ist zwar negativ, der langfristige Trend ist aber mit +0.22 Grad Celsius pro Jahrzehnt (Sonnblick) und +0.24 Grad Celsius pro Jahrzehnt (Schmittenhöhe) deutlich positiv. Auch im Osten ist die 30-jährige Periode A hochsignifikant wärmer als die Perioden davor. Diese Ergebnisse gelten gleichermaßen für eine Seehöhe von knapp 2000 m (Schmittenhöhe) und gut 3000 m (Sonnblick).

Abbildung 8 demonstriert anhand der Wintertemperaturen der Station Sonnblick, dass die Berechnung von Trends der Wintertemperaturen mit zu kurzen Perioden (z.B. 30 Jahre) zu Ergebnissen führt, die nicht dem langfristigen Trend entsprechen und eher zufälliger Natur sind. Schon kleine Änderungen in der Wahl des Zeitraums können zu großen Unterschieden im Ergebnis führen: In Periode A lässt sich ein (nicht signifikanter) negativer Trend feststellen. In einer 30-jährigen Periode, die um nur 8 Jahre in die Vergangenheit verschoben ist, tritt hingegen ein noch größerer positiver Trend auf (ebenfalls nicht signifikant). Dieses Verhalten ist ein sehr deutlicher Hinweis darauf, dass die Schwankungen der mittleren Wintertemperaturen im Hochgebirge zu groß sind, um aus kurzen Datenreihen (30 Jahre oder weniger) Rückschlüsse über systematische Trends, also über langfristige Veränderungen ziehen zu können.

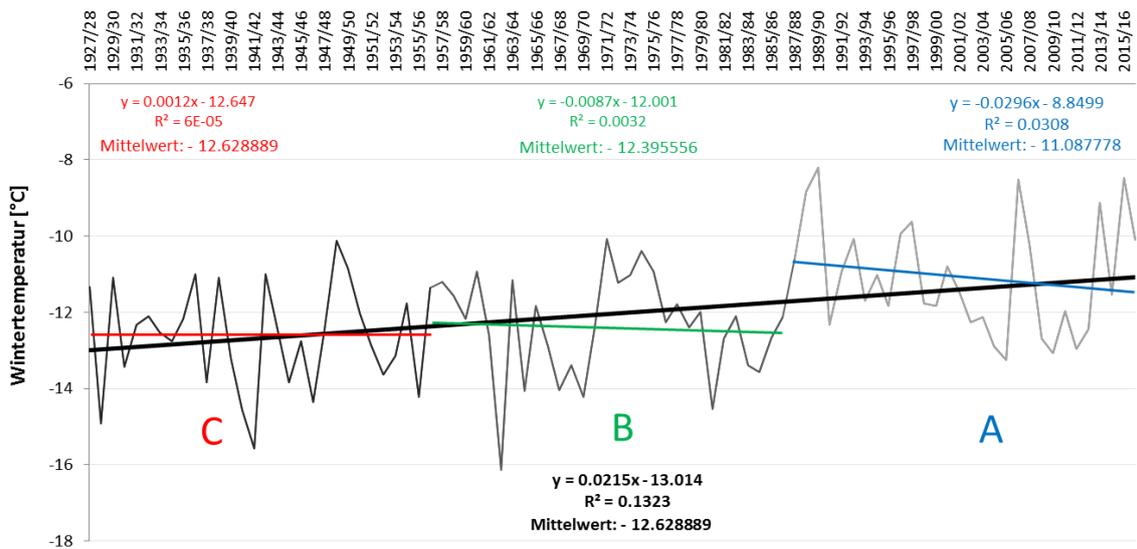


Abbildung 6: Wintertemperaturen der Station Sonnblick (3105 m) zwischen 1927/28 und 2016/17 (schwarz, dünne Linie). Lineare Trends über die gesamte Periode (fett, schwarz) und über die 30-jährigen Teilperioden A, B und C (farbig).

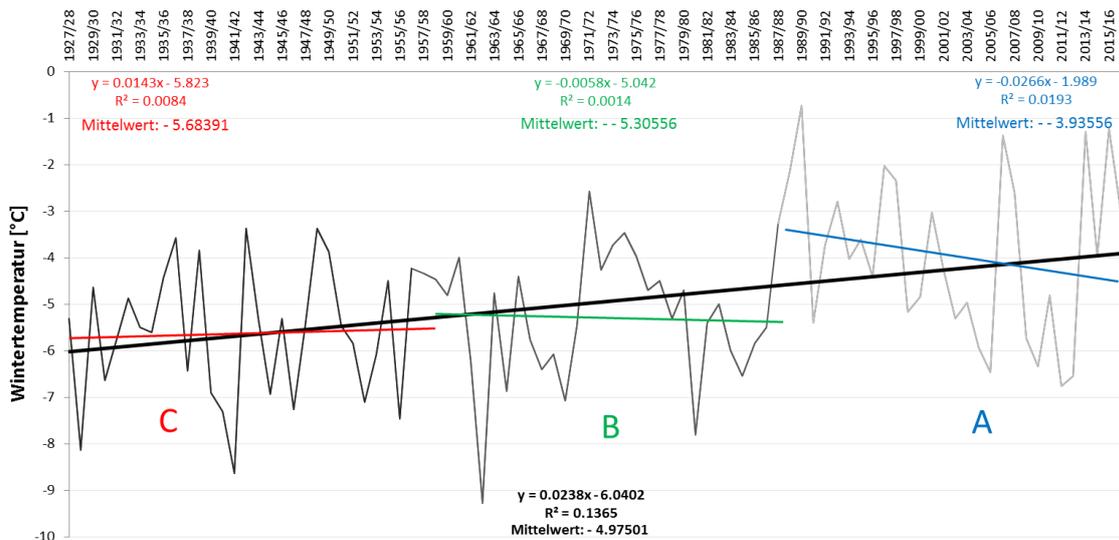


Abbildung 7: Wintertemperaturen der Station Schmittenhöhe (1973 m) zwischen 1927/28 und 2016/17 (schwarz, dünne Linie). Lineare Trends über die gesamte Periode (fett, schwarz) und über die 30-jährigen Teilperioden A, B und C (farbig).

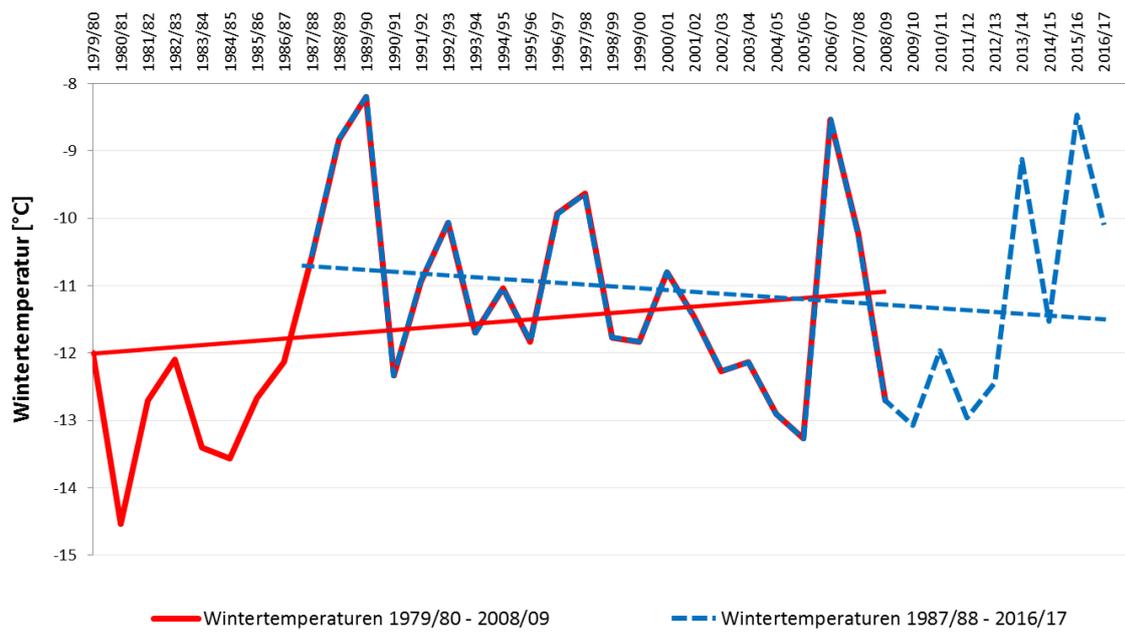


Abbildung 8: Wintertemperaturen Sonnblick (3105 m). Vergleich der linearen Trends 1987/88 - 2016/17 und 1979/80 - 2008/09 (Daten: Histalp ZAMG).

4. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse

Die Untersuchung der langfristigen Veränderung der hochalpinen Wintertemperaturen auf der nördlichen Seite des Ostalpenraums hat gezeigt, dass die globale Erwärmung auch hier deutlich ihre Spuren hinterlässt und **langfristig eine statistisch hochsignifikante Zunahme der Wintertemperaturen im Hochgebirge nachweisbar** ist. In den vergangenen 90 Jahren sind die Temperaturen im Mittel um +0.21 bis 0.27 Grad Celsius pro Jahrzehnt gestiegen, also insgesamt um mehr als +2 Grad (Tabelle 2). Des Weiteren zeigt sich, dass die 30-jährige Periode von 1987/88 bis 2016/17 im Mittel hochsignifikant wärmer war als Perioden davor. Das entspricht durchaus den Erwartungen und ist quantitativ mit der bereits vielfach untersuchten Erwärmung in anderen Saisonen, Regionen und Höhenstufen des Alpenraums vergleichbar.

Tabelle 2: Langfristige Temperaturtrends und Temperaturmittelwerte unterschiedlicher 30-jähriger Perioden im Überblick. Die mittleren Temperaturen in Periode A sind an allen Stationen statistisch hochsignifikant wärmer als in den jeweiligen Perioden davor.

	Linearer Trend in 90 Jahren (1927 – 2017)	Mittelwert Periode A (1987-2017)	Mittelwert Periode B (1957-1987)	Mittelwert Periode C (1927-1957)
Säntis	+2.1 °C	-6.6 °C	-7.8 °C	-8.3 °C
Zugspitze	+2.4 °C	-9.9 °C	-11.4 °C	-11.8 °C
Obergurgl	+2.2 °C	-4.7 °C	-6.0 °C	-6.5 °C
Patscherkofel	+2.1 °C	-5.8 °C	-7.1 °C	n/a
Schmittenhöhe	+2.1 °C	-3.9 °C	-5.3 °C	-5.6 °C
Sonnblick	+1.9 °C	-11.1 °C	-12.4 °C	-12.6 °C

Eine Besonderheit der hochalpinen Wintertemperaturen ist, dass sie von Jahr zu Jahr und von Jahrzehnt zu Jahrzehnt eine besonders hohe Variabilität aufweisen. Die Beobachtungen zeigen außerdem, dass die Erwärmung sprunghaft in kurzer Zeit statt kontinuierlich über längere Zeiträume auftreten kann. Aufgrund dieser hohen Variabilität und oft sprunghaften Entwicklung der Wintertemperaturen ist **eine Periode von 30 Jahren für die Berechnung von langfristigen Trends zu kurz** und führt zu Ergebnissen, die für die langfristige und zukünftige Entwicklung keine Aussagekraft haben.

Diese hohe Variabilität bedeutet auch, dass für die kommenden 5 bis 10 Jahre keine seriösen Vorhersagen der Wintertemperaturen im Alpenraum gemacht werden können, da kurzfristige Schwankungen im Allgemeinen größer sind als der langfristige Trend.

Allerdings ist aufgrund des heute vorhandenen Verständnisses über die Mechanismen des Klimawandels und aufgrund von Modellberechnungen (z.B. Gobiet et al., 2014) davon auszugehen, dass sich der in der Vergangenheit nachgewiesene langfristige Erwärmungstrend auch in Zukunft

fortsetzen wird und das Risiko, ungewöhnlich warme Winter zu erleben, von Jahr zu Jahr ansteigt. Schon heute kann vorhergesagt werden, dass die kommenden 30 Winter im Hochgebirge im Mittel mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit wärmer ausfallen werden als die 30 Winter davor.

Diese Erwärmung ist nicht automatisch in allen Regionen mit einem Rückgang der Schneebedeckung gleichzusetzen, da die Schneedecke nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Niederschlagsmenge abhängt. Zusätzlich ist der Effekt der steigenden Temperaturen auf die Schneedecke sehr stark von der Seehöhe eines Standortes abhängig, da bei hinreichend kalter Temperatur (deutlich unter 0 Grad Celsius) eine leichte Erwärmung keinen mindernden Einfluss auf die Schneedecke oder auf Schneefall hat. Zur Beurteilung von Änderungen der vergangenen und zukünftigen Schneebedeckung sind daher weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Literaturverzeichnis:

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., ... Nieplova, E. (2007). HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology*, 27(1), 17–46. <https://doi.org/10.1002/joc.1377>
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps-A review. *Science of the Total Environment*, 493, 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- MeteoSchweiz (2017): homogenisierte Monatsdaten;
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/homogene-monatsdaten.html?station=sae>, zuletzt geprüft am 31.08.2017
- ZAMG (2017): Monthly data homogenised series CSV Export;
<http://www.zamg.ac.at/histalp/dataset/station/csv.php>, zuletzt geprüft am 25.08.2017