

# Klimawandel in Graubünden und Umgebung : Untersuchung auf der Basis von Monatswerten

Autor(en): **Cortesi, Marco / Gustin, Sabina / Roner, Tina**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden**

Band (Jahr): **113 (2004-2005)**

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-594924>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## **Klimawandel in Graubünden und Umgebung – Untersuchung auf der Basis von Monatswerten**

von Marco Cortesi, Sabina Gustin, Tina Roner, Maturand/innen am Hochalpinen Institut Ftan, Schweiz

Adresse:

Mario Cortesi  
Viel  
7530 Zernez

### **Zusammenfassung**

Verschiedene Erhebungen belegen die Klimaänderung im 20. Jahrhundert. Auch für die Schweiz wurde diese ausgewiesen. Bislang bezogen sich die Klimaauswertungen auf Jahres- und Halbjahreswerte oder auf einzelne Ereignisse. Im Rahmen dieser Studie wurde das Klima in Graubünden und Umgebung für den Zeitraum 1905–2004 auf der Basis von Monatswerten untersucht. Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Projektes im Schwerpunktfach «Physik und Anwendungen der Mathematik» am Hochalpinen Institut in Ftan, Schweiz.

Es wurden die monatlichen Messwerte der Stationen Andermatt, Arosa, Davos, Ftan, Grono, Hinterrhein, Lugano, Säntis und Sils-Maria verwendet. Die jahreszeitlichen Effekte wurden nun präziser als bisher aufgelöst, indem für jeden Monat der Trend der letzten 100 Jahre mittels linearer Regression bestimmt wurde. Ebenso wurde untersucht, ob sich die Zahl der Ausreisser, also der «extremen» ausserhalb der Standardabweichung liegenden Monatswerte, im Laufe der Zeit verändert hat.

Die Trends der Temperaturen zeigen für alle Orte und alle Monate Richtung Erwärmung, im Extremfall um bis zu 2.7 °C/100

Jahre. Die Absolutwerte der Temperaturänderungen sind trotz der geografischen Nähe der Stationen recht verschieden, was auf die Bedeutung lokaler Gegebenheiten hinweist. Jedoch ist der bei allen Stationen ziemlich parallele Jahresverlauf überraschend, vor allem der wellige Verlauf im zweiten Halbjahr. Die Erwärmung hängt offenbar stark vom jeweiligen Monat ab, und es gibt systematisch im Mittel über 100 Jahre grosse Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Monaten. Am geringsten ist die Erwärmung im Frühjahr (April–Mai), am stärksten im Hochwinter, Hochsommer und im Oktober.

Der jahreszeitliche Trendverlauf beim Niederschlag zeigt ausserhalb des Hochwinters eine starke Koinzidenz zum Trendverlauf bei der Temperatur: Zu diesen Jahreszeiten geht weniger Niederschlag mit besonders erhöhter Temperatur einher. Im Hochwinter sind die Niederschlagstrends örtlich wie zeitlich sehr uneinheitlich. Generell sind die Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Monaten auch in den 100-jährigen Trends gross.

Bei den Schneehöhen weisen alle untersuchten Stationen Davos, Arosa und Ftan einen markanten Abwärtstrend auf: Von 1950–2004 ist die Schneehöhe im März um

etwa einen Drittel gesunken; dies ist wesentlich mehr als bislang für erhöht liegende Regionen vermutet wurde.

Im Winterhalbjahr zeigt sich ein Trend zu mehr zu trockenen und weniger zu warmen Ausreißern (immer bezogen auf den monatlichen Mittelwert im Trend); im Sommerhalbjahr gibt es mehr zu kalte und auch weniger zu warme Ausreißer-Monate.

### Summary:

#### **Change of climate in Grison and vicinity – Investigation in monthly merits**

*Sabina Gustin, Tina Roner, Marco Cortesi, students in the Hochalpinen Institut Ftan, Switzerland*

Different surveys show the changes in various climates in the 20th century. These are also demonstrated in Switzerland. Up to now the climatic assessments were related to year- and half year merits or by singular incidents. In this study, the climate in Grison and vicinity is investigated in monthly merits from 1905 to 2004. This study is written for a project on the subject «Physics and applications of maths» at the Hochalpinen Institut in Ftan, Switzerland.

The monthly merits of the measuring stations Andermatt, Arosa, Davos, Ftan, Grono, Hinterrhein, Lugano, Säntis and Sils-Maria were used. The effects of the seasons were now resolved in a more precise way. For every month the trend of the last 100 years was established by linear regression. The number of bolters, which means «extreme merits» out of the standard deviation of the monthly merits, was also investigated. This investigation looks if the number of bolters changed with time.

The trends of the temperature show a global warming in all places and months. In an extreme case, these were examined up till 2.7°C for about 100 years. The absolute

merits of the change in climate were very different in spite of the geographic proximity of the stations. This shows the importance of local conditions. The course of the year between all the stations is parallel, especially the wavy course in the second half year. The warming depends on the actual months. On the average over 100 years there are systematic differences between the succeeding months. Furthermore the warming depends on the actual month. The warming in spring (April – May) is least, in the midwinter and midsummer strongest. It is strongest also in October.

The seasons course of the trends by precipitation shows out of the midwinter a strong coincidence in temperature trends. In these seasons lesser precipitation falls with rising temperatures. In the midwinter the trends of precipitation (local and temporary) are not uniform. Generally are the differences between the successive months also in the 100 year trend very high.

The height of the snow shows a striking downward trend in all the different investigated stations: Davos, Arosa and Ftan. From 1950 to 2004 the snow high sank in March for a third time. This is more than the present supposed merits on higher regions. In the winter half year the trend is exhibit to more to drier and lesser to hotter bolters (always related to the month average in trend) in the summer half year there are more to cold and also lesser to months with hotter bolters.

### **1. Einleitung**

Seit den neunziger Jahren ist die Klimaerwärmung ein sehr aktuelles Thema geworden. In verschiedenen Untersuchungen wird ersichtlich, dass die mittlere Jahres- oder Halbjahrestemperatur auf der Erde, in der Schweiz und in Graubünden zugenommen hat. Diese Arbeiten zeigen den Trend der letzten 100-140 Jahre zu höheren Tem-

peraturen und mehr Niederschlag (z.B. Bader S., H. Bantle (2004)).

Eine Zusammenstellung verschiedener weltweiter Phänomene der Klimaerwärmung wurde in der IPCC-Studie (Intergovernmental Panel of Climate Change) im Jahr 2001 durchgeführt. Die Resultate dieser Studie zeigen, dass die Mitteltemperatur der Erde um etwa  $0.6^{\circ}\text{C}$  gestiegen ist. Schneebedeckungen und Eisausdehnungen sind zurückgegangen, der Meeresspiegel ist somit gestiegen und auch der Wärmeinhalt der Ozeane hat zugenommen. Bislang gibt es aber keine Belege für die Zunahme von Stürmen und deren Stärke. Diese Phänomene sind zum grossen Teil auf den Menschen zurückzuführen. Ein Grund sind die Emissionen von Treibhausgasen, die seit den 50er Jahren stark zugenommen haben. (Klimaänderung 2001 (2002)).

Die Änderung des Klimas in der Schweiz, wie sie sich in den Erhebungen langjähriger Messstationen manifestiert, wurde in einer Veröffentlichung von MeteoSchweiz festgehalten. Der Trend der Winter- und Sommerhalbjahreswerte wurde ermittelt. Im Winterhalbjahr sind die Temperaturen durchschnittlich etwa um  $1.2^{\circ}\text{C}$  gestiegen, im Sommerhalbjahr hingegen etwa um  $0.7^{\circ}\text{C}$ . Beim Niederschlag wurde eine Zunahme im Winterhalbjahr ermittelt, für das Sommerhalbjahr hingegen gibt es keinen Trend. Diese Studie zeigt eine deutliche Änderung des Klimas vor allem in den letzten 3 Jahrzehnten. Die Temperaturzunahme betrifft die zweite Jahreshälfte mehr als die erste (Bader S., H. Bantle (2004)).

In Graubünden zeigt die Broschüre des Amtes für Natur und Umwelt Graubünden zum Klimawandel (Klimaänderung in Graubünden (2002)) ähnliche Resultate wie die MeteoSchweiz. Hinzu kommt noch, dass eine deutliche Abnahme der Schneemenge ermittelt wurde, welche sich aber nur auf tiefer gelegene Lagen bezieht.

Am Anfang dieser Studie stand die Idee, die Klimaänderung in Graubünden und

Umgebung mit feinerer zeitlicher Auflösung zu untersuchen. Statt Jahres- und Halbjahreswerte sollten die Werte einzelner Monate ebenfalls in ihrem langjährigen Trend untersucht werden. Es wurden die Fragen gestellt: Gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Regionen in Graubünden und Umgebung und gibt es Unterschiede in den langjährigen Klimaänderungen in verschiedenen Monaten?

Im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung wurde auch die Niederschlags- und Schneemenge betrachtet. Gibt es immer weniger Schnee und Niederschlag? Wird das Wetter im Allgemeinen trockener?

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Projektes im Schwerpunktfach «Physik und Anwendungen der Mathematik» unter der Leitung von Jürg Thudium.

## 2. Methoden

Für diese Arbeit wurden die monatlichen Messwerte der Stationen Andermatt, Arosa, Davos, Ftan, Grono, Hinterrhein, Lugano, Säntis und Sils-Maria verwendet. Sie entstammen der Datenbank von Meteo Schweiz, im Falle von Ftan derjenigen des Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungsinstituts Davos. Für Temperaturen und Niederschlag umfassen die Daten die letzten 100 Jahre von 1905–2004, im Falle der Schneehöhe die letzten 55 Jahre von 1950–2004. Auf kürzere Zeitreihen wurde verzichtet. Bei Davos, Lugano, Säntis und Sils-Maria handelt es sich um homogenisierte Datenreihen (die Auswirkungen allfällig unterschiedlicher Messbedingungen wurden ermittelt und bereinigt), welche zum Zwecke der Vergleichbarkeit von Meteo Schweiz erarbeitet wurden. Auch bei den anderen Stationen sollten Tendaussagen möglich sein, wenn sie auch mit mehr Vorsicht zu interpretieren sind.

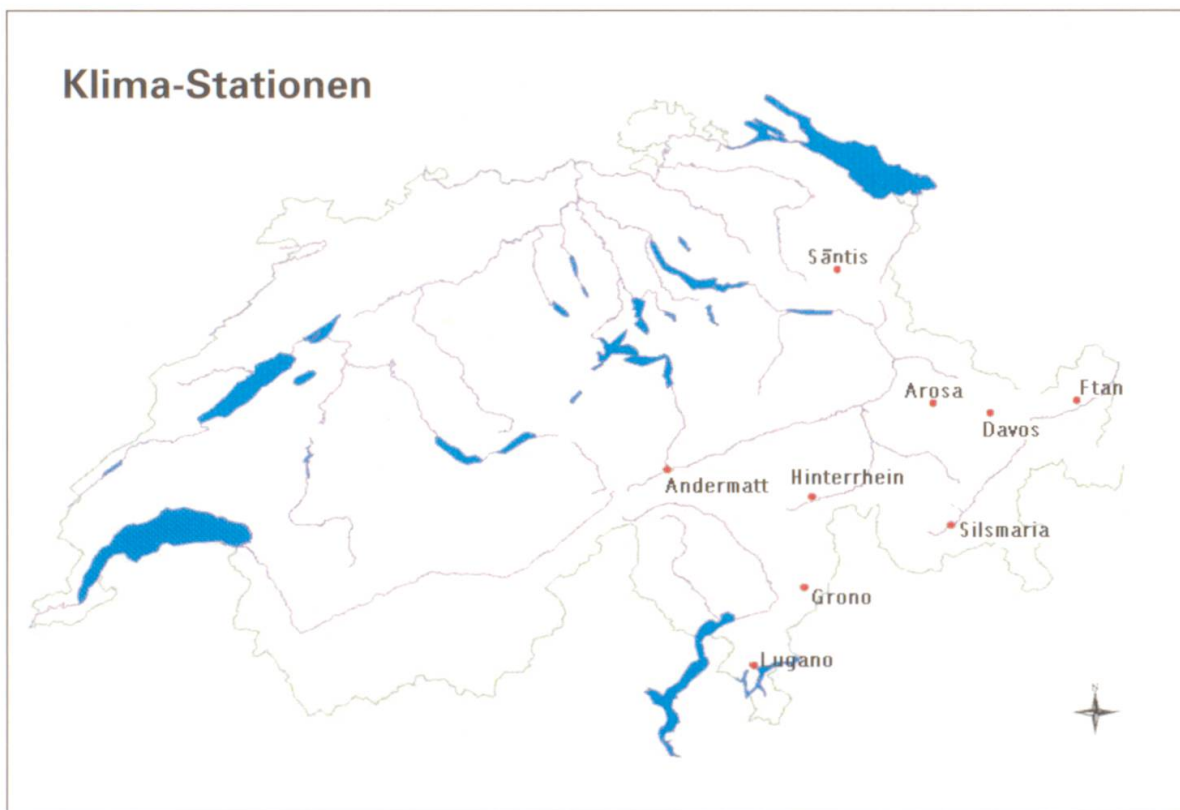


Abb. 1: Schweizerkarte mit den für die vorliegende Arbeit berücksichtigten Wetterstationen Andermatt, Arosa, Davos, Grono, Hinterrhein, Ftan, Lugano, Sils-Maria und Sämtis.

Die Datenbasis besteht aus Monatsmitteln bzw. Monatssummen. Die jahreszeitlichen Effekte wurden nun präziser als bisher aufgelöst, indem für jeden Monat der Trend der letzten 100 Jahre bestimmt wurde. Trend-Bestimmung bedeutet, dass die durchschnittliche Änderung der Werte mittels linearer Regression ermittelt wurde.

Zudem wurde die Anzahl der Ausreisser pro Dekade (10 Jahre) gleitend über die letzten 100 Jahre bestimmt. Da auch in diesem Fall die Monatswerte als Basis verwendet wurden, haben einzelne Tagestemperaturen wenig Einfluss. Auch bei der Schneehöhe und der Niederschlagsmenge pro Monat haben einzelne Unwetter meistens wenig Einfluss.

Ausgangspunkt ist unsere Definition eines Wertes als Ausreisser, wenn er ausserhalb der Standardabweichung um den Wert der Regressionsgeraden für das betreffende

Jahr liegt. Die Standardabweichung wird gleitend über die jeweils letzten 20 Jahre bestimmt. Mit diesem Ansatz ist gewährleistet, dass in allgemein unruhigeren Zeiten, was das Klima betrifft, z.B. in Umstellungsphasen, die Abweichung entsprechend grösser sein muss, um als Ausreisser zu gelten. Das Band «normaler» Schwankungen um den Mittelwert, steigt dabei mit dem Trend mit.

Es wurde untersucht, ob sich die Zahl der Ausreisser, also der «extremen» Werte, im Laufe der Zeit verändert hat. Dazu wurde für jedes Jahr die Anzahl der Ausreisser-Monate je Winter- bzw. Sommerhalbjahr für die letzten 10 Jahre zusammengezählt und geprüft, ob diese einen Trend über die 100-jährige Untersuchungsperiode erkennen lässt.

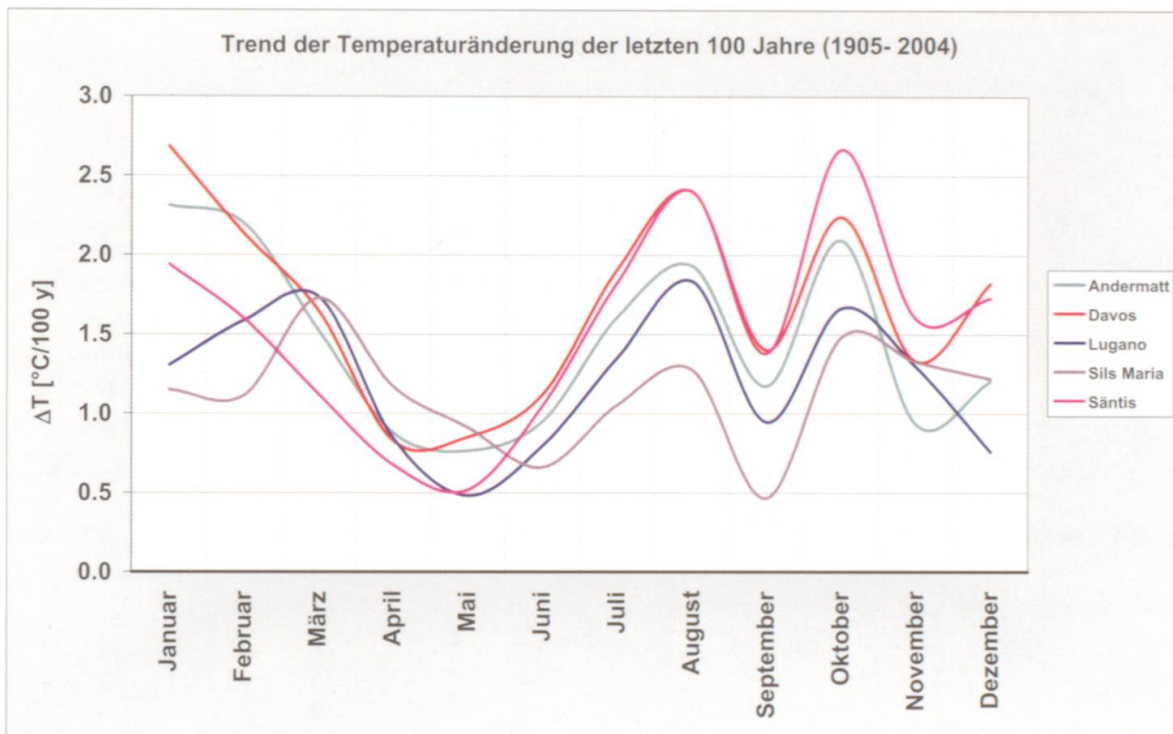


Abb. 2: Monatliche Temperaturänderung der letzten 100 Jahre (1905–2004) pro Monat in Graubünden und Umgebung

### 3. Resultate

Die Trends geben Auskunft über langfristige Änderungen der Monatsmittelwerte im Verlauf der letzten 100 Jahre.

#### 3.1. Temperaturen

Die Trends der Temperaturen liegen deutlich im positiven Bereich (Abb. 2). Das heisst, es wurde an allen Orten und in jedem Monat wärmer. Zum Teil liegen die Werte sogar über der 2°C Marke. Konkret bedeutet dies, dass es in der Region Graubünden/Ostschweiz teilweise in den letzten 100 Jahren monatlich bis zu 2.7°C wärmer wurde. Die Absolutwerte der Temperaturänderungen sind trotz der geografischen Nähe recht verschieden, was auf die Bedeutung lokaler Gegebenheiten hinweist. Jedoch ist der bei allen Stationen ziemlich parallele Jahresverlauf überraschend, vor allem der wellige Verlauf im zweiten Halbjahr. Die Erwärmung hängt offenbar stark

vom jeweiligen Monat ab, und es gibt systematisch im Mittel über 100 Jahre grosse Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Monaten. Am geringsten ist die Erwärmung im Frühjahr (April–Mai).

Im Hochsommer, im Hochwinter sowie im Oktober wird ein starker Temperaturanstieg verzeichnet. In den nördlich gelegenen Stationen Andermatt, Davos und Säntis ist der Temperaturanstieg weit ausgeprägter als bei den südlicheren Stationen. Wie schon erwähnt, liegen die Spitzenwerte bei 2.7°C und wurden in Davos im Januar und auf dem Säntis im Oktober gemessen.

#### 3.2. Niederschlag

Um die Änderung der Niederschlagsmengen in den letzten 100 Jahren grafisch vergleichbar darzustellen, wurde die absolute Änderung (in mm) durch die Norm (Durchschnittswerte 1961–1990) dividiert. Dadurch entstanden Kurven, welche die *relati e* Änderung in den letzten 100 Jahren

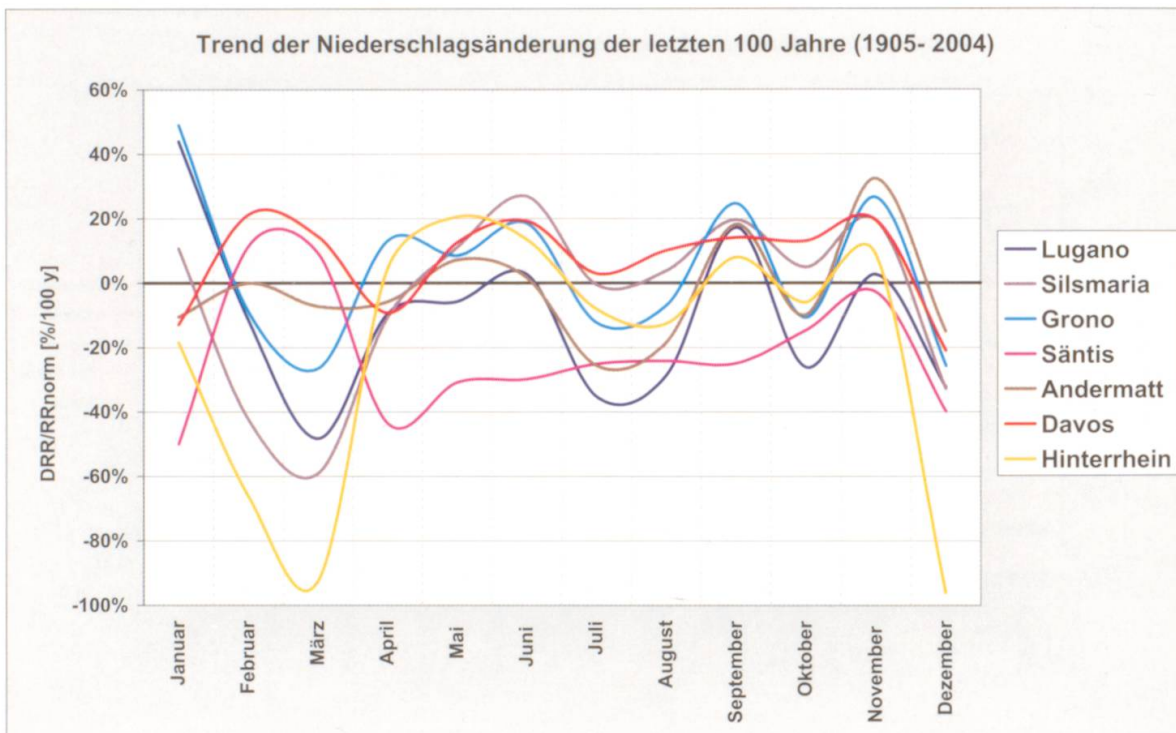


Abb. 3: Trend der Niederschlagsänderung der letzten 100 Jahre (1905–2004) pro Monat. RR: Niederschlag.

darstellen. Eine Änderung von -100% bedeutet, dass es zu Beginn des letzten Jahrhunderts etwa doppelt so viel Niederschlag gab als heute. Die totale Niederschlagsänderung über alle Stationen liegt leicht im negativen Bereich (Abb. 3). Die Tendenz zeigt also nach unten, was bedeutet, dass es in den letzten 100 Jahren in Graubünden und Umgebung leicht trockener wurde (-7%).

Die einzelnen Kurven der Stationen laufen mehrheitlich parallel zueinander was darauf hinweist, dass die Tendenz der Niederschlagsänderung in den einzelnen Monaten bei den meisten Stationen gleich ist, jedoch nicht deren Betrag. In den Monaten September und November verzeichnet sich ein Anstieg der Niederschlagsmenge, während im März, Juli und August die Mehrheit der Stationen einen Rückgang der Niederschlagsmengen aufzeigen. Anders als bei den Temperaturen kann man hier keine Parallelen zwischen den nördlichen bzw. den

südlichen Stationen ziehen. Dies liegt daran, dass die Niederschläge stärker von den lokalen Begebenheiten beeinflusst werden (Topografie). Der Säntis zeigt einen deutlich anderen Verlauf als die übrigen Stationen; als ausseralpine Bergstation ist er am meisten direkt von der Grosswetterlage und am wenigsten von lokalen Gegebenheiten beeinflusst.

Vom Mai bis November gleicht der um die 0%-Achse gespiegelte Verlauf der Niederschlagskurven denjenigen der Temperaturkurven (vgl. Abb. 2). Weniger Niederschlag *in dieser Jahreszeit* bedeutet also auch, dass es wärmer wurde, denn wenn es im Sommer oder Herbst trocken ist, ist es meist auch wärmer als wenn Regen fällt.

### 3.3. Schneehöhe

Daten zur Schneehöhe waren nicht von allen Stationen verfügbar und bei einigen von sehr kurzen Zeiträumen. Deshalb wurden nur die Werte der Stationen Ftan, Davos,

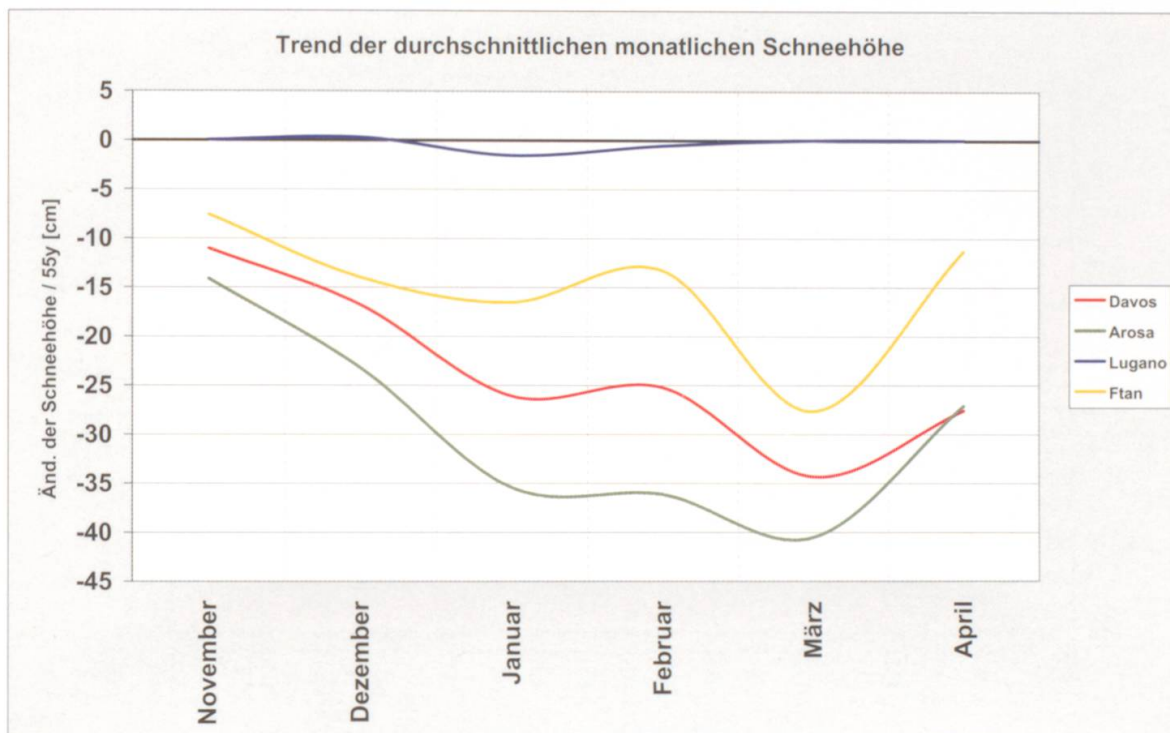


Abb. 4: Trend der Schneehöhenänderung je Monat in Graubünden und Umgebung (1950–2004)

Arosa und Lugano der letzten 55 Jahre (1950–2004) ausgewertet.

Die monatlichen Durchschnittswerte der Schneehöhe gingen bei allen Messstationen zurück. Der geringe Wert bei Lugano geht darauf zurück, dass es ohnehin schon immer wenig Schnee gab und gibt, was bedeutet, dass der Rückgang nicht sehr gross ausfallen konnte.

Bei Davos und Arosa fiel ein sehr starker Rückgang der Schneemenge auf. In Arosa wurde die mittlere Schneedecke im März in den letzten 55 Jahren sogar um 41 cm dünner. Das bedeutet eine Abnahme um ein Drittel von 131 auf 90 cm. Die Grafik zeigt weiter, dass im April die Schneehöhe weniger als im März zurückgegangen ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schneeschmelze schon im März einsetzt und dadurch im April ohnehin weniger Schnee liegt, der noch schmelzen könnte. Die Tendenz ist insgesamt sehr eindeutig und wird wohl manchen Skigebieten Sorgen bereiten.

### 3.4. Ausreisser

Neben den Trends der Mittelwerte wurde auch die langjährige Verteilung der Ausreisser untersucht. Ein Beispiel für das Auftreten von Ausreissern ist die Januar-temperatur von Davos. Die Ausreisser sind rot oder blau markiert.

Durch die Trendlinie sieht man deutlich, dass es in Davos im Januar in den letzten 100 Jahren um durchschnittlich fast 3° wärmer wurde (Abb.5). Die warmen Ausreisser erscheinen zwar immer noch in gleicher Anzahl, doch bestätigen auch sie die Tendenz zur Klimaerwärmung: Der warme Januar 1910 galt damals als Ausreisser, heute hingegen sind solche Temperaturen bereits zur Normalität geworden.

#### 3.4.1. Anzahl Ausreisser

Am Beispiel der Temperatur von Andermatt (Abb. 6.) ist ersichtlich, dass es etwas weniger Monate gibt, in denen die Durchschnittstemperatur deutlich zu hoch ist. Hin-



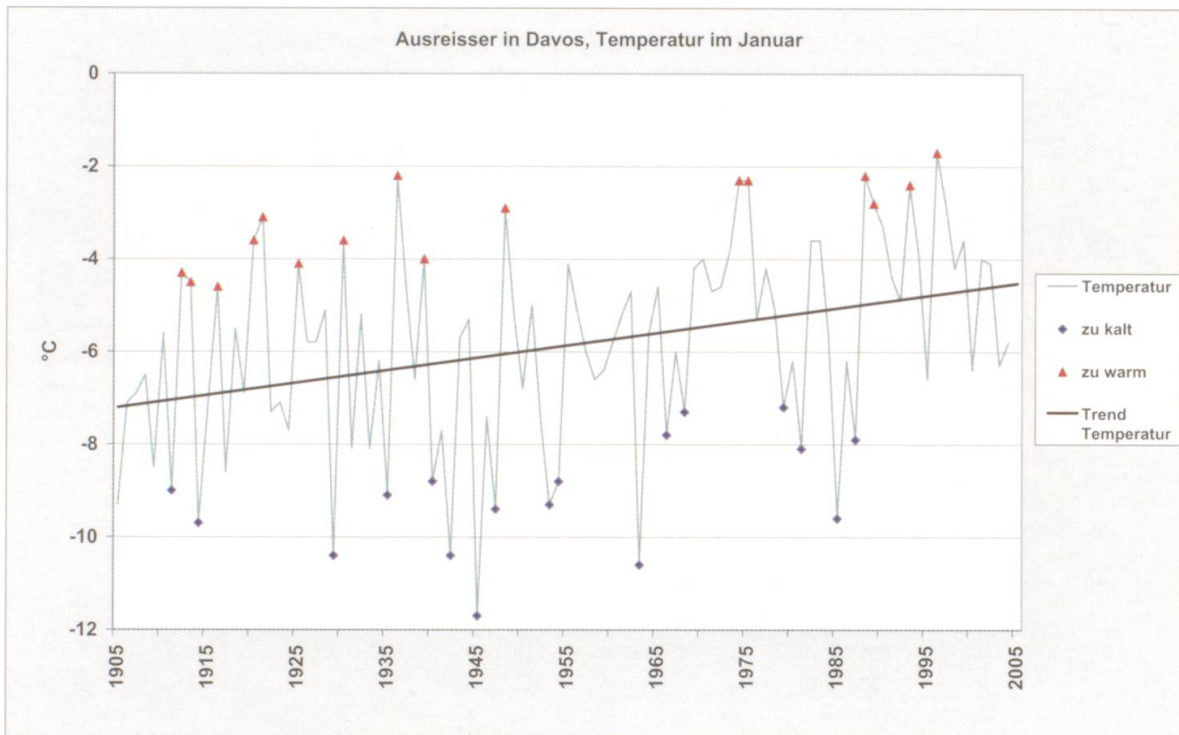


Abb. 5: Beispiel für Ausreisser; Davos, Temperatur im Januar.

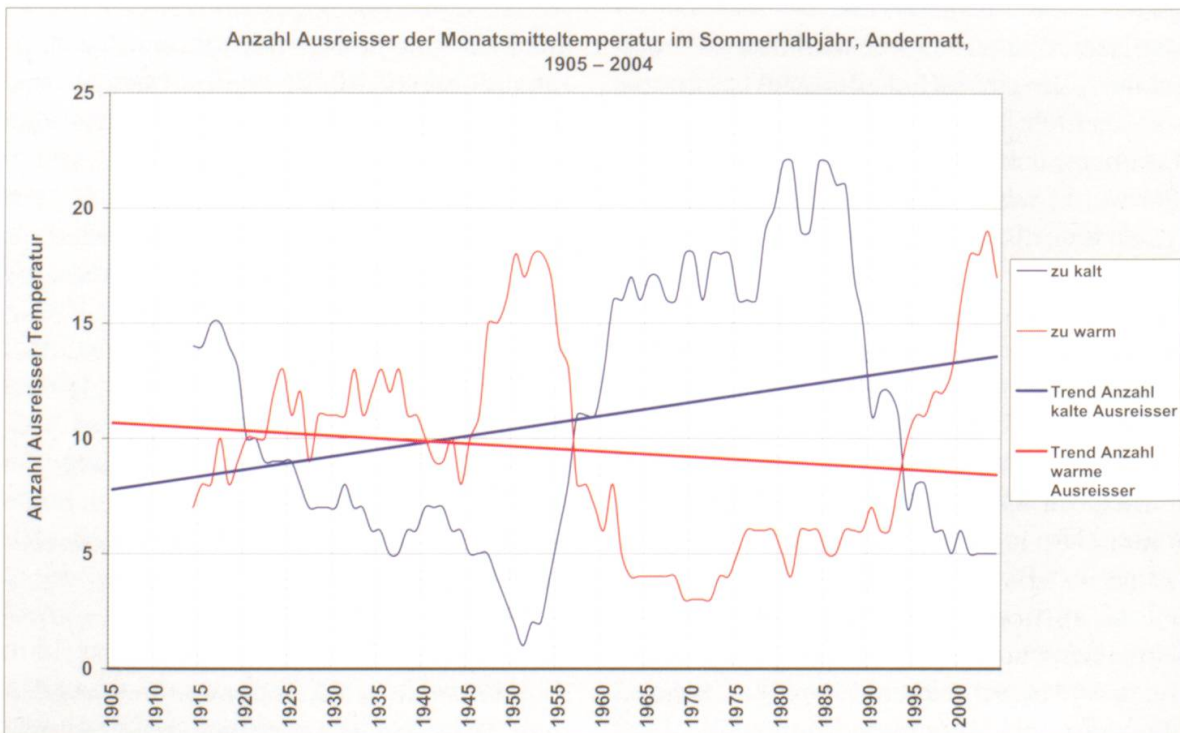


Abb. 6: Temperaturschwankung im Sommerhalbjahr in Andermatt: Anzahl Ausreisser der Monatsmitteltemperatur 1905–2004.

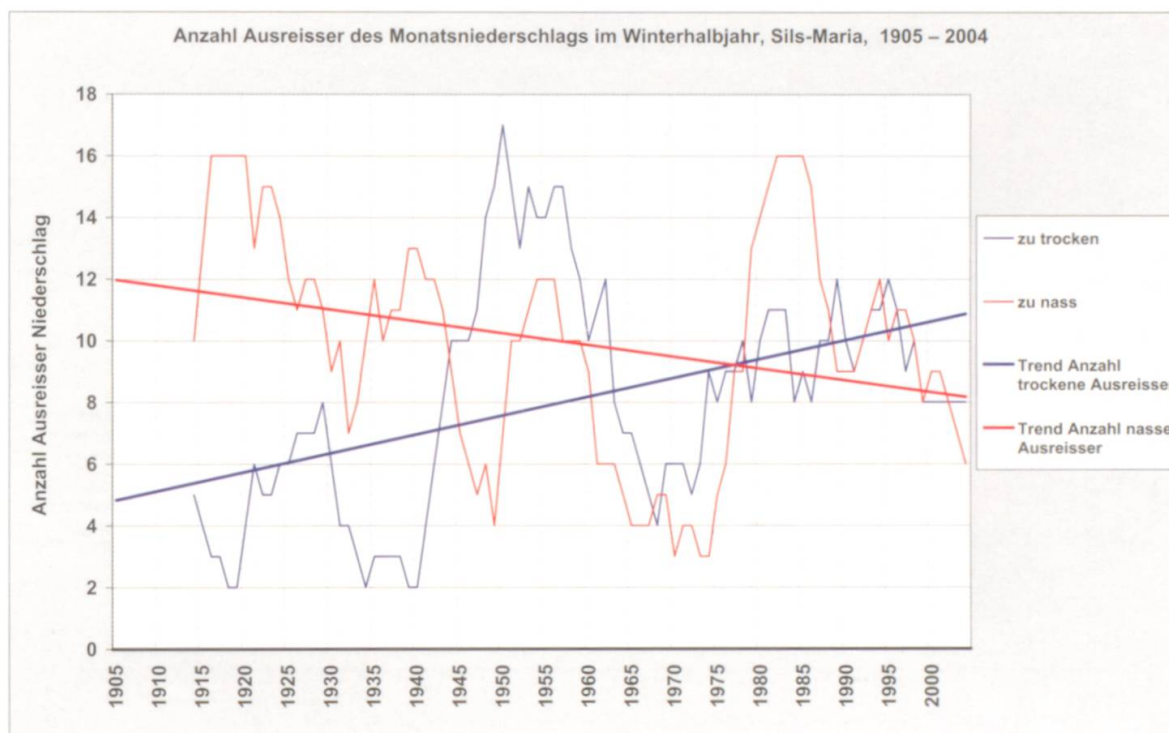


Abb. 7: Niederschlagsschwankung im Winterhalbjahr; Sils-Maria: Anzahl Ausreisser des Monatsniederschlags 1905–2004.

gegen gibt es bis im Jahre 1995 immer mehr Ausreisser in denen die Temperatur zu kalt ist, danach ist es umgekehrt. Kurzfristige Änderungen in der Anzahl Ausreisser können vor allem in Phasen mit Klimaumstellungen auftreten; typischerweise ist dies in den 70er- und anfangs der 90er-Jahre zu finden. Hier interessiert jedoch die langfristige Änderung der Anzahl Ausreisser über die 100-jährige Periode.

Als Beispiel der Ausreisser-Trends bezüglich Niederschlags wird Sils-Maria im Winterhalbjahr gezeigt (Abb. 7). Die Zahl der Ausreisser mit zu viel Niederschlag hat in den letzten hundert Jahren deutlich abgenommen. Die Anzahl der Ausreisser pro Monat mit zu wenig Niederschlag hat hingegen zugenommen. In Sils-Maria gibt es also immer weniger Monate in denen es zu viel geregnet hat. Dafür gibt es immer mehr Monate, in denen es zu wenig geregnet hat. Dies bedeutet eine Tendenz zu mehr trockenen und einzelnen zu nassen Monaten

(der Begriff «Ausreisser» ist immer auf den aktuellen Mittelwert bezogen).

In Abb. 8 (Beispiel für Ausreisser in der Schneehöhe für Davos) ist ersichtlich, dass es immer weniger schneereiche Monate (im Verhältnis zum langjährigen Trend des Mittels) gibt.

Die Häufigkeit der schneearmen Monate hat nur bedingte Aussagekraft, da es nicht weniger als keinen Schnee geben kann. Insgesamt schneit es in Davos immer weniger, was dazu führt, dass es im Allgemeinen weniger Ausreisser hat.

#### 3.4.2. Änderung der Anzahl Ausreisser bezüglich Temperatur, Niederschlag und Schneehöhe pro Jahrzehnt während der letzten 100 Jahre

Im Winterhalbjahr (Oktober bis März) steigt bei allen Stationen, ausser bei Andermatt, die Anzahl der zu trockenen Ausreisser (Abb. 9). Dies ist ein erstaunliches

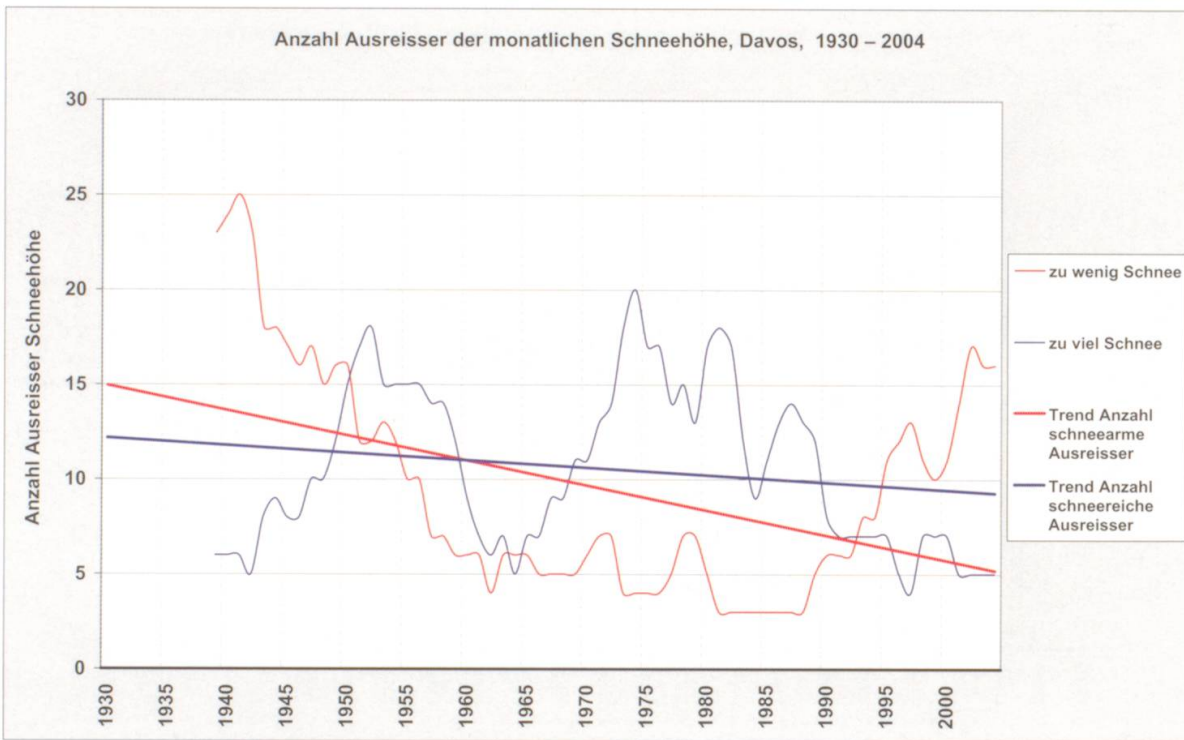


Abb. 8: Schneehöhenschwankung im Winterhalbjahr; Davos: Anzahl Ausreisser der mittleren monatlichen Schneehöhe 1930–2004.

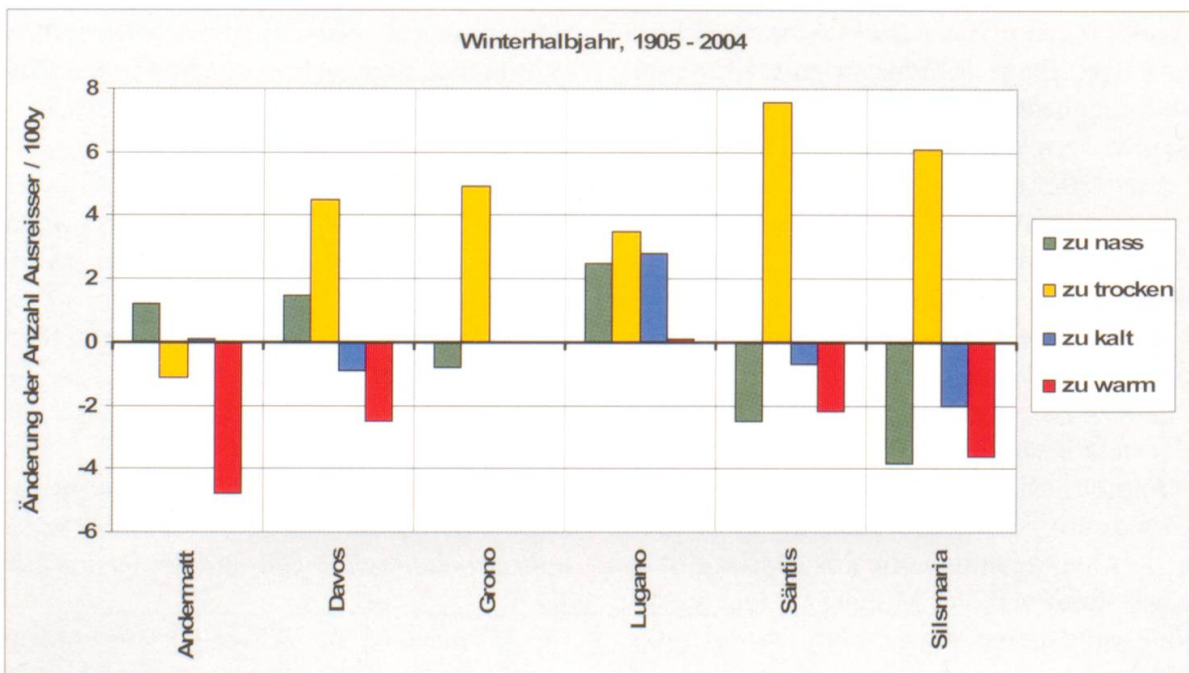


Abb. 9: Änderung der Anzahl Ausreisser-Monate je Jahrzehnt, bezüglich Temperatur und Niederschlag, Winterhalbjahr 1905–2004.

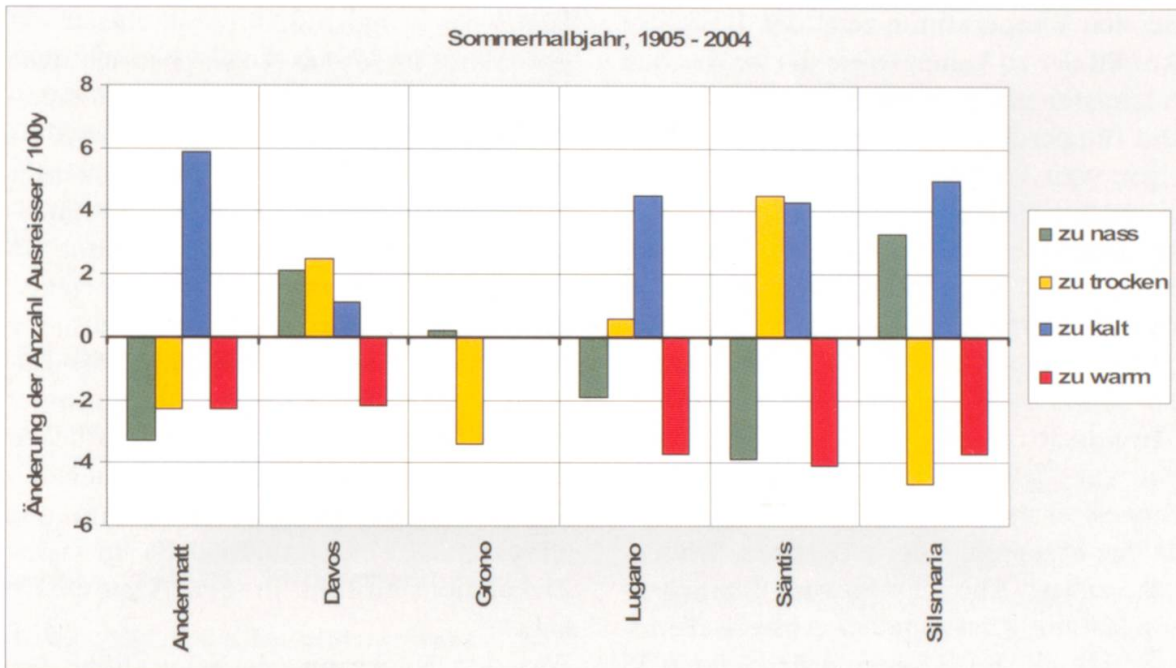


Abb. 10: Änderung der Anzahl Ausreisser-Monate je Jahrzehnt, bezüglich Temperatur und Niederschlag, Sommerhalbjahr 1905–2004.

Ergebnis wenn man beachtet, dass die meisten Stationen ohnehin einen Trend hin zu weniger Niederschlag aufweisen und es trotzdem immer mehr Ausreisser in Rich-

tung zu trocken gibt. Konkret bedeutet dies, dass es immer öfter extrem trockene Monate gibt.

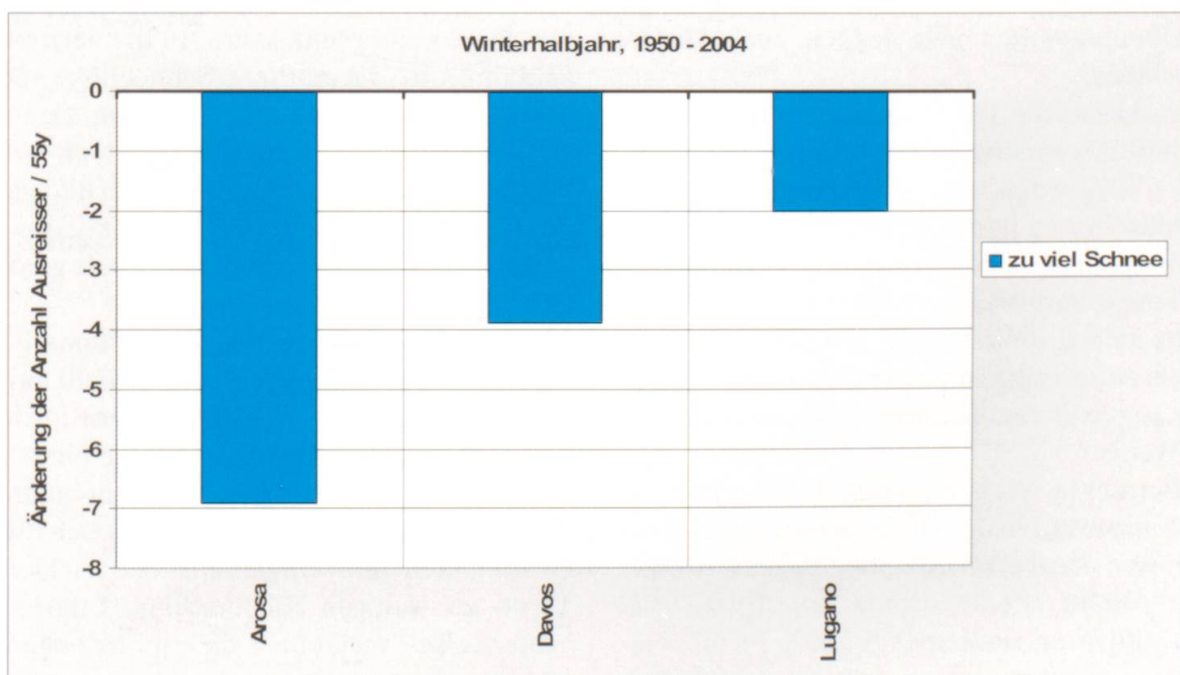


Abb. 11: Änderung der Anzahl Ausreisser-Monate je Jahrzehnt, Schneehöhe im Winterhalbjahr 1950–2004.

Bei den Temperaturen zeigt der Trend der Anzahl der zu kalten sowie der zu warmen Ausreisser einen Rückgang auf (Abb. 9). Die Temperaturen weichen also immer weniger vom langjährigen Mittel ab, wobei dieses Mittel eben ansteigt (vgl. Abb. 5).

Im *Sommerhalbjahr* weisen alle Stationen einen Trend in Richtung mehr kalte und weniger warme Ausreisser auf (Abb. 10). Offenbar kehrt das Klima immer wieder zur ‹früheren Witterung› zurück – nun als ‹Ausreisser›.

Bei der Schneehöhe wurden nur die Ausreisser mit ‹zu viel Schnee› betrachtet, da das Minimum der möglichen Schneehöhe null ist. Abb. 11 zeigt auch deutlich einen starken Rückgang der Ausreisser-Monate mit ‹zu viel Schnee› in den letzten 55 Jahren auf. Es gibt also immer weniger extreme Schneemengen.

#### 4. Diskussion

Ein Vergleich zwischen den in der Einleitung erwähnten Studien über die Klimaerwärmung und dieser Arbeit zeigt einige Übereinstimmungen, jedoch auch Unterschiede.

Während die IPCC Studie aus dem Jahre 2001 einen globalen Temperaturanstieg von  $0.6^{\circ}\text{C}$  aufweist, beträgt der mittlere Temperaturanstieg in den oben aufgeführten Stationen etwa das Doppelte des weltweiten Temperaturanstiegs. Die Richtung des Trends ist jedoch unbestritten dieselbe. Der Temperaturanstieg in Graubünden und Umgebung liegt also deutlich über dem globalen Trend.

Betrachtet man die Halbjahrestrends der Temperatur in der Studie der MeteoSchweiz liegen diese etwa im selben Bereich wie die in dieser Studie ermittelten Trends (zu Halbjahren zusammengefasst). Es muss jedoch erwähnt werden, dass die monatlichen Trends sehr stark schwanken. So liegt z. B. der Trend des Monats Mai bei der Station

Säntis bei lediglich  $0.5^{\circ}\text{C}$ , während er auf dem Säntis im Monat August beträchtliche  $2.7^{\circ}\text{C}$  beträgt; beide Monate liegen im gleichen Halbjahr. Daher kann man sagen, dass die zeitliche Auflösung in Halbjahre sehr verschiedene Trendsituationen zusammenfasst und damit verwischt. Die Auflösung in einzelne Monate scheint besser geeignet, den jährlichen Gang der Klimaerwärmung zu erforschen und Prognosen für die Zukunft aufzustellen. Es kann auch vermutet werden, dass die zum Teil beträchtlichen (langjährigen!) Unterschiede zwischen den Monaten einen Zusammenhang mit den jahreszeitlich unterschiedlichen globalen Zirkulationsmustern in der Atmosphäre haben.

Was den Rückgang der Schneehöhe betrifft, sind die Werte dieser Studie, verglichen mit der vom Kanton Graubünden veröffentlichten Studie, bei weitem höher. In der dort zitierten Studie des SLF (Latarnser (2002)) wird ein Rückgang der durchschnittlichen Schneehöhe im Winterhalbjahr seit 1950 von etwa 10% für die Höhenstufe 1600–1900 m ausgewiesen. In dieser Höhenstufe liegen die hier untersuchten Stationen von Davos, Ftan und Arosa. In den letzten 55 Jahren ist die mittlere Schneehöhe im März an diesen Stationen etwa um einen Drittel zurückgegangen. Die bisweilen gehörte Aussage, dass nur tiefere Lagen infolge der Klimaänderung mit weniger Schnee auskommen müssen, kann in dieser Studie ganz und gar nicht bestätigt werden.

Bei den Niederschlägen sind die monatlichen Trends sehr unterschiedlich. Nicht nur was ihren Betrag anbetrifft sondern auch ihre Richtung. In manchen Monaten nimmt die Niederschlagsmenge zu und in manchen nimmt sie ab. Insgesamt ergibt sich für Graubünden und Umgebung ein leichter Trend zu weniger Niederschlag. Interessanterweise verlaufen die monatlichen Niederschlagstrends mancher Stationen erstaunlich stark parallel zueinander, in umgekehrter Analogie zu den Temperatur-

trends. Dies liegt daran, dass die Stationen nahe beieinander liegen und der gleichen Wetterlage ausgesetzt sind. Hierbei ist jedoch auch Vorsicht geboten, da die lokalen Begebenheiten (wie die Topographie) auch einen grossen Einfluss auf das Wetter haben.

## **5. Literaturverzeichnis**

AMT FÜR NATUR UND UMWELT. 2002. Klimaänderung in Graubünden. Chur.

BADER, S. BANTLE, H. 2004. Das Schweizer Klima im Trend. Temperatur und Niederschlagsentwicklung 1864–2001. MeteoSchweiz, Zürich.

BUWAL. 2002. Das Klima in Menschenhand. Neue Fakten und Perspektiven. Bern.

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC). 2002. Klimaänderung 2001. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Hrsg. ProClim. Bern.

LATERNSER, M. 2002. Snow and Avalanche Climatology of Switzerland, SLF, ETH.

## **6. Danksagung**

Wir danken Herrn David Jenny für seine Hilfe und Korrektur unseres Textes, dem Schnee- und Lawinenforschungsinstitut Davos für die Daten von Ftan, und unserem Coach Jürg Thudium, Physiklehrer am Hochalpinen Institut Ftan, Schweiz, für seine Unterstützung.

