

# StartClim2007.A

**Erweiterung und Vervollständigung des  
StartClim Datensatzes für das  
Element tägliche Schneehöhe**

**Aktualisierung des existierenden StartClim  
Datensatzes (Lufttemperatur, Niederschlag  
und Dampfdruck) bis 2007 04**

**Zentralanstalt für Meteorologie und  
Geodynamik**



Dr. Ingeborg Auer

Anita Jurković

Dr. Reinhard Böhm

Dr. Wolfgang Schöner

Dr. Wolfgang Lipa

Wien, im Juni 2008

StartClim2007.A

Teilprojekt von StartClim2007

Projektleitung von StartClim2007:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2007 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF, des BMWA, der Österreichischen Hagelversicherung, der Verbund AHP und des BMGFJ gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>A-1 Grundlagen des StartClim- Datensatzes tägliche Gesamtschneehöhe</b> .....	<b>6</b>
<b>A-1.1 Schnee als wichtiger Faktor in der Ökologie und Ökonomie</b> .....	<b>6</b>
<b>A-1.2 Messmethoden</b> .....	<b>7</b>
<b>A-1.3 Datengrundlage</b> .....	<b>8</b>
<b>A-1.4 Definition charakteristischer Schneeparameter</b> .....	<b>12</b>
<i>A-1.4.1 Anzahl der Tage mit Schneedecke</i> .....	<i>13</i>
<i>A-1.4.2 maximale Schneehöhe</i> .....	<i>13</i>
<i>A-1.4.3 Schneedeckendauer</i> .....	<i>14</i>
<i>A-1.4.4 Winterdeckendauer</i> .....	<i>14</i>
<b>A-2 Qualitätsprüfung und Korrektur des Datensatzes</b> .....	<b>16</b>
<b>A-2.1 Vervollständigung der Zeitreihen</b> .....	<b>16</b>
<b>A-2.2 Prüfungen mittels Parameter Pseudoneuschneehöhe</b> .....	<b>17</b>
<i>A-2.2.1 Ergebnisse</i> .....	<i>17</i>
<b>A-3 Homogenitätsaussagen des bearbeiteten Datensatzes der täglichen Gesamtschneehöhe</b> .....	<b>19</b>
<b>A-3.1 Ergebnisse des HOCLIS-Tests</b> .....	<b>20</b>
<b>A-4 Trendanalyse der charakteristischen Schneeparameter</b> .....	<b>22</b>
<b>A-4.1 Überprüfung der Signifikanz eines Trends mittels Mann-Kendall Test</b> .....	<b>22</b>
<b>A-4. 2 Signifikante Testentscheide</b> .....	<b>22</b>
<b>A-4. 3 Nord vs. Süd</b> .....	<b>24</b>
<b>A-4. 4 Aussagen in Hinsicht auf Qualität</b> .....	<b>25</b>
<b>A-5 Extremwertanalyse</b> .....	<b>28</b>
<b>A-6 Modellierter Datensatz der Gesamtschneehöhe</b> .....	<b>30</b>

<i>A-6.1 Methodik</i> -----	30
<i>A-6.2 Ergebnisse</i> -----	31
<b>A-7 Schlussfolgerungen</b> -----	<b>36</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> -----	<b>38</b>
<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> -----	<b>39</b>

## Kurzfassung

Im Rahmen von StartClim2007.A wurden die Datensätze der Elemente Temperatur, Niederschlag und Dampfdruck bis inklusive April 2007 aktualisiert. Der Fokus des Projektes bestand in der Vervollständigung und Auswertung des Datensatzes der täglichen Gesamtschneehöhe.

Die Qualitätsprüfung der Zeitreihen, welche mittels Parameter Pseudoneuschneehöhe erfolgte, detektierte unzählige u.a. Beobachtungs- und Digitalisierungsfehler, die dann in weiterer Folge bearbeitet werden konnten. Eventuelle Lücken der Zeitreihen wurden mit Hilfe von gut korrelierten Nachbarstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik oder des hydrographischen Dienstes (HD) vervollständigt.

Weiters wurde, in Hinblick auf Trendanalysen der Gesamtschneehöhe, der Datensatz auf Homogenität (hierfür wurde HOCLIS verwendet) geprüft. Die Ergebnisse der Trendanalyse liefern dabei vorwiegend negative signifikante Testentscheide im Süden Österreichs. Im Norden weisen die Stationen keinen oder signifikanten negativen Trend auf.

Eine zusätzliche Aufgabe dieses Projektes bestand in der Modellierung täglicher Gesamtschneehöhendatensätze. Dabei errechnete sich das *Schneemodell nach Schöner* aus täglichen Temperatur und Niederschlagswerten Gesamtschneehöhen. Generell unterschätzte das Modell die Höhe der Schneedecke. Je höher die Station situiert ist, desto größer sind die Differenzen zwischen modellierten und originalen Daten. Die Trendanalyse der berechneten Werte führte zu einem ähnlichen Schluss wie die Trendanalyse der originalen Zeitreihen.

## Abstract

The update (until April, 2007) of already existing datasets of temperature, precipitation and vapour pressure was one goal of the StartClim 2007-A project. The main focus was on the completion and the analysis of daily snow depth datasets.

By means of a quality test applied to the depth of "pseudo" new snow the detection of various observation and digitalization errors became feasible. These were corrected in a following step of the analysis.

Many gaps that occurred in time series could be closed with information from sufficiently high correlated stations in the neighbourhood. During this process there was made no distinction whether the station was from the network of the Central Institute for Meteorology or from the national hydrographical service.

An essential prerequisite for any kind of trend analysis is the homogeneity of the underlying time series. For this reason a classification into homogenous and non homogenous stations was made (used homogeneity test: HOCLIS). The trend test showed significant negative trend values for many stations in southern Austria and various results (i.e. no significance, significant negative and not significant negative) for the northern part.

Daily snow depth values were generated by the so-called 'Schöner snow model' that is driven by daily temperature and precipitation values. In general the model underestimates the height of snow cover. It turned out as a rule of thumb that with increasing altitude of the sites the difference between calculated and observed data grows. The trend test of the computed datasets showed similar results as the previous trend test of original data.

## **A-1 Grundlagen des StartClim- Datensatzes tägliche Gesamtschneehöhe**

### **A-1.1 Schnee als wichtiger Faktor in der Ökologie und Ökonomie**

Die Schneedecke reagiert innerhalb kurzer Zeit auf Temperatur- sowie Niederschlagschwankungen und ist somit ein guter Indikator für das omniprésente Schlagwort Klimawandel. In Deutschland widmeten die Medien dem Wetter und Klima solch eine Aufmerksamkeit, dass das Wort Klimakatastrophe zum Wort des Jahres auserkoren wurde. Aber auch in Österreich erregte der letzte, überdurchschnittlich warme Winter 2006/07 (in den Monaten Dezember, Jänner und Februar betrug die Temperaturabweichungen +3.5 bis +6.5°C) großes Aufsehen, führte uns die Folgen der Klimavariabilität deutlich vor Augen, und rückte somit das Element Schnee immer mehr in den Blickpunkt medialen Interesses.

Der Schnee, oder besser gesagt das Vorhandensein einer Schneedecke, beeinflusst Ökonomie und Ökologie in starken Ausmaße. Global sowie regional sind die Auswirkungen einer flächendeckenden Abnahme der Schneedecke immens. Die besonderen Eigenschaften der Schneedecke, wie hohe Reflexionseigenschaften (Albedo) im solaren Energiespektrum bzw. im terrestrischen Bereich als nahezu idealer schwarzer Strahler zu wirken (Schnee erscheint bei einer Wellenlänge von 10µm schwarz wie Russ), haben große Auswirkungen auf die Energiebilanz unseres Planeten Erde.

Im solaren, kurzwelligigen Spektrum (0.3-0.7 µm) verhindert die Schneedecke ein Abstrahlen der gespeicherten Bodenwärme in die vergleichsweise kühlere Atmosphäre und fungiert somit als guter Isolator. Nimmt die Anzahl der Schneedeckentage ab, führt das somit zu einem stärkeren Auskühlen des Erdbodens bzw. zu einer verringerten Reflexion der Strahlung. Dabei wird die Albedo gerne als Maß des Rückstrahlungsvermögens von diffus reflektierenden Oberflächen herangezogen. Sie wird durch den Quotienten aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge bestimmt. Je höher der Albedowert, desto mehr wird reflektiert. Neuschnee hat ein hohes Rückstrahlvermögen von in etwa 90% der solaren Strahlung. Verschmutzter und dadurch dunkler ist der so genannte Firn (über 1 Jahr alter Schnee), dieser wirft lediglich die Hälfte der ankommenden Strahlung zurück. Ein mit Gras bewachsener Hang dagegen weist Albedowerte von 0.15 bis 0.25 auf.

Nimmt nun die Fläche der Schneebedeckung ab, führt dies zu einer Erwärmung der untersten Schichten der Atmosphäre. Durch die fehlende Isolationswirkung, schädigt Frost die örtliche Flora und beeinflusst damit Fauna und damit auch implizit den Menschen.

Durch eine Schneedecke werden große Eismassen, wie die Gletscher in den Alpen, den Sommer über gut geschützt. Ein Fehlen dieser Isolationschicht verursacht eine negative Massenbilanz und lässt die Gletscher früher schmelzen.

Im langwelligigen Spektrum erscheint frisch gefallener Schnee schwarz und emittiert somit sehr viel Strahlung in die Atmosphäre. Dadurch kommt es zu einem stärkeren Auskühlen unseres Planeten. Das genaue Gegenteil würde das Rückgehen der Schneedecke bewirken, es würde zu einer Erwärmung führen.

Um der Klimafolgenforschung ausreichendes Grundlagenmaterial zur Verfügung stellen zu können, sind Projekte wie beispielsweise dieses, StartClim2007- Erweiterung des StartClim Datensatzes um das tägliche Element Gesamtschneehöhe, welches eine korrigierte und qualitätsgeprüfte Datengrundlage schafft, notwendig.

### A-1.2 Messmethoden

An unserem Institut, der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, erfolgten die ersten regelmäßigen Aufzeichnungen der täglichen Gesamtschneehöhe im Jahr 1929, also erst etwa 75 Jahre nach dessen Gründung (1851), an der Station Wien-Hohe Warte. Die restlichen Messstationen der ZAMG folgten dem Beispiel der Hohen Warte erst später und fingen mit den Aufzeichnungen von täglichen Gesamtschneehöhen Mitte der dreißiger Jahre an. Neuschneehöhen wurden noch später, mit der Einführung des EDV-Klimabogens (ab 1984) aufgezeichnet (Mohnl H., 1992).

Aufgrund der Bedeutsamkeit der Schneedecke (große Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel und das Abflussverhalten einer Region) sammelte der hydrographische Dienst Österreichs (HD), im Gegensatz zum nationalen meteorologischen Dienst, seit dessen Gründung im Jahre 1895 tägliche Schnee- und Neuschneehöhen. An den meisten Klimastationen wurden und werden auch weiterhin Gesamt- sowie Neuschneehöhenmessungen vom Beobachter, also manuell, durchgeführt. Eine langsame Umstellung auf automatische Schneehöhenmessungen (welche sich noch teilweise im Testbetrieb befinden) erfolgte an der ZAMG 2005 bzw. am HD 2006.

Die Messung der täglichen Gesamt- und Neuschneehöhe findet täglich um 7 Uhr Ortszeit statt und wird mit Hilfe eines Schnee- oder Standpegels vom Beobachter bestimmt. Im Gegensatz zu einem Standpegel, der an einer fixen Stelle platziert ist, wird der Schneepegel an verschiedenen Stellen in die Schneedecke gestoßen und der arithmetische Mittelwert aus den unterschiedlichen Messungen in den Beobachterbögen verzeichnet. Die Gesamtschneehöhe der 7 Uhr Messung wird dem aktuellen Tag zugeordnet. Bei der mittels Schneebrett gemessenen Neuschneesumme bestehen unterschiedliche Konventionen:

- An der ZAMG werden die 7 Uhr Messungen dem aktuellen Tag zugeordnet
- Beim hydrographischen Dienst werden die Neuschneesummen der 7 Uhr Messung den letzten 24 Stunden zugeordnet, und dadurch in die Spalte des Vortages eingetragen.

Manuelle Messungen sind zwar präzise aber auch kostenintensiv, da die Messstelle durch einen ständigen Beobachter betreut werden muss.

Häufige Fehlerquellen dieser Messmethode sind:

- Die zeitliche Verschiebung (englischer Fachbegriff: *temporal allocation*) der Gesamtschneehöhen- und Neuschneesummenaufzeichnungen muss bei der Datenprüfung berücksichtigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Konventionen bei der Verzeichnung von Neuschneesummen, kommt es hier öfters zu Diskrepanzen zwischen ZAMG und HD Datensätzen. Beispielsweise wurden zeitweise an HD-Stationen die Neuschneesumme der letzten 24 Stunden in die Spalte des aktuellen Tages eingetragen.
- Sporadische Messungen der Beobachter (Eintrag von Gesamtschneehöhen nur an Tagen, an denen Neuschnee gefallen ist).
- Beobachter, insbesondere in höheren Lagen, beendeten meist mit Aussetzen des letzten Schneefalles vorzeitig ihre Aufzeichnungen.
- Schneehöhen und Neuschneehöhensummen unter 1 cm wurden teilweise gar nicht oder nur symbolisch (\*) notiert.

Automatische Schneehöhenmessungen können auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen.

An unserem Institut werden derzeit USH-8 Ultraschall - Schneehöhensensoren von der Firma Sommer verwendet. Das Messprinzip des Sensors beruht auf der Laufzeitmes-





Die höchste Station des Datensatzes stellt der Hohe Sonnblick auf 3105m Seehöhe dar. Im Mittel entfällt eine Station auf eine Fläche von 1181 km<sup>2</sup>, die mittlere Distanz beträgt somit 34km.

Um Stationen genau zuordnen zu können und sich eine generelle Übersicht des Datensatzes zu verschaffen, war die Generierung einer Metadaten-Datei notwendig. Dort wurden grundlegende Informationen, wie exakte Koordinatenangaben und -höhen, Beginn und Ende der Beobachtungsperioden, eventuelle Lücken des Datensatzes und Beobachterwechsel und dadurch möglicherweise bedingte Standortwechsel, festgehalten. Eine vollständige Stationsgeschichte zeigt alle Änderungen, die an einer Station stattgefunden haben und erleichtert somit die Bearbeitung des Datensatzes wesentlich. Besonders in Hinblick auf Homogenisierungstests erweisen sich Stationsgeschichten als sehr hilfreich und erleichtern die Detektierung vorhandener Sprünge in Zeitreihen (so genannte Inhomogenitäten).

Abb. A- 2 visualisiert den Datenbestand der StartClim Stationen im Zeitraum 1948 bis 2007. Grün markierte Felder weisen einen vollständigen Datensatz innerhalb des jeweils betrachteten Jahres auf. Dagegen sind Fehlwerte, welche weder mit Werten von umliegenden HD-Messstellen noch mit Nachbarstationen des ZAMG-Messnetzes geschlossen werden konnten, rot (falls das gesamte Jahr fehlt) bzw. gelb (einige Tage bis Monate des Jahres fehlen) gekennzeichnet. Lavendel unterfärbte Zeiträume wurden vervollständigt und weisen nun keine Fehlwerte mehr auf.





### A-1.4 Definition charakteristischer Schneeparameter

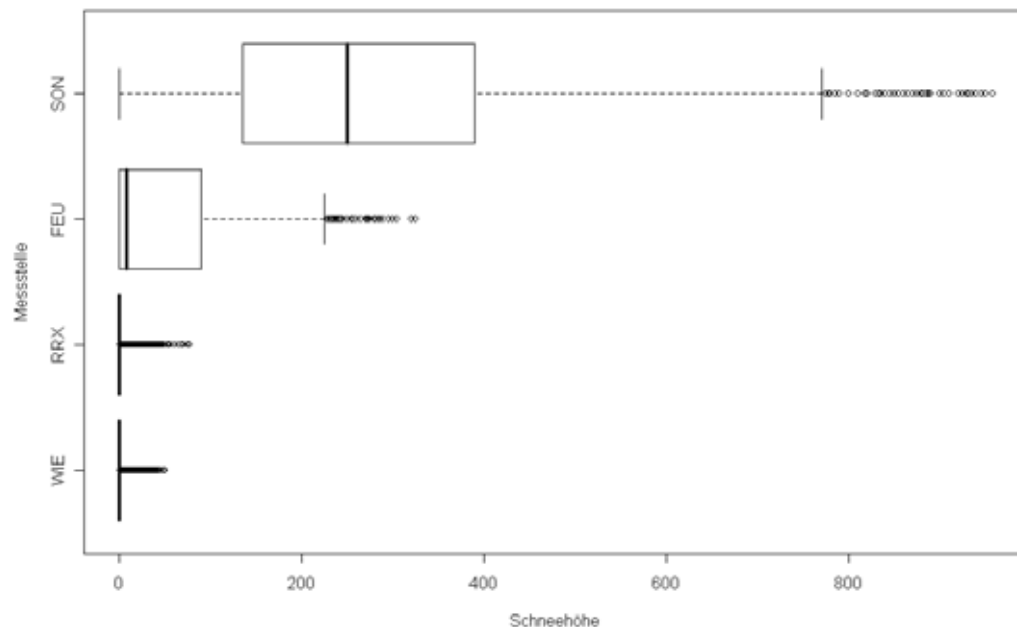
Die Voraussetzung für die Durchführbarkeit eines Signifikanz- bzw. Homogenitätstests ist eine Datenunabhängigkeit und je nach Wahl des Testes eine Normalverteilung der jeweils zu testenden Zeitreihe (Stichprobe). Die Zeitreihen der Gesamtschneehöhe zeigen eine starke Erhaltungsneigung und eine stark exzessive linkssteile Verteilungsform auf (vgl. Abb. A- 3).

Die Häufigkeitsverteilungen vier ausgewählter Stationen (in verschiedenen Höhenlagen) wurde in Abb. A- 3 mit einem Boxplot dargestellt. Ein Boxplot stellt statistische Maße, wie Median, Modus, Ausreißer (Extremwerte) und das Q1 und Q3 Quantil, dar.

Dabei umfasst das Rechteck 50% der Daten. Durch die Länge der Box ist der Interquartilsabstand (IQR) abzulesen. Dies ist ein Maß der Streuung, welches durch die Differenz des 3. (=Q3, Q75%) und 1.Quantils (=Q1, Q25%) bestimmt wird. Das 2. Quantil, auch Median genannt, ist in der Box als senkrechter Strich eingezeichnet und lässt aufgrund seiner Lage eine Aussage in Bezug auf die Schiefe der Stichprobe zu. Werte, die sich außerhalb des 1,5 fachen IQR befinden, werden beim Boxplot als Punkte dargestellt und als Ausreißer definiert.

Am Beispiel der Station Feuerkogel kann man durch die Lage des Medianes (Wert: 8cm) und die generelle Verteilung der Daten auf eine linkssteile Verteilungsform schließen. Durch die Begrenzung des Wertebereiches (es treten keine Werte unter 0cm Schneehöhe auf) am linken Rand, treten Ausreißer nur am rechten Rand der Verteilung auf.

Je niedriger situiert eine Station gelegen ist, desto mehr konvergiert der Median gegen den Modus (Wert, der in der Stichprobe am häufigsten vorkommt, am Sonnblick: 200cm, an allen anderen Stationen des Datensatzes: 0cm)



**Abb. A- 3:** Boxplot vier ausgewählter Stationen des Datensatzes. WIE (Wien-Hohe Warte, 203m), RRX (Reichenau an der Rax, 486m), FEU (Feuerkogel, 1618m) sowie SON (Sonnblick, 3105m). Je höher die Station gelegen ist, desto mehr nähert sich die linkssteile Verteilungsform einer Normalverteilung an.

Um korrekte statistische Aussagen tätigen zu können, wurden verteilungsfreie (so genannte Rangtests) Parametertests gewählt und charakteristische Schneeparameter, welche keine Datenabhängigkeit vermuten lassen, eingeführt. Die Bedeutsamkeiten und Eigenschaften der jeweils ausgewerteten Schneeparameter folgen in den nachfolgenden Unterkapiteln.

#### **A-1.4.1 Anzahl der Tage mit Schneedecke**

*„Die Dauer der Schneebedeckung an einem Ort ist das Ergebnis komplizierter Wechselwirkungsprozesse zwischen Niederschlags-, Temperatur- und Strahlungsregime“*

*(Quelle: hydrologischer Atlas).*

Indem Niederschlag in fester Form gespeichert wird, beeinflusst die Schneedecke den Wasserhaushalt maßgebend und spielt in der Hydrologie eine wichtige Rolle. Folglich wirken sich längerfristige Änderungen der Schneedecke auf die Grundwasserbildung aus und üben großen Einfluss auf die Hochwasserentstehung aus. Aufgrund der bereits angesprochenen Isolationseigenschaften der Schneedecke, gibt die Anzahl der Tage mit Schneedecke wichtige Auskunft über das Strahlungs- bzw. Wärmeregime des Bodens in einer Region, was für die Landwirtschaft von besonderem Interesse ist.

Ein Tag mit einer mindestens 1cm hohen durchgehenden Schneedecke wird als Schneedeckentag gewertet. Dabei wurde immer die Anzahl an Schneetagen pro Winterjahr, welches immer im Oktober beginnt und bis zum September des Folgejahres gezählt wird, berechnet. Dieser Parameter weist eine starke Temperatur- und somit auch eine starke Höhenabhängigkeit auf (vgl. Abb. A- 25 ori-Daten in Kapitel A- 6 Modellierte Datensätze.).

Bei einem Datensatz der über alle Höhenstufen gleichmäßig verteilt ist, kann aufgrund des Maximums an Schneetagen in höheren Regionen bzw. wenigen bis gar keinen Schneetagen auf Meeresniveau die Tangenshyperbolikusfunktion als gute Näherung herangezogen werden. Die niedrigste situierte Station des StartClim Datensatz ist Hohenau und liegt auf 155m, die höchste Station ist auf 3105m. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0.93 (ist ein Maß der Statistik für den Anteil der erklärten Varianz eines Zusammenhangs) wurde die lineare Beziehung als ausreichend gute und einfache Näherung herangezogen.

#### **A-1.4.2 maximale Schneehöhe**

Die maximale Schneehöhe nimmt grundsätzlich wie auch die anderen Schneeparameter mit der Seehöhe zu. Wie gut die maximale Schneehöhe mit der Stationshöhe korreliert, wird mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten R definiert. R ist eine dimensionslose Zahl, im Wertebereich von  $-1 \leq R \leq +1$ , bei  $R=0$  besteht keinerlei Zusammenhang zwischen beiden Datensätzen. Bei  $R=+1$  handelt es sich um eine streng lineare positive Korrelation (positive Steigung) bzw. bei  $R=-1$  um eine streng lineare negative Korrelation (negative Steigung)

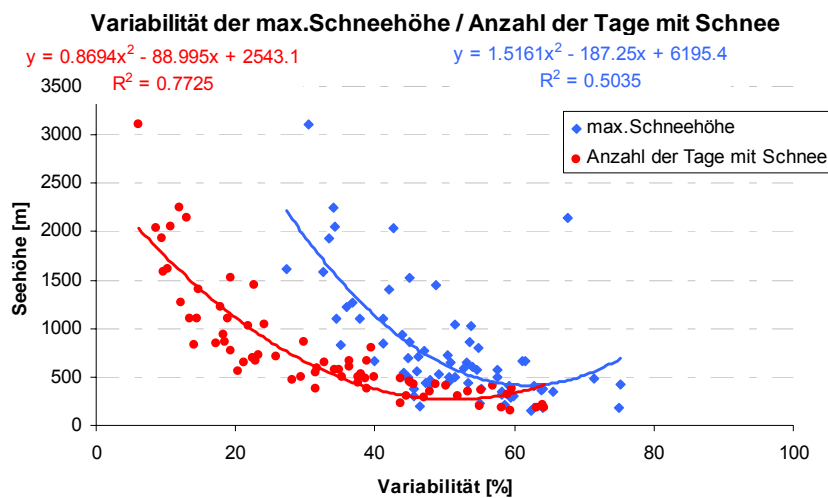
Mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R=0.84$  ist dieser Parameter stark positiv korreliert und die erklärte Varianz (Anteil der Streuung die durch die lineare Abhängigkeit erklärt werden kann) beträgt 72% (siehe Abb. A- 26). Lokale Abweichungen ergeben sich durch LUV-LEE Effekte bzw. urbane oder suburbane Lagen. Der Feuchtegehalt der angeströmten Luftmassen (maritime-kontinentale Effekte) und die Anströmungsrichtungen von Großwetterlagen (Nordstau-Südstaulagen) beeinflussen die Höhe der Schneedecke gleichfalls.

Flachland- bzw. Talstationen verzeichnen eine höhere Variabilität (Schwankung; die Berechnung der Variabilität: Standardabweichung durch Mittelwert, in %) gegenüber

höher gelegenen Stationen, da in niedrig situierten Regionen die Schneebedeckung immer wieder durch Tauwetterphasen unterbrochen wird. Meist erfolgt der Schneedeckenaufbau zu Winterbeginn langsamer als der Abbau gegen Ende des Winters. Der Zeitraum des Schneehöhenmaximums kann an tief gelegenen Stationen im November als auch im späten März auftreten und ist infolgedessen starken Variabilitäten unterworfen.

Die maximale Schneehöhe unterliegt stärkeren Jahr-zu-Jahr Schwankungen als beispielsweise der bereits betrachtete Schneeparameter Anzahl der Schneedeckentage (vgl. Abb. A- 4). Oberhalb der klimatologischen Schneefallgrenze überwiegt die Schneedeckenakkumulation die der Ablation.

Besonders in Bereich der technischen Klimatologie, welche sich mit der Berechnung von Schneelasten bzw. mit der Statik von Gebäuden beschäftigt, spielen Informationen über die maximale mittlere Schneehöhe eine große Rolle.



**Abb. A- 4:** Variabilität in Abhängigkeit der mittleren maximalen Schneehöhe bzw. Anzahl der Tage mit Schnee

#### A-1.4.3 Schneedeckendauer

Langzeituntersuchungen an der Schneedecke sind vor allem in Hinblick auf die Klimaänderungsdebatte von großer Bedeutung. Ein prägnanter Temperaturanstieg verändert unter anderem die Schneedeckendauer, was wiederum einen großen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Alpen hat. Im Gegensatz zur Winterdecke, die als längste durchgehende Schneedeckenperiode gewertet wird, wird die Zeitdifferenz zwischen dem ersten Tag mit Schneedecke und dem letzten Tag mit Schneedecke in dem jeweiligen Winterjahr als "simple" Schneedecke definiert. Ein Tag mit Schneedecke wurde dann gewertet, wenn die Gesamtschneehöhe von 1cm erreicht oder überschritten wurde, wobei Schneeflecken unberücksichtigt blieben. Aufgrund der Definition der Schneedecke hat diese keine hohe Aussagekräftigkeit wie die anderen Parameter. Jedoch zeigt eine Veränderung bei der Schneedecke eine Verlagerung bzw. Verkürzung eines Winters auf.

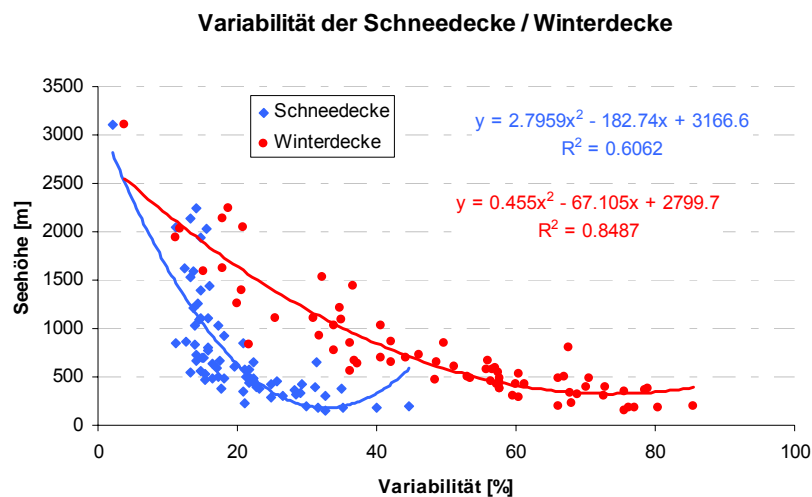
Mit einem R von 0.96 korreliert dieser Parameter gut und erklärt somit 94% der Varianz (vgl. Abb. A- 28).

#### A-1.4.4 Winterdeckendauer

Eine durchgehende Schneedecke mit mindestens 1cm Schneehöhe wird als Winterdecke bezeichnet (Quelle: Hydrologischer Atlas; Kapitel 4.2). Die Dauer der Winterdecke

ist eine aussagekräftige Kenngröße, die z.B. für Tourismusgebiete von großem Interesse ist. Nimmt die Anzahl der Winterdeckentage ab, muss zusätzlich künstlich beschneit werden, was wiederum mit Zusatzkosten verbunden ist.

Die größten Variabilitäten (Jahr zu Jahr-Schwankungen) der Winterdeckendauer weisen Flach- sowie Talstationen auf, die niedrigsten Werte wurden dagegen für schneesichere Gebiete kalkuliert. Bei der Winterdecke liegt die maximal berechnete Variabilität bei 85% und unterliegt somit weit höheren Schwankungen als die Schneedecke, siehe Abb. A- 5.



**Abb. A- 5:** Variabilität in Abhängigkeit der mittleren Dauer der Schnee- bzw. Winterdecke

Plottet man das Mittel der Winterdeckentage gegen die Seehöhe, siehe Abb. A- 27, liegen die Bestimmtheitsmaße mit  $R^2=0.91$  unter denen der anderen ausgewerteten Schneeparameter.

Messstellen, welche in einer Höhe von etwa 1000m Seehöhe situiert sind, weisen bei der mittleren Winterdeckendauer weit stärkere Variabilitäten als Stationen im Flachland auf. Zustande kommen diese infolge der Schneefallgrenze, welche im Winter zumeist in dieser Höhenstufe liegt. Nur wenige Höhenmeter entscheiden hierbei, ob es zu Niederschlag in flüssiger oder in fester Form kommt. Bei Schneefall verzeichnet man einen Zuwachs der Gesamtschneehöhe, wogegen Regen zu einer Ablation der Schneedecke führt. Somit unterscheiden sich Stationen in dieser Geländestufe markant in der mittleren Anzahl an Winterdeckentagen.

Die Anzahl der Tage mit Winterdecke liegt meist unter der der Schneedecke. Nur in den höchsten Regionen Österreichs, wo aufgrund von Temperatur- sowie Niederschlagsverhältnissen die Schneedeckenakkumulation gegenüber der Ablation überwiegt, ist die Anzahl der Winterdeckentage den Schneedeckentagen äquivalent. Bei dem hier verwendeten Datensatz tritt dies nur bei der Messstelle Sonnblick auf.

## A-2 Qualitätsprüfung und Korrektur des Datensatzes

Die Voraussetzung für korrekte statistische Berechnungen und Tests sind durchgehende und geprüfte Zeitreihen. Die Lücken der Zeitreihen konnten durch verschiedene Prüfverfahren detektiert sowie mit Zuhilfenahme von HD und/oder ZAMG-Daten geschlossen werden.

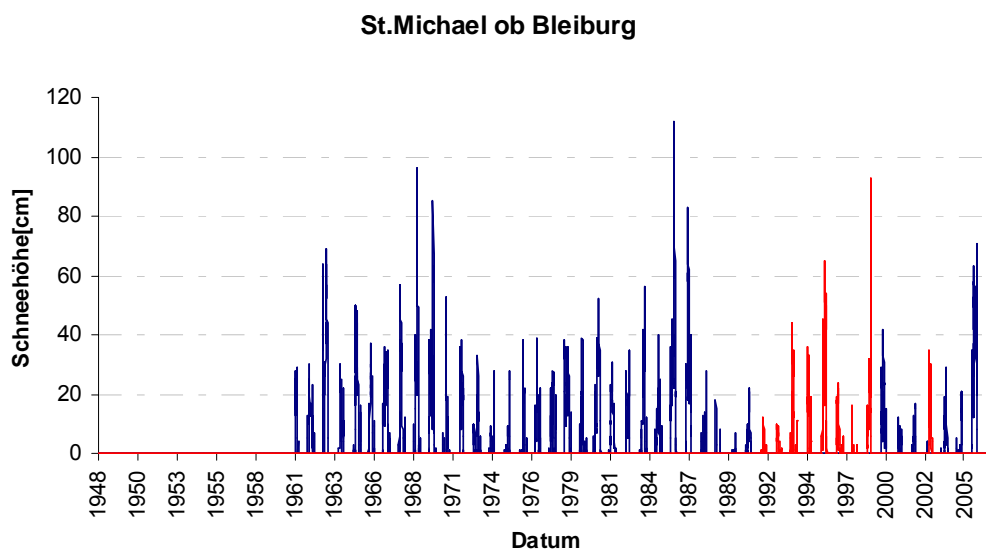
### A-2.1 Vervollständigung der Zeitreihen

Um Zeitreihen sinnvoll und korrekt vervollständigen zu können, wurden folgende Voraussetzungen eingeführt und berücksichtigt:

- gut korrelierte Nachbarstation ( $R \geq 0.7$ )
- in unmittelbarer Umgebung gelegen
- in selber Geländestufe (keine großen Höhendifferenzen)
- ähnlichen meteorologischen Anströmungen ausgesetzt (keine LUV-LEE, Berg-Tal Unterschiede)

Der Datensatz, welcher anfänglich nur 20 lückenlose Stationen beinhaltete konnte auf 34 Messstellen erweitert werden (im Zeitraum 1948-2007). Damit wurden 39 Stationsjahre vervollständigt. Schlussendlich sind 51 Stationen (hierbei sind auch diejenigen inkludiert, die einen späteren Beobachtungsbeginn oder/und früheres Beobachtungsende aufzeigen), was in etwa 72% des Datensatzes entspricht, durchgehend und weisen keinerlei Fehlwerte innerhalb der betrachteten Zeitperiode auf.

Beispiel: Die Messstelle St. Michael ob Bleiburg in Kärnten wird sowohl von der ZAMG als auch dem HD betrieben. Jedoch kam es bei dem Vergleich beider Datensätze zu einer Diskrepanz. In der Klimadatenbank der ZAMG wurde eine Lücke von 01. April 1991 bis 31. August 1999 und von 01. Jänner bis 31. Juli 2003 verzeichnet (vgl. Abb. A-6). Beim hydrographischen Dienst dahingegen waren alle Gesamtschneehöhenwerte lückenlos vorhanden und wurden somit 1:1 übernommen.



**Abb. A- 6:** *blau:* lückenhafte ZAMG-Reihe, *rot:* Daten des HD's, die zur Vervollständigung übernommen wurden.



Beispielsweise eignete sich die ZAMG Station Unterretzbach zum Vervollständigen der StartClim Station Retz. Bei einer Distanz von 5km, einem Korrelationskoeffizienten von 0.84 und einem Höhenunterschied von rund 70m konnte die Lücke der Zeitserie Retz (01. - 30.11.2001) mit den Daten der Station Unterretzbach geschlossen werden. Datenvervollständigungen dieser Art wurden in den Metadaten verzeichnet, da beim Homogenisieren gerne auf solche Informationen zurückgegriffen wird.

### A-2.2 Prüfungen mittels Parameter Pseudoneuschneehöhe

Um die Zeitreihen auf etwaige Inhomogenitäten bzw. Fehler zu testen, wurde der so genannte Pseudoneuschnee eingeführt. Man berechnete diesen, indem man die Differenz der Gesamtschneehöhe Tag-Vortag bildete. Bei Berechnungen der Neuschneesummen aus den gemessenen Gesamtschneehöhen weichen diese aufgrund verschiedener Faktoren, wie der Setzung der Schneedecke oder Schneeschmelze, von den tatsächlich gemessenen Neuschneesummen mehr oder weniger stark ab. Um Missverständnissen vorzubeugen wurde daher die Vorsilbe Pseudo eingeführt.

Zu negativen Pseudoneuschneewerten kommt es bei einer Verringerung der Gesamtschneedecke, welche durch die oben erwähnten Faktoren zustande kommt. Grobe Fehler, wie über 1m Schneeschmelze an einem Tag, konnten mit Hilfe der Berechnung von täglichen Neuschneesummen erkannt und korrigiert werden. Bei Stationen unter 700m Seehöhe wurde als Grenzwert 30cm (-30cm) gewählt, oberhalb 700m wurde der Grenzwert auf 50cm (-50cm) angehoben. Bei Überschreitung dieser Schwellenwerte überprüfte man den Ausreißer mit Hilfe der Werte von Nachbarstationen.

Mittels dieser Pseudoneuschneekorrektur konnten viele frühzeitige Beobachtungseinstellungen aufgedeckt und vervollständigt werden. In höheren Lagen wurden letzte Schneefälle oftmals sehr unpräzise oder gar nicht verzeichnet. Die Messungen der Gesamtschneehöhen wurden teilweise verfrüht abgebrochen. Dadurch wurde die Anzahl der Tage mit/ohne Schnee innerhalb eines Jahres verfälscht.

#### A-2.2.1 Ergebnisse

Abb. A- 7 visualisiert die vollständige Zeitreihe der Pseudoneuschneehöhe der Messstelle St. Michael ob Bleiburg. St Michael ist in 500m Seehöhe situiert und wurde auf Ausreißer über  $\pm 30$ cm geprüft. Aufgrund der sehr sporadischen Messungen kommt es im Jahr 2002 zu einer starken Variabilität des theoretisch eingeführten Parameters. Der Beobachter verzeichnete im Februar des Jahres 2002 die Gesamtschneehöhe nur an den Tagen wo sich diese änderte, die restlichen Zeilen wurden mit Nullwerten aufgefüllt.

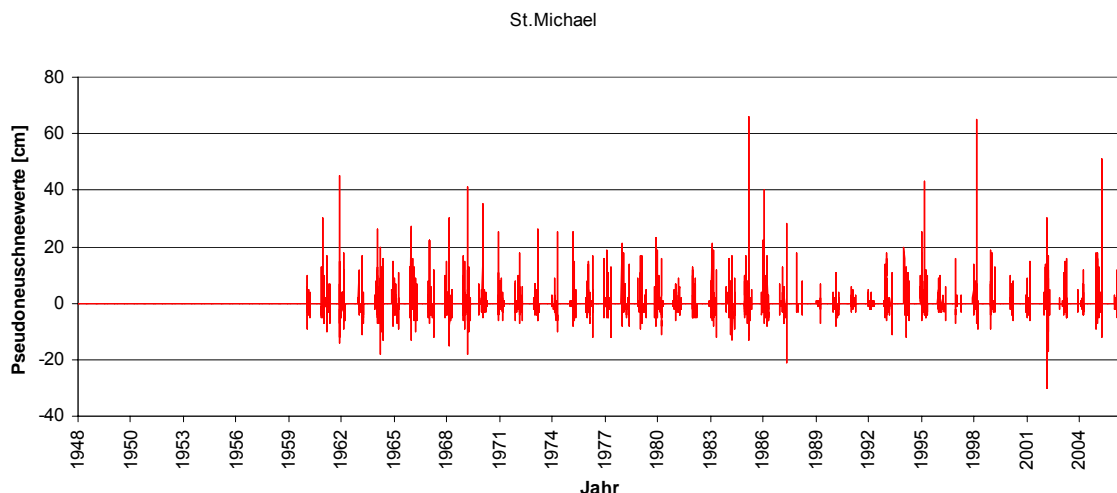
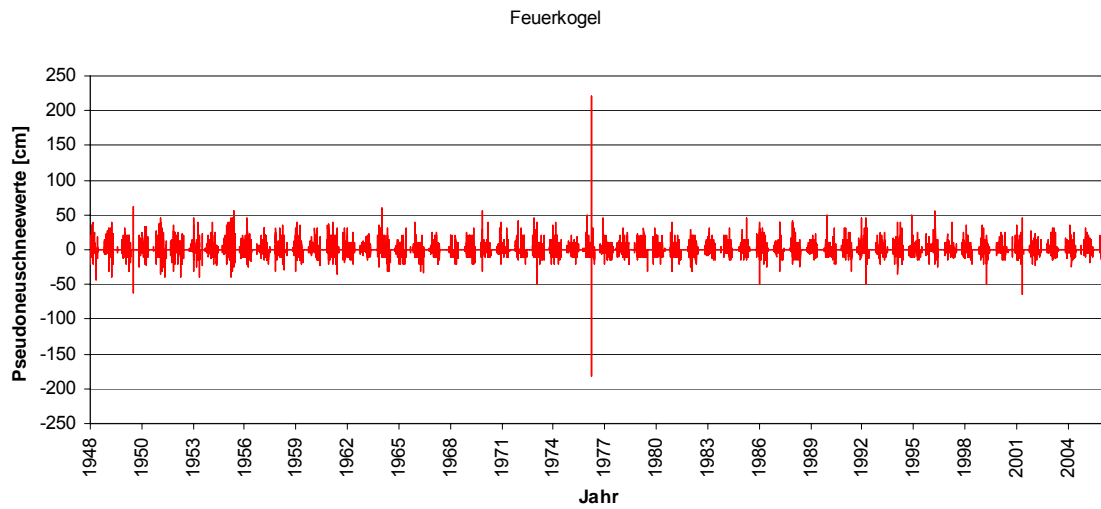


Abb. A- 7: Pseudoneuschneereihe der Messstelle St.Michael ob Bleiburg

Eine weitere häufige Fehlerquelle sind Fehler bei der Digitalisierung selber. Eingabe bzw. Ablesefehler führen zu Ausreißern, wie beispielsweise an der Bergstation Feuerkogel (auf Ausreißer über  $\pm 50\text{cm}$  geprüft; in Abb. A- 8 illustriert).



**Abb. A- 8:** Pseudoneusneereweite der Bergstation Feuerkogel

### A-3 Homogenitätsaussagen des bearbeiteten Datensatzes der täglichen Gesamtschneehöhe

Durch einen Homogenisierungstest auf Basis von dem Schneeparameter Anzahl der Tage mit Schnee können Outlier (Ausreißer) detektiert, nicht oder schlecht dokumentierte Stationsverlegungen aufgezeigt und nichtklimatologische Trends beseitigt werden.

Hierbei unterscheidet man zwischen sprunghaften bzw. tendenziellen Änderungen innerhalb der Zeitreihe. Die Verlegung einer Messstelle in Kammniveau kann zu stärkeren Windverfrachtungen der Schneedecke führen und spricht für eine sprunghafte Änderung in der Zeitreihe. Dahingegen führt Baumwuchs in der Umgebung der Station zu einer geringeren Schneeanwehung und erzeugt damit einen Trend in der Zeitreihe (tendenzielle Änderung).

Um Trendanalysen der Gesamtschneehöhe durchführen zu können, müssen die verwendeten Reihen durchgehend und homogen sein. Ersteres Problem wurde im vorherigen Kapitel betrachtet und stationsweise gelöst. In Bezug auf Aussagen auf Homogenität gibt es zwei Arten von Testverfahren, die herangezogen werden können:

1. Absolute Testverfahren
2. Relative Testverfahren

Die absoluten Testverfahren, wie u.a. der *Mann-Whitney-Petit* oder *Alexandesson Test* für eine Stichprobe, prüfen auf Basis einer Zeitreihe. Viele dieser Testverfahren interpretieren existente Extremwerte als Sprünge der Zeitserie (vorhandene Klimasignale werden dadurch zu Sprüngen missinterpretiert) und können somit als ungenau eingestuft werden. Der Vorteil gegenüber den relativen Tests besteht darin, dass keine homogene Referenzreihe notwendig ist.

Im Zuge dieses Projektes fiel die Wahl auf einen relativen Homogenitätstest, welcher an der ZAMG bereits bei mehreren Elementen auf Basis von Monatswerten angewendet wurde. Der Craddock - Test summiert die normierten Differenzen zweier Zeitreihen und vergleicht somit diese untereinander.

$$s_i = s_{i-1} + a_i \frac{b_m}{a_m} - b_i$$

s sind die Craddock Koeffizienten, die dann im Excel abgebildet werden, a die homogene Referenzserie, b die zu testende Zeitreihe und  $a_m$  bzw.  $b_m$  der Zeitreihenmittelwert über die gesamte Periode.

Dabei wurden immer Gebietsweise mehrere Stationen miteinander verglichen (HOCLIS-Verfahren). Die Regionalisierung erfolgte aufgrund einer Residuenanalyse der Höhenabhängigkeit der Schneedeckenparameter nach Schöner/Mohnl (vgl. Abb. A- 9).



Abb. A- 9: Regionalisierung nach Schöner/Mohnl

### A-3.1 Ergebnisse des HOCLIS-Tests

Die Craddock-Kurven der Vergleichsstationen der Messstelle Hörsching (HOE) in Oberösterreich zeigen Sprünge innerhalb der Zeitperiode auf. Der erste Sprung im Jahr 1970 und der zweite Sprung im Jahr 1987 sind in Abb. A- 10 deutlich erkennbar. Diese Unstetigkeiten stammen aber weder von einer Stationsverlegung (die Metadaten verzeichneten 1983 und 2005 eine Verlegung der Messstelle auf die andere Seite des Flugfeldes) noch von einem Instrumentenwechsel (bereits im ersten Kapitel erläutert). Mögliche Erklärungen könnten nicht verzeichnete Beobachterwechsel oder Änderung in der Wahl des Messortes sein. Weiters gut erkennbar ist der Ausreißer 1995.

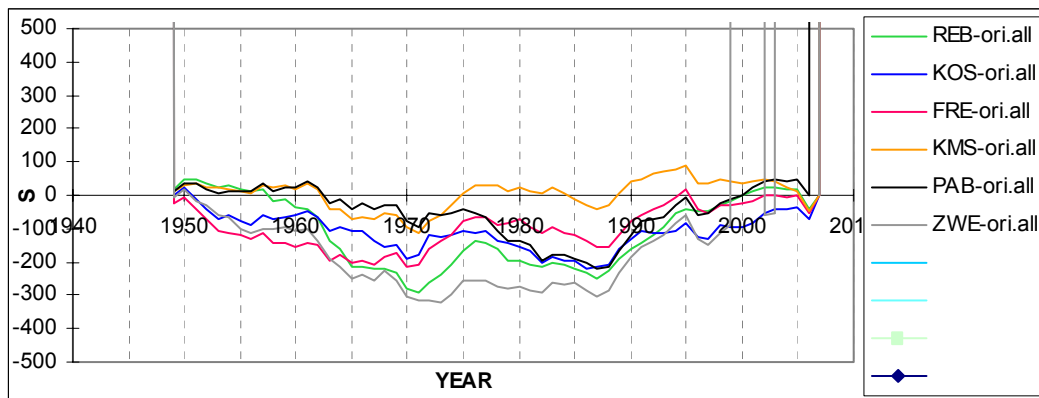
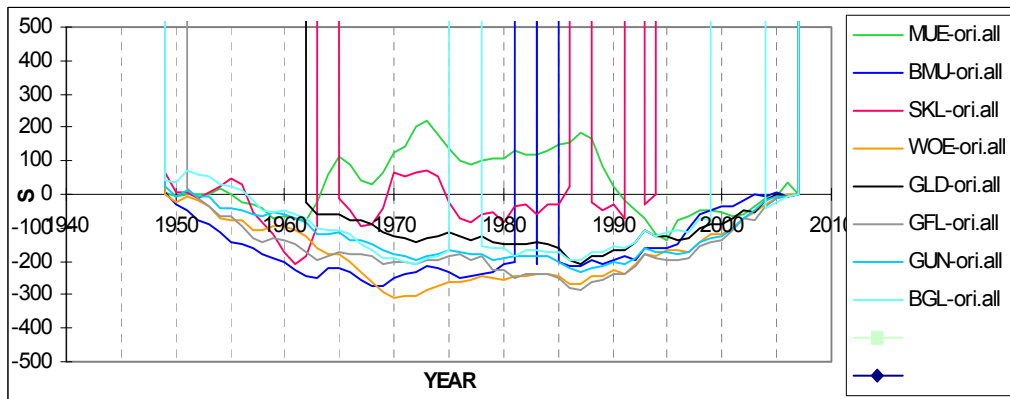


Abb. A- 10: Craddock Kurven der Station Hörsching (HOE), verglichen mit den Referenzstationen in Region 8: Reichersberg (REB), Kollerschlag (KOL), Freistadt (FRE), Kremsmünster (KMS), Pabneukirchen (PAB) und Stift Zwettl (ZWE).

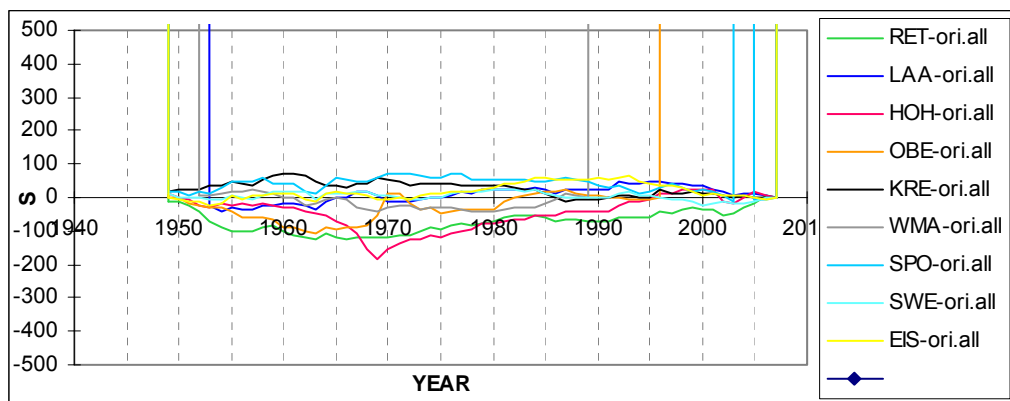
Die Station Reichenau an der Rax (Region 7) wurde mit den Messstellen Mürtzzuschlag (MUE), Bruck an der Mur (BMU), Schöckl (SKL), Wörterberg (WOE), Gleisdorf (GLD), Graz Flughafen (GFL), Graz Universität (GUN) und Bad Gleichenberg (BGL) getestet. Dabei zeigt die Zeitreihe eine tendenzielle Änderung auf, welche durch nahezu alle Umgebungsstationen belegt werden kann (vgl. Abb. A- 11). Laut Stationsgeschichte wurde die Messstelle 1968 verlegt und 1983 auf teilautomatisch umgestellt (was jedoch keine Änderung in der Messmethode verursacht hat). MUE und BMU mussten aufgrund der

Heterogenität zu der Station Reichenau an der Rax einer anderen Region zugeteilt werden.



**Abb. A- 11:** Craddock Ergebnisse der Station Reichenau an der Rax (RRX)

Ein Beispiel für eine homogene Station stellt die Vorzeigestation Wien-Hohe Warte dar. Seit Beginn der Schneehöhenmessungen verzeichnete diese Messstelle keine Stationsverlegungen. Wegen der sehr gewissenhaften und präzisen Messungen der Gesamtschneehöhe kommt es zu keinen Inhomogenitäten (siehe Abb. A- 12). Mittels dieser homogenen Zeitreihe können Sprünge anderer Stationen (1969 in Hohenau) detektiert werden.



**Abb. A- 12:** homogene Referenzreihe Wien-Hohe Warte (WIE), getestet mit Retz (RET),Laa an der Thaya (LAA), Hohenau(HOH), Oberleis (OBE), Krems (KRE), Wien-Mariabrunn (WMA), St.Pölten (SPO), Schwechat (SWE) und Eisenstadt (EIS).

Letztendlich konnten 20 Stationen des Gesamtschneehöhendatensatz als homogen und durchgehend eingestuft (vgl. Auflistung in Tab. A-2) und auf deren Basis Trendanalysen durchgeführt werden.

## A-4 Trendanalyse der charakteristischen Schneeparameter

### A-4.1 Überprüfung der Signifikanz eines Trends mittels Mann-Kendall Test

Trendanalysen sollten nur bei langjährigen, vollständigen, qualitätsgeprüften und homogenen Zeitreihen durchgeführt werden.

*Unter der Trendanalyse von Zeitreihen versteht man nichts anderes als eine Korrelation der betreffenden Daten  $a_i$  mit der Zeit  $t$  (Schönwiese, 2005)*

Durch einfache Streudiagramme kann man leicht Trends feststellen. Mit speziellen Tests können eventuelle Signifikanzen des Trends einer Zeitreihe ermittelt werden. Der parameterfreie Test nach Mann-Kendall erwies sich hier als bestes Verfahren zur Überprüfung von signifikanten Trendergebnissen.

Die Prüfgröße  $Q$  wird hierbei mittels Gleichung:

$$Q = \frac{S}{\sqrt{\frac{1}{18}[(N-1)(2N+5) - \sum b_l(b_l-1)(2b_l+5)]}}$$

berechnet.  $N$  ist dabei der Stichprobenumfang,  $S$  ist gegeben durch:

$$\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(a_j - a_i)$$

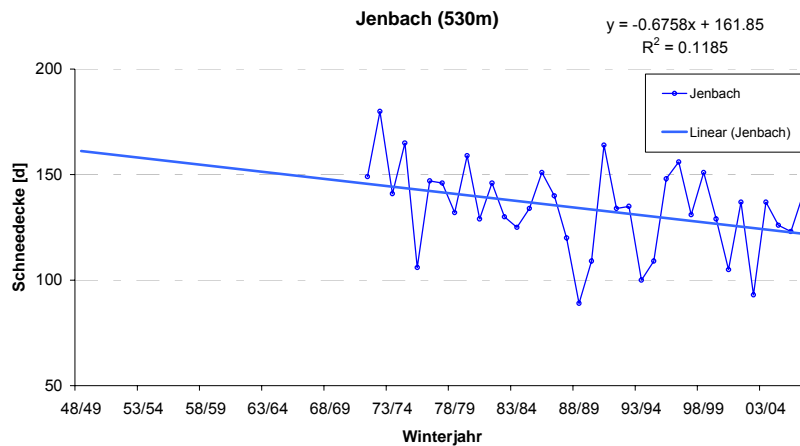
$\text{sgn}$  steht für das Vorzeichen und ist:

$$\text{sgn}(a) = \begin{cases} 1, & a > 0 \\ 0, & a = 0 \\ -1, & a < 0 \end{cases}$$

$b_l$  ist die Anzahl der identischen Zeitreihendaten  $a_i$

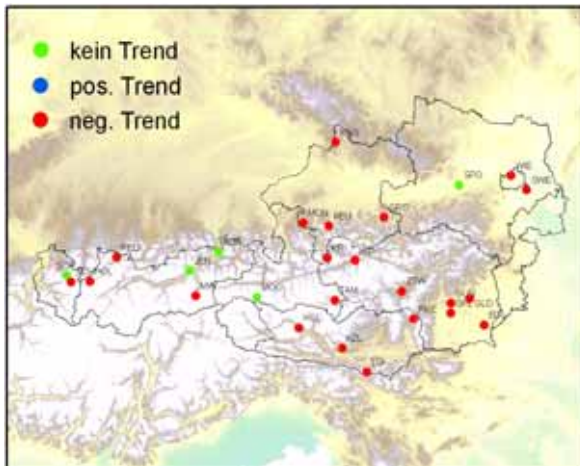
### A-4. 2 Signifikante Testentscheide

Alle Schneedeckenparameter wurden auf signifikante Testentscheide getestet. Dabei liefert der wenig aussagekräftige Parameter Schneedecke nur ein signifikanten negativen Trend an der Station Jenbach, was für ein späteres Einsetzen der ersten Schneefälle bzw. zeitigeres Ende der Schneedecke in den letzten Jahren spricht (Abb. A- 13).

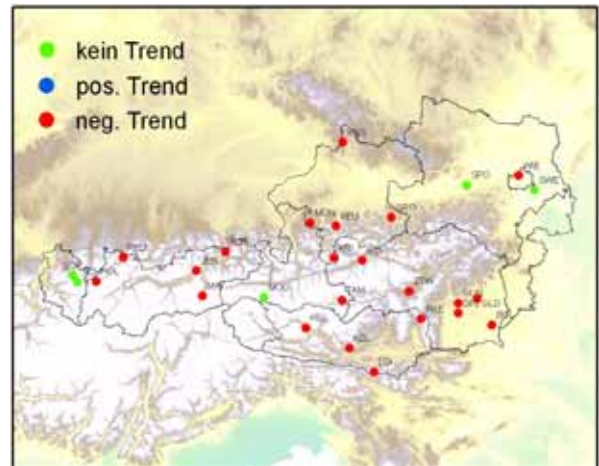


**Abb. A- 13:** signifikanter negativer Trend der Station Jenbach in Tirol

Infolge der hohen Variabilitäten der maximalen Schneehöhe weisen nur die Stationen Kolbnitz, Kanzelhöhe und Mayrhofen signifikante Abnahmen auf. Bei dem Parameter Winterdecke bzw. Anzahl der Tage mit Schneedecke kommt es südlich des Alpenhauptkammes sowohl an Berg wie auch an Talstationen zu einem signifikanten Rückgang. Im Norden verzeichnen nur wenige über 700m situierte Stationen abnehmende Tendenzen (Kollerschlag, Reutte und Feuerkogel), vgl. Abb. A- 14.und Abb. A- 15. Dagegen verzeichneten die homogenen Zeitreihen keine Zunahme der Winterdecke bzw. Anzahl der Schneedeckentage.



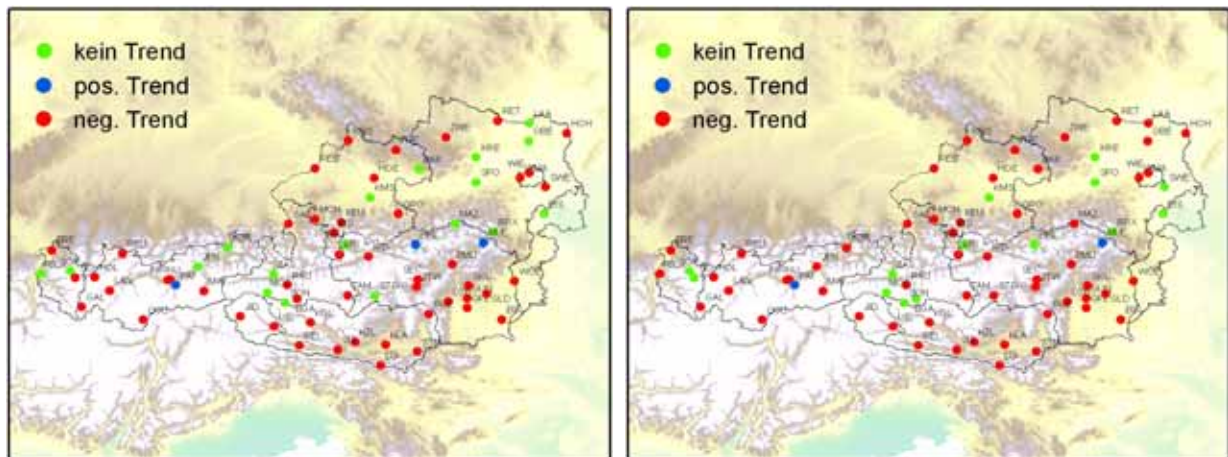
**Abb. A- 14:** signifikante Testentscheide der Winterdecke



**Abb. A- 15:** signifikante Testentscheide der Anzahl an Schneedeckentagen

Um sich eine generelle Übersicht des gesamten Datensatzes zu verschaffen, wurde die Trendanalyse auf alle Messstellen ausgeweitet. Die dabei gelieferten positiven Trendergebnisse treten nur an inhomogenen Stationen, wie Mürrzusschlag und Patscherkofel, auf (vgl. Abb. A- 16 und Abb. A- 17).





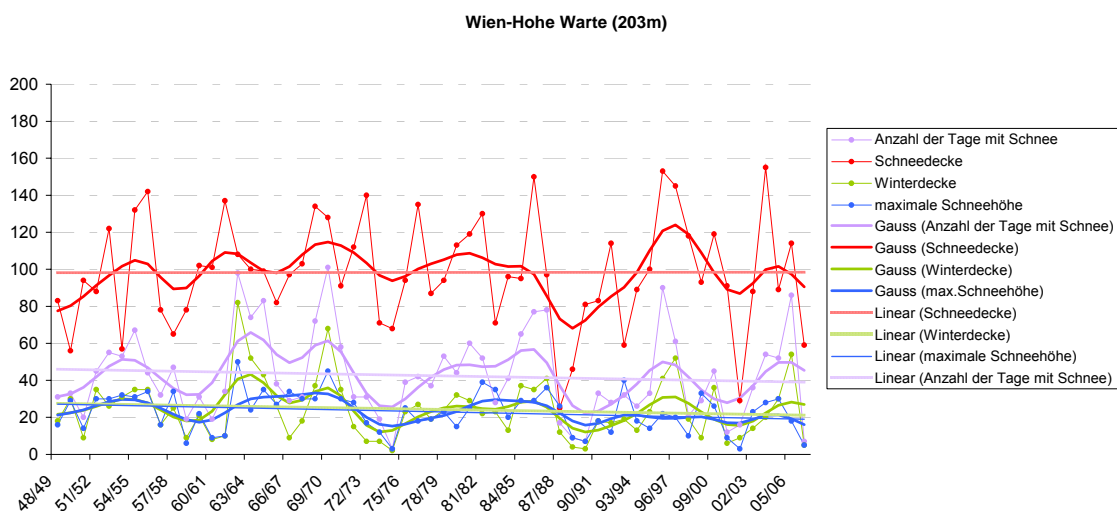
**Abb. A- 16:** Trendergebnisse aller Messstellen (Parameter Winterdecke)

**Abb. A- 17:** Trendergebnisse aller Messstellen (Parameter Anzahl der Tage mit Schnee)

### A-4. 3 Nord vs. Süd

Das Massiv der Alpen, rund 65% des Staatsgebietes entfallen in diese Region, dominiert die Landschaft Österreichs. Von großer Bedeutung sind die Alpen als ausgeprägte Klimascheide zwischen den gemäßigten Zonen und dem subtropischen Mittelmeergebiet. Südlich der Alpen finden sich andere Niederschlagsverhältnisse wieder als nördlich davon. Die Analyse der langen HISTALP-Niederschlagsreihen zeigte keine Trends nördlich aber negative Trends südlich des Alpenhauptkammes (Auer et al., 2007). Die Temperatur dagegen zeigte in Österreich, so wie in vielen Gebieten der Erde, eine Zunahme in den letzten Jahrzehnten. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Trendergebnisse des Niederschlages auf die Gesamtschneehöhe zeigt Abb. A- 18 bzw. A- 19.

Dabei wurden zwei homogene Stationen (Nord vs. Süd) einander gegenübergestellt.



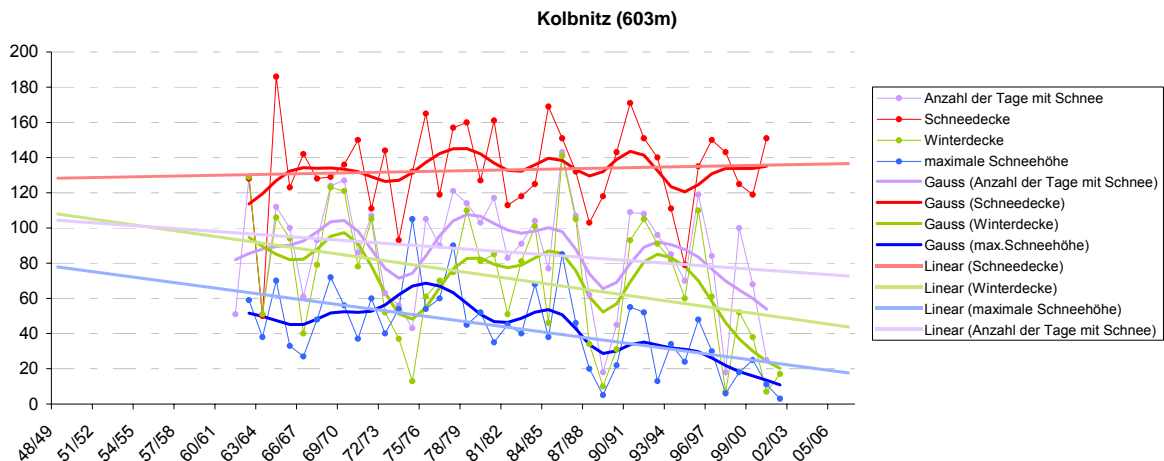
**Abb. A- 18:** Trendanalyse der Station Wien-Hohe Warte (nördlich des Alpenhauptkammes)

Bei der Messstelle Wien-Hohe Warte kommt es zu keinen signifikanten Trendergebnissen aller 4 Parameter, dagegen zeigt die südliche Station Kolbnitz in Kärnten eine Abnahme der Winterdecke, Anzahl an Schneedeckentagen und max. Schneehöhe. Nur bei der Schneedecke, welche wie bereits öfters besprochen, nur ein Indikator für eine Verlegung und Verkürzung des Winters ist, wird eine nicht signifikante Zunahme verzeichnet. Die Kurven wurden mittels Gauss-10 Jahres Tiefpassfilter geglättet. Gut erkennbar



sind auch die höheren Variabilitäten der maximalen Schneehöhe gegenüber der Winterdecke oder der Anzahl der Schneedeckentage.

Aufgrund der Höhenlage weist die Zeitreihe Wien Hohe Warte niedrigere Werte der ausgewerteten Parameter, als die auf 603m situierte Station Kolbnitz, auf.



**Abb. A- 19:** Trendanalyse der Station Kolbnitz (südlich des Alpenhauptkammes)

#### A-4. 4 Aussagen in Hinsicht auf Qualität

Eine Einteilung der Stationen in Hinblick auf ihre Nützlichkeit in der Klima- und Klimafolgenforschung wurde auf Grundlage von einer Qualitätseinstufung getätigt. Dabei wurden die StartClim Stationen nach ausgesuchten Kriterien, die nachfolgend aufgelistet werden, in 3 Qualitätsklassen unterteilt.

- Vollständigkeit der Zeitreihe
- % Anzahl der korrigierten Daten
- Homogenität

Stationen die eine vollständige, homogene und nahezu fehlerfreie (keine bis wenige Korrekturen erforderlich) Zeitreihe aufweisen konnten wurden als Klasse 1 eingestuft (siehe Tab. A- 1). Traf nur ein Kriterium auf die Messstelle zu wurde diese der Klasse 3 eingeteilt. Dabei wurden 10 Stationen (rund 14%) der Klasse 1, 50% der Klasse 2 bzw. 36% der Klasse 3 zugeteilt. Die schlussendliche Einteilung sei aus Abbildung A- 20 zu entnehmen. Aufgrund der guten Stationsqualität (präziseren Aufzeichnungen) und einer durchgeführten Qualitätsprüfung des HD Regionalstelle Tirol kommt es dort zu einer Anhäufung der Klasse 1 und Klasse 2 Stationen.



**Tab. A- 1:** Klasseneinteilung nach folgenden Kriterien: (a):Unvollständigkeit der Zeitreihe  
(b) gap close, (c) pseudoneuschneeprüfung auffällig, manuelle korrektur (d): Inhomogenität;  
1..trifft zu, 0.. trifft nicht zu

Messstelle	kurz	a	b	c	d	Klasse	Anmerkung
Bad Aussee	BAU	0	1	0	1	2	
Bad Gleichenberg	BGA	1	0	0	0	3	
Bad Ischl	BGL	1	0	0	1	2	
Badgastein	BIS	0	1	0	1	2	gap-close Böckstein
Bregenz	BRE	0	0	1	1	2	
Bruck a. d. M.	BMU	1	0	1	1	3	
Eisenstadt	EIS	0	1	0	1	2	gap-close HD Margarethen
Feldkirch	FEL	0	0	0	1	2	
Feuerkogel	FEU	0	0	1	0	3	Bergstation
Freistadt	FRE	0	1	0	1	2	
Galtür	GAL	1	0	1	1	2	keine Referenzstation
Gleisdorf	GLD	0	0	0	0	1	
Graz F	GFL	0	0	0	0	1	
Graz U	GUN	0	1	1	0	3	gap-close Graz F
Großraming	GRO	0	0	1	0	3	
Hieflau	HFL	0	0	0	1	2	
Hohenau a. d. M.	HOE	0	0	0	1	2	
Holzgau	HOH	0	1	1	0	2	
Hörsching	HOL	0	0	1	1	3	
Innsbruck F	INF	0	0	0	1	2	
Innsbruck U	INU	0	0	0	1	2	
Irdning-Gumpenstein	IRD	0	0	0	0	1	
Jenbach	JEN	0	0	0	0	2	kurze Zeitreihe
Kanzelhöhe	KZL	1	0	1	0	3	Bergstation, keine Referenzstation
Klagenfurt	KLA	0	0	0	1	2	
Kolbnitz	KOL	1	1	0	0	3	gap-close ZAMG Litzlhof
Kollerschlag	KOS	0	1	0	0	2	
Krems	KRE	0	1	1	1	3	gap-close mit HD-Krems
Kremsmünster	KMS	0	0	1	1	3	
Krippenstein	KRI	1	0	1	0	3	Unpräzise Aufzeichnungen
Kufstein	KUF	0	0	0	0	1	
Laa a. d. T.	LAA	0	0	0	1	2	
Landeck	LAN	0	0	1	1	2	
Lienz	LIE	0	1	0	1	2	
Lobming	LOB	0	0	0	1	2	
Loibl-Tunnel	LOI	0	0	1	0	2	
Mariazell/St. Seb.	MAZ	1	1	0	1	2	keine Referenzstation
Mayrhofen	MAY	0	0	0	0	1	
Mondsee	MON	1	0	0	0	3	keine Vergleichstation in näherer Umgebung
Mooserboden	MOO	1	0	1	0	3	sporadische Messungen
Mürzzugschlag	MUE	0	0	0	1	2	
Obergurgl	OGU	1	0	1	1	3	
Oberleis	OBE	0	0	0	1	2	
Pabneukirchen	PAB	0	0	0	1	2	
Patscherkofel	PAT	0	1	1	1	2	
Preitenegg	PRE	0	0	0	0	1	
Rauris	RAU	1	0	1	1	3	
Reichenau/Rax	RRX	0	0	0	1	2	
Reichersberg	REB	0	1	1	1	2	
Reisach	REI	0	0	0	1	2	
Retz	RET	0	1	0	1	2	gap-close ZAMG Unterretzbach
Reutte	REU	0	0	0	0	1	
Salzburg F	SAL	0	0	0	1	2	
Schöckl	SKL	1	0	0	1	3	Bergstation-viele Lücken
Schoppemau	SOP	0	0	1	0	3	viele Outlier, schlechte Qualität
Schröcken	SCH	0	1	1	0	2	
Schwechat	SWE	0	0	0	0	1	
Seckau	SEC	1	0	0	1	3	viele Lücken
Sonnblick	SON	0	0	0	1	3	Bergstation, Rücksetzung jeden 1.10.
St. Jakob i. D.	JID	1	0	0	1	2	
St. Michael o. B.	STM	0	1	1	1	2	gap-close HD St. Michael, sporadische Aufzeichnungen
St. Pölten	SPO	1	0	0	0	3	zusammengestückelte Station
Stift Zwettl	ZWE	1	0	0	1	3	
Stolzalpe	STO	1	0	0	1	3	viele Lücken
Tamsweg	TAM	1	0	1	0	3	mehrere Lücken, keine Referenzstation
Villacher Alpe	VIA	0	0	1	1	3	
Wien - Hohe Warte	WIE	0	0	0	0	1	
Wien - Mariabrunn	WMA	1	0	0	1	3	
Wörterberg	WOE	0	1	0	1	2	gap-close HD Oberdorf
Zell am See	ZAS	0	1	0	1	2	gap-close HD Zell am See
Zeltweg	ZTW	0	0	0	0	1	

## A-5 Extremwertanalyse

Die Auswertung und Analyse von Extremwerten bzw. Extremjahren ist ein wichtiger Bestandteil der heutigen Klimatologie. Extreme Ereignisse und prägnante Abweichungen von "durchschnittlichen" Wintern (wie der „*Extremwinter*“ 2006/07) sorgen für mediales Interesse und prägen sich somit im menschlichen Gedächtnis stärker ein. Der somit entstandene Eindruck, die Anzahl der Extremjahre nehme zu, soll mit Hilfe wissenschaftlicher Auswertungen, in Form von Extremwertanalysen quantifiziert werden.

Befindet sich die Anzahl der Tage ohne Schneedecke außerhalb des  $Q_{10\%}$ - $Q_{90\%}$  Quantil Bereiches kann von einem außerordentlichen Winter gesprochen werden. Dabei wurde stets das Mittel aller Messstellen des entsprechenden Winterjahres berechnet. Mit nur 54 Tagen Schneedecke zeigt der letzte Winter die größte negative Abweichung vom durchschnittlichen Mittel ( $\mu$ ). Relativ betrachtet sind die schneeärmsten Winter in der jüngsten Vergangenheit vorzufinden, die schneereichen dagegen in den 60-er Jahren (vgl. Tab. A- 2). Die Winter 1988/89 und 1989/90 zeigten sich insbesondere im Süden als sehr mild und niederschlagsarm. An der Messstelle Gleisdorf wurde 1989/90 kein einziger Schneedeckentag registriert.

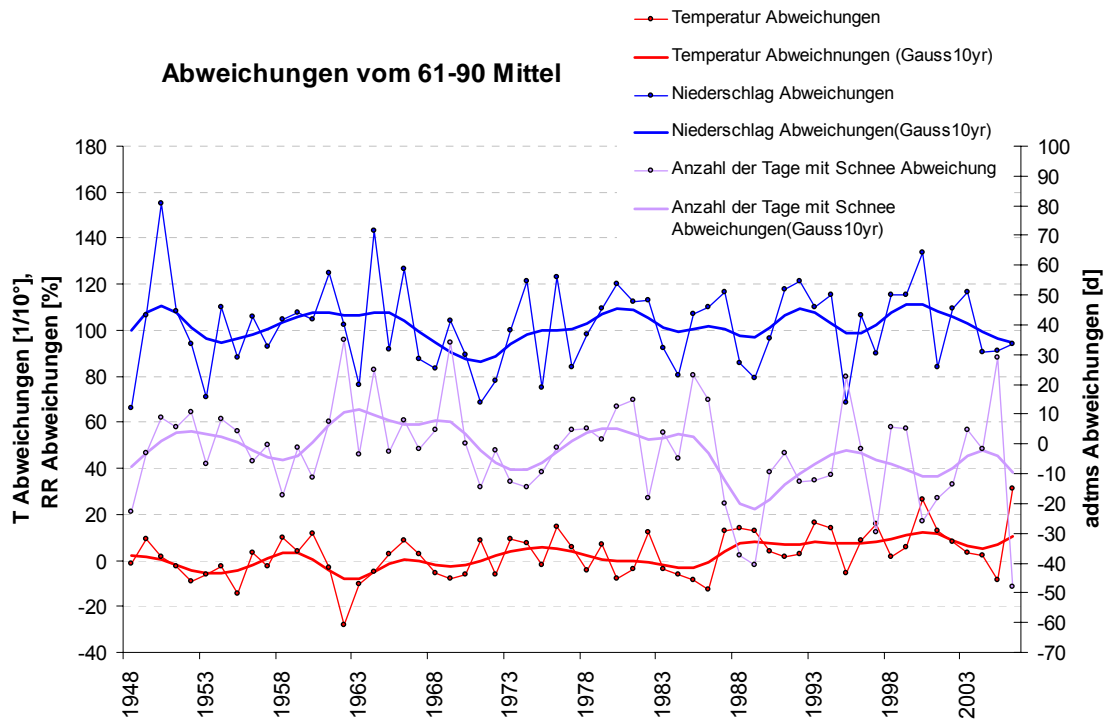
**Tab. A- 2:** Auswertungsergebnisse der Extremanalyse

$\mu=102d$	<i>schneearme Winter</i>	<i>schneereiche Winter</i>
1	2006/07 (54d)	1962/63 (138d)
2	1989/90 (61d)	1969/70 (137d)
3	1988/89 (65d)	2005/06 (131d)
4	1997/98 (72d)	1964/65 (127d)
5	2000/01 (76d)	1985/86 (125d)

In Abb. A- 21 ist die Temperatur- (rote Kurve) sowie prozentuelle Niederschlags-Abweichung (blaue Kurve) vom 61-90er Mittel der HISTALP Stationen im Zeitraum 1948 bis 2007 abgebildet. Die beiden Kurven wurden dem StartClim - Datensatz der mittleren Anzahl an Schneedeckentagen (auch die Abweichung des 61-90er Mittels) des jeweiligen Winterhalbjahres gegenübergestellt.

Mit einer positiven Abweichung von  $+3.1^{\circ}\text{C}$  und 94% des durchschnittlichen Winterhalbjahresniederschlags erwies sich der letzte Winter 2006/07 als überdurchschnittlich warm, was insofern auch Auswirkungen auf die Gesamtschneehöhe und Anzahl der Schneedeckentage hatte (ein Minus von 48 Tagen mit Schneedecke im Vergleich zum 61-90er Mittel, welches 101 Schneedeckentage aufweist). Nur ein Jahr zuvor findet sich das andere Extrem wieder: Mit kalten Durchschnittstemperaturen ( $-0.9^{\circ}\text{C}$ ) und 91% des mittleren Niederschlagssumme in einem Winterhalbjahr verzeichneten die Stationen im Mittel eine positive Abweichung von +29 Schneedeckentagen.

Somit lässt sich sagen, dass die Temperatur größere Auswirkungen auf die Dauer der Schneebedeckung hat als die Niederschlagsmenge. Hohe Temperaturen gekoppelt mit Niederschlag verursachen ein Schmelzen der falls schon vorhandenen Schneedecke und senken somit die Anzahl an Schneedeckentagen. Doch auch ein kalter Winter (wie 1953 mit einer Temperaturabweichung von  $-0.6^{\circ}\text{C}$ ) mit sehr wenig Niederschlag (71%) führt zu geringeren Neuschneemengen und lässt die Anzahl an Schneedeckentagen abnehmen (-7 Tage).



**Abb. A- 21:** Abweichungen der Temperatur- Niederschlags- sowie Anzahl der Schneedeckentage Mittel eines Winterhalbjahres vom 61-90er Mittel

## A-6 Modellierter Datensatz der Gesamtschneehöhe

Modellierte Werte werden gerne als Prüfwerte herangezogen und dienen zur Qualitätskontrolle von beobachteten „wahren“ Werten. Der klare Vorteil der modellierten Datensätze besteht darin, dass keine Beobachtungs- bzw. Messfehler stattfinden. Natürlich erfassen die modellierten Werte nicht alle Faktoren; wie Setzung der Schneedecke, Windverfrachtung, etc... und sind somit bestenfalls nur zum Zwecke einer Überprüfung bestehender Datensätze zu verwenden.

### A-6.1 Methodik

Die Interpolation der täglichen Temperaturmittel (T) sowie Niederschlagssummen (RR) erfolgte mit Hilfe von Multiplen linearen Regressionen, wobei die unabhängigen Variablen die Empirischen Orthogonal Funktionen, die Stationshöhe, -breite und -länge darstellten. Der modellierte Wert setzt sich aus einem Wert auf der Regressionsgerade (fitted value) und einem Residuum zusammen.

In ARC-GIS 9.0 wurde das Residuum mit der SPLINE Funktion (Prinzip: Minimalisierung der Krümmung einer Kurve) interpoliert und zu dem fitted value aufsummiert. Aus dieser Interpolation entstanden tägliche Temperatur- sowie Niederschlagsgrids auf deren Basis die Berechnung täglicher Schneehöhen erfolgte. Durch die Berechnung von täglicher Schneeakkumulation bzw. Schneeschmelze schließt das Schneemodell auf die Gesamtschneehöhe. Dabei wird für die Schneeschmelze ein einfache Gradtag Näherung angenommen (*Gurtz und Zappa, 2005; Scheppeler, 2000*). Die allgemeine Struktur des Schneemodells ist in Abb. A- 22 dargestellt.

Das Modell unterscheidet hierbei zwischen 4 Fällen:

1.  $T < 0^{\circ}\text{C}$  und  $\text{RR} = 0\text{mm}$ ; keine Schneeakkumulation, Änderung der Schneetemperatur
2.  $T > 0^{\circ}\text{C}$  und  $\text{RR} = 0\text{mm}$ ; Falls die Schneetemperatur  $0^{\circ}\text{C}$  beträgt kommt es zur Schneeschmelze ansonsten nimmt die Schneetemperatur solange zu bis sie  $0^{\circ}\text{C}$  erreicht hat und führt dann zu einem Phasenwechsel.
3.  $T < 0^{\circ}\text{C}$  und  $\text{RR} > 0\text{mm}$ ; Zunahme des Schneewasseräquivalentes, Schneeakkumulation erfolgt
4.  $T > 0^{\circ}\text{C}$  und  $\text{RR} > 0\text{mm}$ ; Abnahme des Schneewasseräquivalentes, die Gesamtschneehöhe nimmt ab, Schnee wird durch flüssigen Niederschlag geschmolzen.

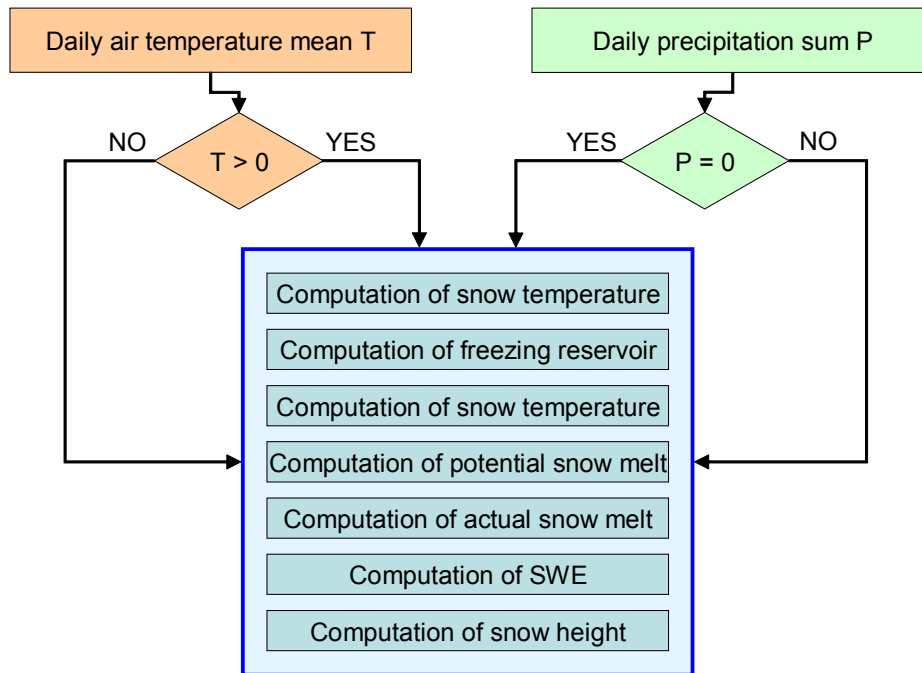
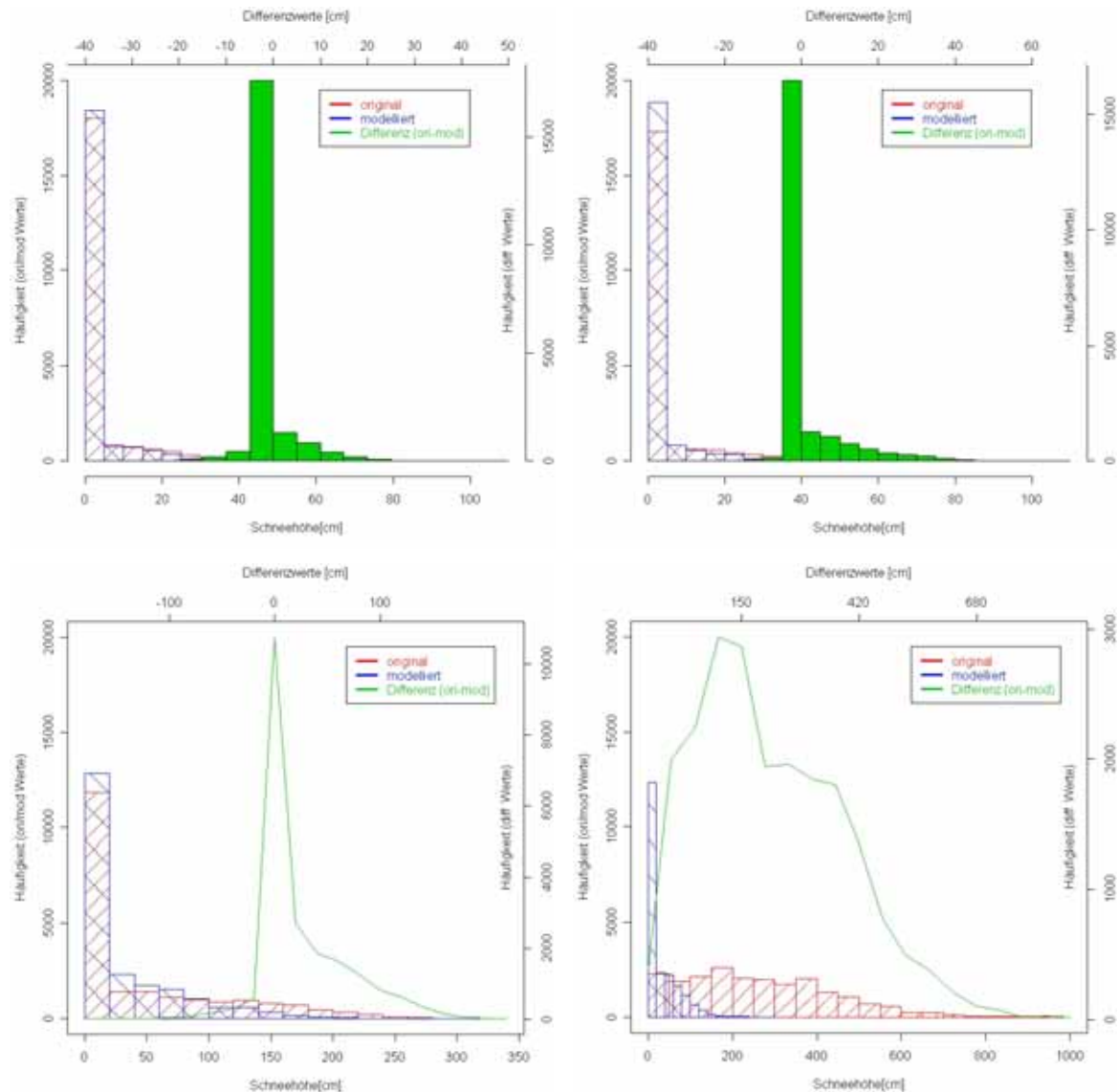


Abb. A- 22: Funktionsweise des Schneemodells

### A-6.2 Ergebnisse

Umso höher eine Messstelle situiert ist, desto schlechter stimmen die Modellergebnisse mit den gemessenen Schneehöhen überein. Das Modell unterschätzt die Gesamtschneehöhe generell, demonstriert wird dies in den Abb. A-.23 und A-.24. Während an wenigen Einzelstationen, wie Klagenfurt, die gemessenen Schneehöhen gut mit den modellierten übereinstimmen (die Differenzen sind um den Nullwert nahezu normalverteilt), wurden an den meisten Stationen zu geringe Schneehöhen berechnet (vgl. Kufstein und Feuerkogel, wo die Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte eindeutig linkssteil angeordnet sind).

Insbesondere die modellierten Daten der Messstelle Sonnblick (Abb. A- 25 unten) weisen die größten Abweichungen zu den original Daten auf. Während die gemessenen Daten eine weitere Streubreite aufweisen (der Wertebereich erstreckt sich hier von 0-9m Gesamtschneedecke) und gleichmäßig über das gesamte Intervall verteilt sind, beschränken sich die modellierten Daten auf einen kleineren Wertebereich (der maximale Wert beträgt hier 2m) und weisen eine rechtsschiefe Verteilungsform auf. Aufgrund dieser großen Diskrepanzen kommt es bei den Differenzen zu Abweichungen von bis zu +7m Gesamtschneehöhe.



**Abb. A- 23:** Häufigkeitsverteilung modellierter/ gemessener Werte der Station

oben: Klagenfurt  
unten: Feuerkogel

**Abb. A- 24:** Häufigkeitsverteilung modellierter/ gemessener Werte der Station

oben: Kufstein  
unten: Sonnblick

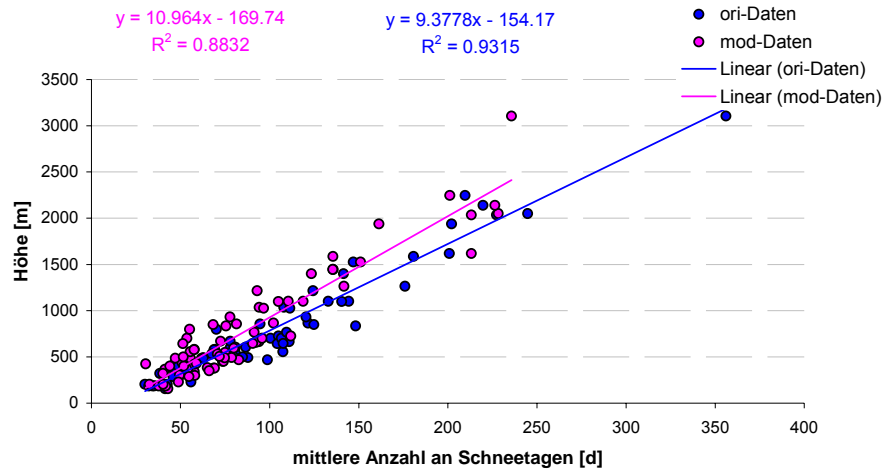
Die aus den modellierten Datensätzen berechneten Regressionen der Schneeparameter weisen im Vergleich zu den Regressionen der gemessenen Daten (ori-Daten) alle- samt geringere Korrelationskoeffizienten auf. (vgl. Abb. A- 25 bis Abb. A- 28).

Die Steigung der modellierten Regressionsgeraden weist bei den Parametern mittlere Anzahl an Schneetagen, maximale Schneehöhe und Winterdeckendauer höhere Werte (steilerer Anstieg), als bei der Regressionsgeraden der „wahren“ Werte, auf. Die größten Abweichungen der ori/mod-Werte der Schneeparameter zeigen, wie auch schon vorher bei den Häufigkeitsverteilungen, höhergelegene Stationen des Datensatzes. An der Station Sonnblick beträgt die mittlere gemessene Anzahl der Schneedeckentage 356 Tage, das sind um 120 Tage mehr als vom Modell berechnet (vgl. Abb. A- 26).

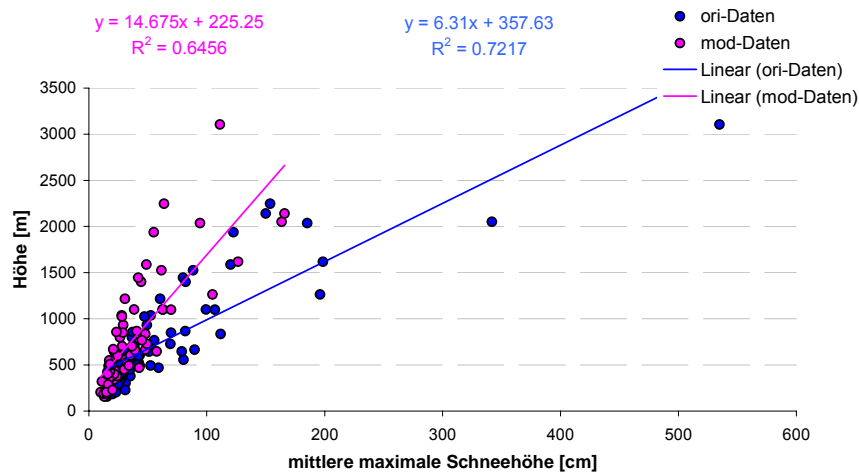
Die stärksten Unterschiede weist der Parameter maximale Schneehöhe auf. Die model- lierten Werte streuen hier stärker und die Steigung nimmt um mehr als das doppelte zu



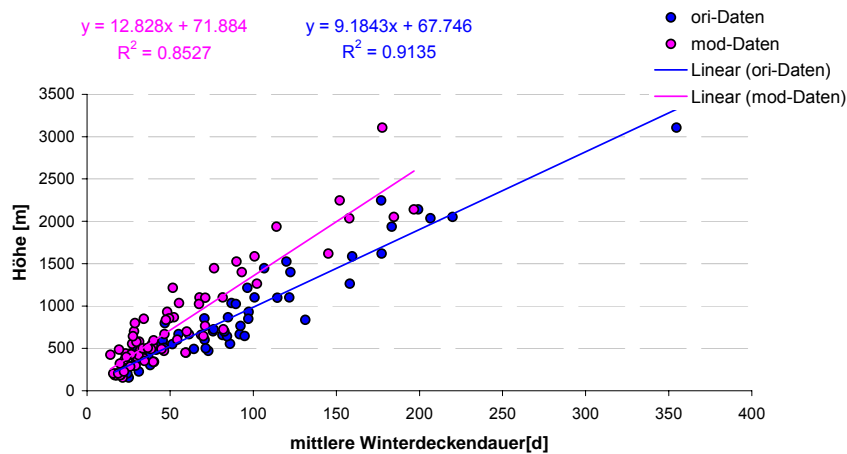
(vgl. Abb. A- 27). Dieser Effekt ist leicht, durch die starke Unterschätzung der modellierten Schneehöhen in höherer Geländestufe, zu erklären.



**Abb. A- 25:** Regression Schneedeckentage-Seehöhe, Die Varianz wird bei den ori-Daten zu 93% erklärt, bei den modellierten Werten liegt diese bei nur 88%.



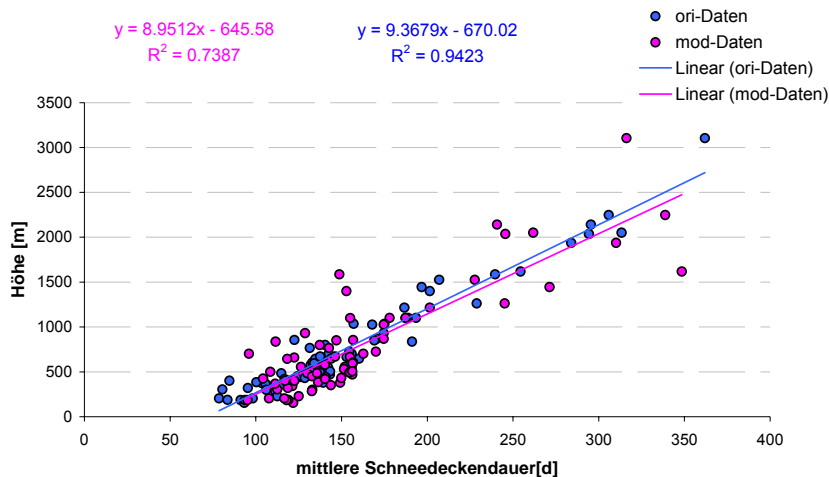
**Abb. A- 26:** Regression maximale Schneehöhe-Seehöhe



**Abb. A- 27:** Regression mittlere Winterdeckendauer-Seehöhe

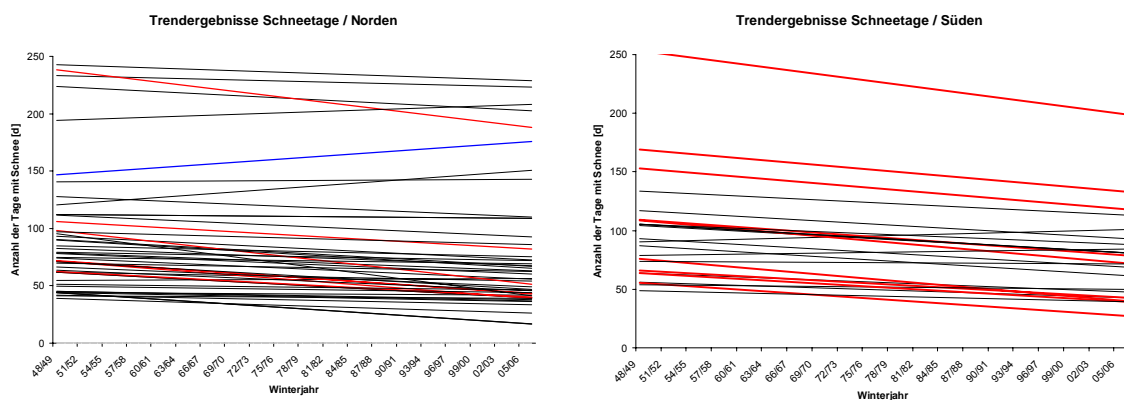
Auch bei der Gegenüberstellung der beiden Regressionsgeraden des Parameters Winterdeckendauer zeigt die modellierte Regressionsgerade eine stärkere Streuung sowie Steigung auf (vgl. Abb. A- 28). Während die Varianz bei den Originaldaten zu 91% erklärt wird, liegt diese bei den modellierten bei nur 85%.

Die beste Übereinstimmung zeigt der Schneeparameter mittlere Schneedeckendauer. Aufgrund der sehr speziellen Festlegung (zählt die Tage von ersten bis zum letzten Tag mit Schneedecke, wobei apere Phasen unberücksichtigt bleiben) weist dieser weder an hoch noch tiefer gelegenen Stationen große Unterschiede bei der Anzahl auf. Die stärkere Streuung und die höheren Residuen bei den modellierten Daten zeigen erneut, dass die original Daten besser mit der Seehöhe übereinstimmen.



**Abb. A- 28:**Regression mittlere Schneedeckendauer-Seehöhe

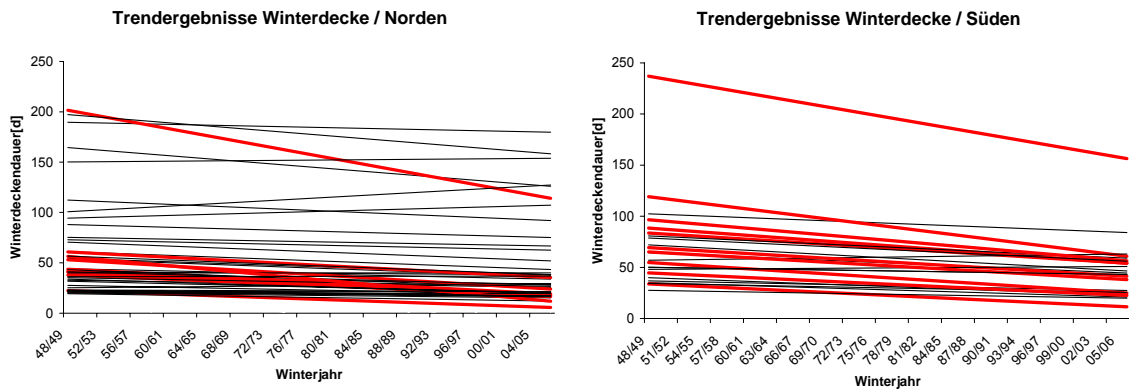
Durch die Generierung langer, durchgehender Zeitreihen und Verwendung von mehrmals, gut geprüften Temperatur- sowie Niederschlagsdaten (wobei diese keiner Homogenitätsprüfung unterzogen wurden), welche in die Modellierung direkt einfließen, waren einige Voraussetzungen für die Durchführung einer Trendanalyse gegeben. Dabei wurden die aussagekräftigsten Parameter Winterdeckendauer und Anzahl an Schneedeckentagen ausgewertet und mit dem Trendtest nach *Mann-Kendall* geprüft.



**Abb. A- 29:** Trendergebnisse des Elementes Schneedeckentage

Die Stationen des modellierten Datensatzes wurden in Nord und Süd unterteilt, wobei der Alpenhauptkamm als Grenze fungierte. Die signifikanten Trendergebnisse wurden in

den Diagrammen farblich unterlegt. Wie auch schon bei den Trendergebnissen der gemessenen Zeitreihen, zeigen auch die modellierten Daten im Norden gemischte Trendergebnisse (wobei bei der Anzahl an Schneedeckentagen an der Station Obergurgl sogar ein signifikanter positiver Trend, in Abb. A- 29, blau, zu verzeichnen ist) auf. Im Süden dagegen nehmen die Winterdeckendauer sowie die Anzahl an Schneedeckentagen großflächig ab (einzige Ausnahme bilden hier die Stationen Seckau und Zeltweg, welche möglicherweise durch lokale Effekte oder aufgrund Inhomogenitäten eine Zunahme verzeichnen), vgl. Abb. A- 30.



**Abb. A- 30:** Trendergebnisse des Elementes Winterdecke

## A-7 Schlussfolgerungen

Mit der Vervollständigung, Korrektur und Datenqualitätsprüfung des Elementes Gesamtschneehöhe kam es zu einer Verbesserung und Erweiterung des bereits existierenden StartClim1 Datensatzes. Die Vervollständigung der langjährigen Zeitreihen der Gesamtschneehöhe erfolgte mit Zuhilfenahme von Rapporten des hydrographischen Dienstes, ZAMG Klimabögen und diversen Datenbanken. Die Digitalisierung der Rapporte sowie Bögen erwies sich dabei als sehr zeitintensiv.

Die Qualitätsprüfung der Datensätze mit dem Parameter Pseudoneuschneehöhe konnte viele Ausreißer, die unter anderen durch sporadische, ungenaue Messungen seitens der Beobachter oder durch Insuffizienz bei der Digitalisierung Zustände kamen, detektieren.

In Hinblick auf eine Trendanalyse; Voraussetzung hierfür sind langjährige, vollständige, qualitätsgeprüfte und homogene Zeitreihen; wurde die Homogenität der Gesamtschneehöhendatensätze mit einem relativen Testverfahren (*HOCLIS*) geprüft. Dieses Testverfahren prüfte die Homogenität des charakteristischen Schneeparameters Anzahl der Tage mit Schnee. Der Trendtest nach *Mann-Kendall* erfolgte bei den Schneeparametern Anzahl der Tage mit Schnee, Schneedecken- sowie Winterdeckendauer und maximale Schneehöhe. Bei der Trendanalyse der letztendlich 20 als homogen eingestuft Stationen lieferte der wenig aussagekräftige Parameter Schneedecke einen einzigen signifikanten negativen Testentscheid an der Station Jenbach. Bei den anderen Parametern (Winterdeckendauer, max. Schneehöhe und Anzahl an Schneedeckentagen) kommt es zu einigen signifikanten, negativen Testentscheiden. Wobei die Anzahl der negativen Trendtestergebnisse im Süden Österreichs höher als im Norden ausfällt.

Ähnliche Trendergebnisse lieferten die modellierten Datensätzen, welche mit einem Schneemodell nach Schöner berechnet wurden. Das Schneemodell, welches sich aus geprüften Temperatur- sowie Niederschlagsdatensätzen tägliche Gesamtschneehöhen berechnet, unterschätzt die Schneehöhe im generellen. Je höher die Station situiert ist, desto signifikanter sind die Unterschiede zwischen modellierten und originalen Daten.

Die Qualitätseinteilung des Datensatzes erfolgte nach bestimmten Kriterien, wie Vollständigkeit der Zeitreihe, Prozentanzahl der korrigierten Werte und Homogenität. Schlussendlich konnten 10 Stationen (also rund 14%) der Klasse 1 (vollständige, fehlerfreie und homogene Zeitreihe), 36 Stationen (50%) der Klasse 2 und 25 Stationen (36%) der Klasse 3 zugeordnet werden.

Eine abschließende Extremwertanalyse zeigt, dass die niederschlagsarmen und warmen Winter in jüngster Vergangenheit anzutreffen sind, wobei der letzte sehr milde Winter 2006/07 der schneeärmste in der Periode 1948-2007 war. Eine Anhäufung schneereicher Winter ist dagegen in den 60-er Jahren vorzufinden, wo auch die Temperaturen im Durchschnitt unter den heutigen lagen. Somit lässt sich sagen, dass hohe Temperaturen gekoppelt mit Niederschlag zu einem Schmelzen der Schneedecke führen und somit die Anzahl der Schneedeckentage stark dezimieren. Aber auch ein kalter Winter mit wenig oder nicht sehr ergiebigen Niederschlag lässt die Anzahl an Schneedeckentagen abnehmen. Ergo wechselwirken beide Elemente stark miteinander und haben immensen Einfluss auf Schneedeckenakkumulation bzw. -ablation.

Eine zusätzliche Aufgabe stellte die Aktualisierung des Temperatur-, Niederschlag sowie Dampfdruckdatensatzes inklusive April 2007 dar. Weiters wurden die Metadatenfiles aller Elemente auf den aktuellen Stand gebracht und können somit inklusive dem Gesamtschneehöhendatensatz übergeben werden.

Innerhalb dieses Projektes wurde mit viel Zeit- und Ressourcenaufwand der Datensatz der Gesamtschneehöhe vervollständigt, geprüft, korrigiert, modelliert und schlussendlich analysiert. Dennoch besteht noch weiterer Forschungsbedarf in den Bereichen:

- **Netzverdichtung:** Insbesondere im Bereich der Alpen, wo aufgrund von speziellen Geländelagen und Ausrichtungen, Werte kumulativer Elemente, wie die Schneehöhe, sehr stark streuen, sollte eine räumliche Verdichtung angestrebt werden.
- **Homogenisierung:** Eine Homogenisierung aller Klimadaten auf Monats- und in der Folge auf Tagesbasis würde als sehr sinnvoll erachtet werden. Durch die Beseitigung von Inhomogenitäten innerhalb einer Zeitreihe könnten in weiterer Folge Interpolationen und Trendanalysen nahezu aller Klimaelemente erfolgen. Bei dem Element Gesamtschneehöhe wurde bereits einige Vorarbeit (Aussagen in Bezug auf die Homogenität) diesbezüglich geleistet. Nur wenn homogenisierte Klimazeitreihen auf Tageswertebasis vorliegen, ist eine Untersuchung über Änderungen in den Extremwerten möglich.
- **Verlängerung bzw. Erweiterung der Datensätze:** Durch eine zusätzliche Aufnahme langer (bis 100 jähriger) durchgehender Zeitreihen in den StartClim Datensatz könnten bessere Aussagen in Hinblick auf Klimavariabilität und Extremwertanalyse getätigt werden.
- **Ausweitung des Datensatzes auf bis dato nicht betrachtete Elemente:** Durch die Berücksichtigung weiterer Elemente wie der Strahlung, Bewölkung und des Luftdrucks könnten die Wechselwirkungen mit anderen Klimaelementen besser erforscht werden.

## Literaturverzeichnis

- Auer et al., 2005: A new instrumental precipitation dataset for the Greater Alpine Region for the period 1800-2002. *International Journal of Climatology*, 139-166.
- Auer et al., 2007: HISTALP - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology*, 17-46.
- Fliri, F. , 1991: Der Schnee in Nord- und Osttirol. *Universitätsverlag Wagner, Innsbruck*.
- Gurtz J. und Zappa M., 2005: Application training on hydrological models. *ETH-Zürich, Schweiz*.
- Hydrologischer Atlas Österreichs, 2004: *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*, Kapitel 4.2.
- Jurković A., Auer I., Böhm R., Debit S., Orlik A., Schöner W., 2005: The new centennial snow initiative for the Greater Alpine Region. Status report and first results. *Croatian meteorological journal* , 601-603.
- Jurković A., Auer I, Korus E., 2006: Data recovery and data rescue in framework of the project FORALPS. *Poster am 9.Österreichischer Klimatag*.
- Jurković A., Auer I., Korus E., 2006: Digitalisation and Interpolation of daily snow data in Austria and surrounding regions. *Poster bei der FORALPS Konferenz in Ljubljana*.
- Jurković A., 2007: Gesamtschneehöhe - Vergleichende Zeitreihenanalyse. *Diplomarbeit, Universität Wien- Institut für Meteorologie und Geophysik*.
- Mohnl, H., 1994: Die Schwankungen der Neuschneehöhe und Schneedeckendauer in Österreich (Periode 1895-1992). *90.-91.Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1992-1993* , 5-47.
- Scheppler P., 2000: Schneedeckenmodellierung und Kalibrierungsmöglichkeiten für ausgewählte Beobachtungsstationen. *Diplomarbeit Universität Bern, Schweiz*.
- Schöner W., Auer I., Böhm R., Thaler S.,2003: StartClim1-Quality control and statistical characteristics of selected climate parameters on the basis of daily values in the face of extreme values analysis. *Endbericht, StartClim-Start Project Climate Protection. Wien, Austria*.
- Schöner W., Dos Santos Cardoso E.-M., 2005: Reclip-more: Statistical downscaling and spatial refinement of dynamically downscaled data. *Projektbericht, Institut für Meteorologie und Geodynamik*.
- Schönwiese C.D.,2000: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. *Gebrüder Borntraeger-Berlin, Stuttgart*.
- Ungersböck M., HOCLIS 2 - Homogenisation of climatological time series. *Homogenisierungsanweisung für internen Gebrauch*.
- Wielke L., 2002: Dauer der Schneebedeckung in der Schweiz und in Österreich. *Diplomarbeit Universität Wien- Institut für Meteorologie und Geophysik*.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abb. A- 1: Stationsübersicht der StartClim Messstellen	8
Abb. A- 2: Datenbestandsliste des Elementes Gesamtschneehöhe	11
Abb. A- 3: Boxplot vier ausgewählter Stationen des Datensatzes. WIE (Wien-Hohe Warte,203m), RRX (Reichenau an der Rax, 486m), FEU (Feuerkogel, 1618m) sowie SON (Sonnblick, 3105m). Je höher die Station gelegen ist, desto mehr nähert sich die linkssteile Verteilungsform einer Normalverteilung an.	12
Abb. A- 4: Variabilität in Abhängigkeit der mittleren maximalen Schneehöhe bzw. Anzahl der Tage mit Schnee	14
Abb. A- 5: Variabilität in Abhängigkeit der mittleren Dauer der Schnee- bzw. Winterdecke	15
Abb. A- 6: <i>blau</i> : lückenhafte ZAMG-Reihe, <i>rot</i> : Daten des HD's, die zur Vervollständigung übernommen wurden.	16
Abb. A- 7: Pseudoneuschneereihe der Messstelle St.Michael ob Bleiburg	17
Abb. A- 8: Pseudoneuschneereihe der Bergstation Feuerkogel	18
Abb. A- 9: Regionalisierung nach Schöner/Mohnl	20
Abb. A- 10: Craddock Kurven der Station Hörsching (HOE), verglichen mit den Referenzstationen in Region 8: Reichersberg (REB), Kollerschlag (KOL), Freistadt (FRE), Kremsmünster (KMS), Pabneukirchen (PAB) und Stift Zwettl (ZWE).	20
Abb. A- 11: Craddock Ergebnisse der Station Reichenau an der Rax (RRX)	21
Abb. A- 12: homogene Referenzreihe Wien-Hohe Warte (WIE), getestet mit Retz (RET),Laa an der Thaya (LAA), Hohenau(HOH), Oberleis (OBE), Krems (KRE), Wien-Mariabrunn (WMA), St.Pölten (SPO), Schwechat (SWE) und Eisenstadt (EIS).	21
Abb. A- 13: signifikanter negativer Trend der Station Jenbach in Tirol	23
Abb. A- 14: signifikante Testentscheide der Winterdecke	23
Abb. A- 15: signifikante Testentscheide der Anzahl an Schneedeckentagen	23
Abb. A- 16: Trendergebnisse aller Messstellen (Parameter Winterdecke)	24
Abb. A- 17: Trendergebnisse aller Messstellen (Parameter Anzahl der Tage mit Schnee)	24
Abb. A- 18: Trendanalyse der Station Wien-Hohe Warte (nördlich des Alpenhauptkammes)	24
Abb. A- 19: Trendanalyse der Station Kolbnitz (südlich des Alpenhauptkammes)	25
Abb. A- 20: Klasseneinteilung der StartClim Stationen	26
Abb. A- 21: Abweichungen der Temperatur- Niederschlags- sowie Anzahl der Schneedeckentage Mittel eines Winterhalbjahres vom 61-90er Mittel	29
Abb. A- 22: Funktionsweise des Schneemodells	31
Abb. A- 23: Häufigkeitsverteilung modellierter/ gemessener Werte der Station	32
Abb. A- 24: Häufigkeitsverteilung modellierter/ gemessener Werte der Station	32
Abb. A- 25: Regression Schneedeckentage-Seehöhe, Die Varianz wird bei den ori-Daten zu 93% erklärt, bei den modellierten Werten liegt diese bei nur 88%.	33
Abb. A- 26: Regression maximale Schneehöhe-Seehöhe	33

Abb. A- 27: Regression mittlere Winterdeckendauer-Seehöhe	33
Abb. A- 28:Regression mittlere Schneedeckendauer-Seehöhe	34
Abb. A- 29: Trendergebnisse des Elementes Schneedeckentage	34
Abb. A- 30: Trendergebnisse des Elementes Winterdecke	35

**Tabellen**

Tab. A- 1: Klasseneinteilung nach folgenden Kriterien: (a):Unvollständigkeit der Zeitreihe (b) gap close, (c) pseudoneuschneeprüfung auffällig, manuelle korrektur (d): Inhomogenität; 1..trifft zu, 0.. trifft nicht zu .....	27
Tab. A- 2: Auswertungsergebnisse der Extremanalyse.....	28