

## **Änderung der Frosthäufigkeit in Österreich**

Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Roland Potzmann und Markus Ungersböck  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

### **Zusammenfassung**

### **Abstract**

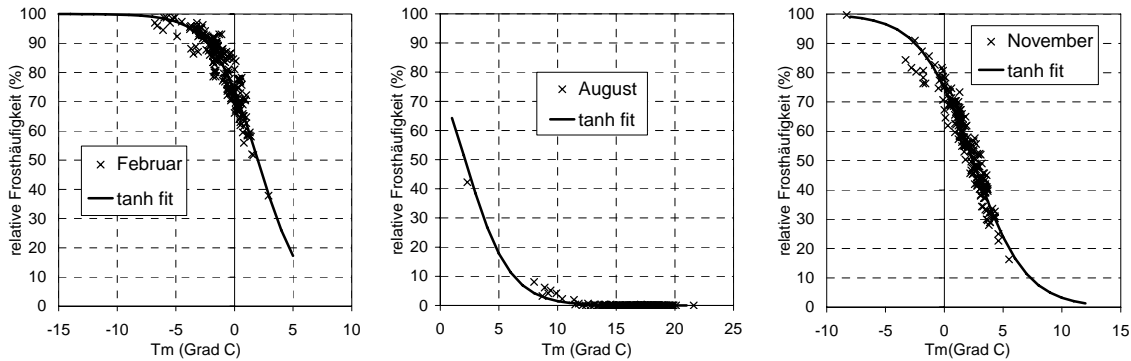
### **0. Einleitung**

Dank internationaler und nationaler Forschungsprojekte liegen in den Alpenländern für die Hauptklimaparameter (Temperatur, Luftdruck, Niederschlag) homogenisierte Zeitreihen in monatlicher bzw. in 50 bis 150km räumlicher Auflösung vor, die eine Beschreibung und Darstellung der Klimavariabilität zurück bis ins 18. Jahrhundert erlauben (vergl. etwa AUER et al., 2001a, BÖHM et al., 2001 bzw. BÖHM et al., 2003 in diesem Heft). Eine größere Anzahl von Klimaelementen werden zwar als „sekundär“ bezeichnet, besitzen aber z.T. eine zumindest gleich große praktische Bedeutung. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier nur erwähnt: Frosthäufigkeit, Anteil des festen Niederschlages, Schneedeckentage, Vegetationstage etc... Allen diesen erwähnten Größen ist eines gemeinsam, sie sind sowohl nach unten als auch nach oben streng limitiert („Tage mit“-Elemente zwischen 0 und der Monatslänge, fester Niederschlag zwischen 0 und 100%, Bedeckungsgrad 0 bis 10 Zehntel, usw.). Der überwältigende Teil dieser sekundären Klimaelemente liegt noch nicht in adäquat aufbereiteter Form vor (so lange wie möglich, so dicht wie möglich, so homogen wie möglich), nicht zuletzt deshalb, weil die Nichtlinearitäten an den Rändern Probleme bei der Homogenisierung bereiten. Wir wollen anhand des Beispiels „Frosttage“ zeigen, wie ein simples empirisches Modell (Abschnitt 1), das die Sensitivität vieler derartiger Sekundärelemente bezüglich eines der drei Hauptelemente ausnützt (in diesem Fall des Monatsmittels der Lufttemperatur), die Ableitung langer Sekundär-Zeitreihen erlaubt (Abschnitt 2), und auch ein statistisches Downscaling mit Hilfe der Sensitivität derartiger anwendungsorientierter Größen auf z.B. Temperaturänderungen ermöglicht (Abschnitt 3).

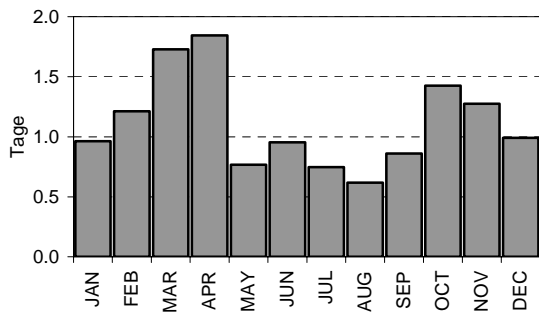
### **1. Der Sensitivitäts-Algorithmus für den Fall „Frosttage – Temperaturmittel“**

Wie HANTEL et al., 1999 genauer ausgeführt haben, kann die „Umschaltung“ eines sekundären und limitierten Klimaelementes in Abhängigkeit von einem Primärelement vom Zustand 1 in den Zustand 2 gut durch eine tanh-Funktion mit 3 freien Parametern beschrieben werden – der erste definiert den Bereich, den das limitierte Element maximal zur Verfügung hat, der zweite bewirkt eine Verschiebung entlang der Achse des Primärelements, der dritte definiert die Steilheit der Kurve. Abb. 1 zeigt als Beispiel die Abhängigkeit der Zahl der

Frosttage vom Temperaturmittel für die Monate Februar, August und November für ostalpine Verhältnisse, Abbildung 2 die Güte der dort gezeigten tanh-Anpassung.



**Abbildung 1: Einzelwerte und tanh-Modellierung der Abhängigkeit der relativen Frosthäufigkeit (%) vom Monatsmittel der Lufttemperatur. Sample: 202 österreichische Stationen 1971-2000, Frosttag:  $T_{\min} < 0 \text{ Grad C}$  (T: Hüttentemperatur, 2m über Grund)**



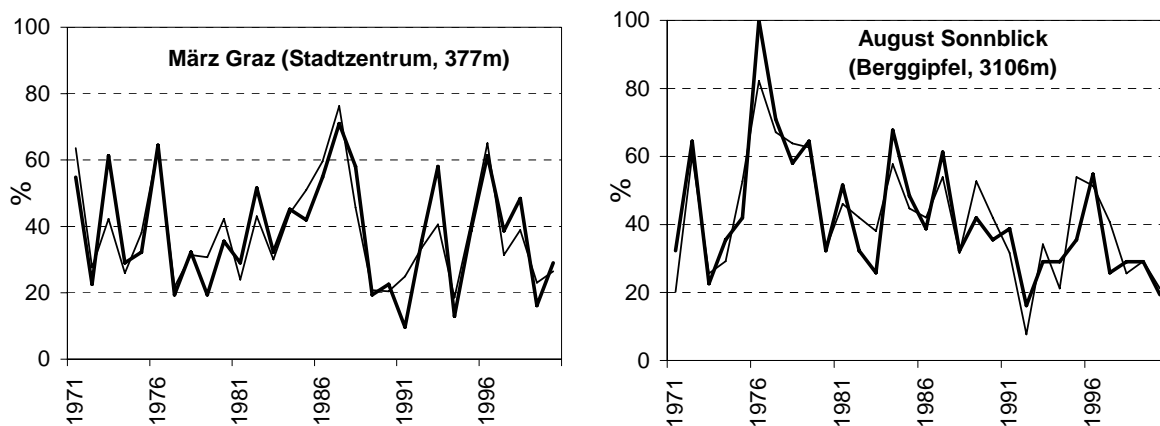
**Abbildung 2: Güte der tanh-Modellierung: Einfacher Streuungsbereich der Residuen für alle Einzelmonate (Sample wie in Abb.1)**

Die Existenz von Klimadaten aus größeren Seehöhen in den Alpen ermöglicht hier die Anpassung zu allen Jahreszeiten. Es steht also mit dem gezeigten tanh-fitting ein gut geeignetes Werkzeug zur Verfügung, um aus Mitteltemperaturen Frosthäufigkeiten abzuleiten. In der Folge werden wir mit zwei Beispielen zeigen, in welcher Richtung die Anwendungsmöglichkeiten liegen.

## 2. Ableitung von Frosttage-Zeitreihen aus solchen der mittleren Lufttemperatur

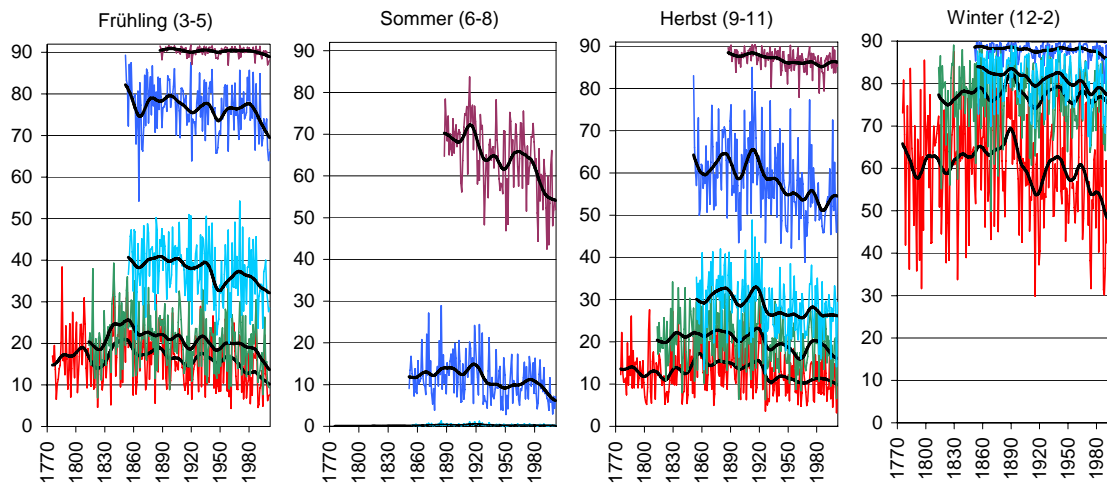
Es wurde bereits angedeutet, dass es im Alpengebiet zur Zeit eine qualitativ befriedigende Datengrundlage auf Monatsbasis für die drei primären Klimaelemente in der instrumentellen Periode gibt. Bis hinunter zum Zeitschritt 1 Monat erlaubt die Relation zwischen gegebener räumlicher Messnetzdichte und der räumlichen Dekorrelation alle Arten von relativen Homogenitätstests und auch die Ableitung von Adjustments für aufgedeckte Inhomogenitäten in den Zeitreihen. Für Tagesdaten ist diese Relation allerdings **nicht mehr gegeben** (vergleiche SCHEIFINGER et al., 2003 in diesem Heft), weshalb qualitativ befriedigende langjährige Tagesdatenreihen zur Zeit nicht zur Verfügung stehen, aus denen Größen wie etwa die Zahl

der Frosttage direkt ableitbar wären. Der Umweg über die Homogenisierung monatlich abgespeicherter Zahlen der Frosttage wiederum verursacht die erwähnten Probleme durch die Nichtlinearitäten in der Nähe der Begrenzungen. Dieser Weg wurde von uns versucht, aber begründet verworfen (siehe dazu AUER et al., 2001a). Wir stellen hier den dritten Weg vor - der die in Abschnitt 2 gezeigten tanh-Modelle benützt. Alle **NN** Stationen aus dem Pool von 202, für die langjährige  $T_m$ -Zeitreihen vorhanden sind, wurden in der Periode 1971-2000 mit dem tanh-Modell geeicht. Der mittlere Fehler wurde bereits in Abb.2 gezeigt, Abb.3 zeigt zwei Beispiele der Abweichungen des Modells von den gemessenen Werten für Monatszeitreihen von zwei klimatologisch sehr unterschiedlichen Standorten in der Eichperiode. Die Anpassung kann generell als befriedigend bezeichnet werden, Trends werden nicht signifikant verändert, nur in Einzelfällen (etwa Sonnblick, August 1977) treten stärkere Differenzen auf.



**Abbildung 3: Vergleich von Zeitreihen gemessener Frosthäufigkeit (dick) und tanh-modellierter (dünn) für zwei unterschiedliche Monate und Standorte in der Eichperiode 1971-2000**

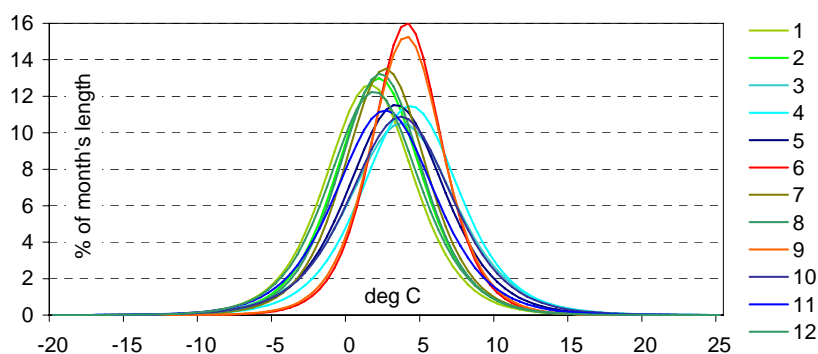
Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Frosttagemodellierung für 5 ausgewählte Standorte und für die vier Jahreszeiten. Die Standortauswahl geht von der außeralpinen Stadt Wien in etwa 200m Seehöhe, über eine ca. 450m hoch gelegene inneralpine Beckenlage, ein 1100m hohes inneralpines Tal zu zwei Bergstationen in 2100 und 3100m. Obwohl (wie von AUER et al., 2001a für die Ostalpen, von BÖHM et al., 2001 für die gesamten Alpen gezeigt wurde) die Langzeitreihen der entsprechenden Temperaturmittel im gesamten Gebiet hochgradig ähnlich sind, divergieren die Trends der Frosttage markant. Man erkennt gut die Dämpfung der (allgemein negativen) Trends, wenn die entsprechende Reihe sich der maximalen (nur Frosttage) oder minimalen Grenze (keine Frosttage) nähert. Umgekehrt liegen die stärksten Trends dann vor, wenn die Jahreszeitentemperatur sich im steilsten Bereich der tanh-Kurve bewegt (Wien im Winter und Sonnblick im Sommer mit jeweils –13 Tagen/100 Jahren).



**Abbildung 4:** Ausgewählte jahreszeitliche Frosttagezeitreihen in Österreich (Einzelj. und 30-j. Tiefpass)  
 rot: Wien (202m), grün: Klagenfurt (459m), hellblau: Bad Gastein (1100m), blau: Villacher Alpe (2160m),  
 violett: Sonnblick (3106m). Ordinaten: Frosttage

### 3. Downscaling der Sensitivität der Frosttage auf Änderungen der Mitteltemperatur

Nach der tanh-Modellierung des „Umschaltens“ vom Zustand „kein Frosttage“ auf den Zustand „nur Frosttage“ ist der nächste logische Schritt die erste Ableitung der tanh-Funktionen nach der Monatmitteltemperatur. Diese führt zu  $\cosh^{-2}$ -Funktionen, wieder mit den drei anfangs erwähnten 3 freien Parametern, die bei der tanh-Anpassung für das mittlere österreichische Klima bestimmt worden sind. Sie beschreiben also die Sensitivität  $s(T_m)$  der Frosthäufigkeit auf Änderungen der Mitteltemperatur von 1 K. Abbildung 5 zeigt diese Sensitivität, getrennt berechnet für alle 12 Monate des Jahres.

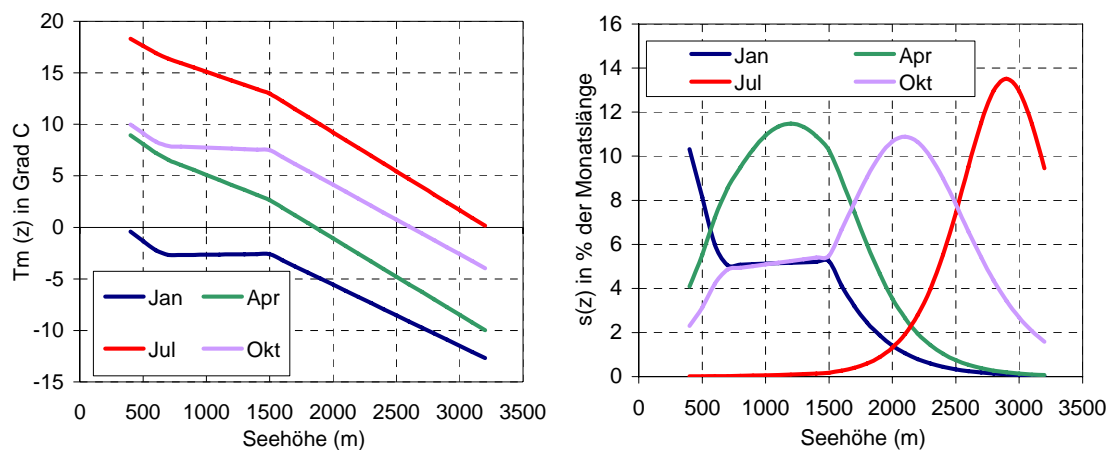


**Abbildung 5:** Sensitivität  $s(T_m)$  der monatlichen Frosttagehäufigkeit (Änderung in % der Monatslänge pro 1 K) auf Änderungen der Monatmittel der Lufttemperatur (Sample wie in Abb.1)

Generell liegen die maximalen Sensitivitäten in allen Monaten bei Monatsmitteln von +2 bis +4 Grad C und erreichen 11 bis 16 % pro 1K (also 3 bis 5 monatliche Frosttage pro 1 Grad Temperaturänderungen). Dies ist mehr als die oben erwähnten jahreszeitlichen Langzeittrends von 13 Frosttagen (die auf entsprechenden Temperaturtrends von etwa 1.5K beruhen), was

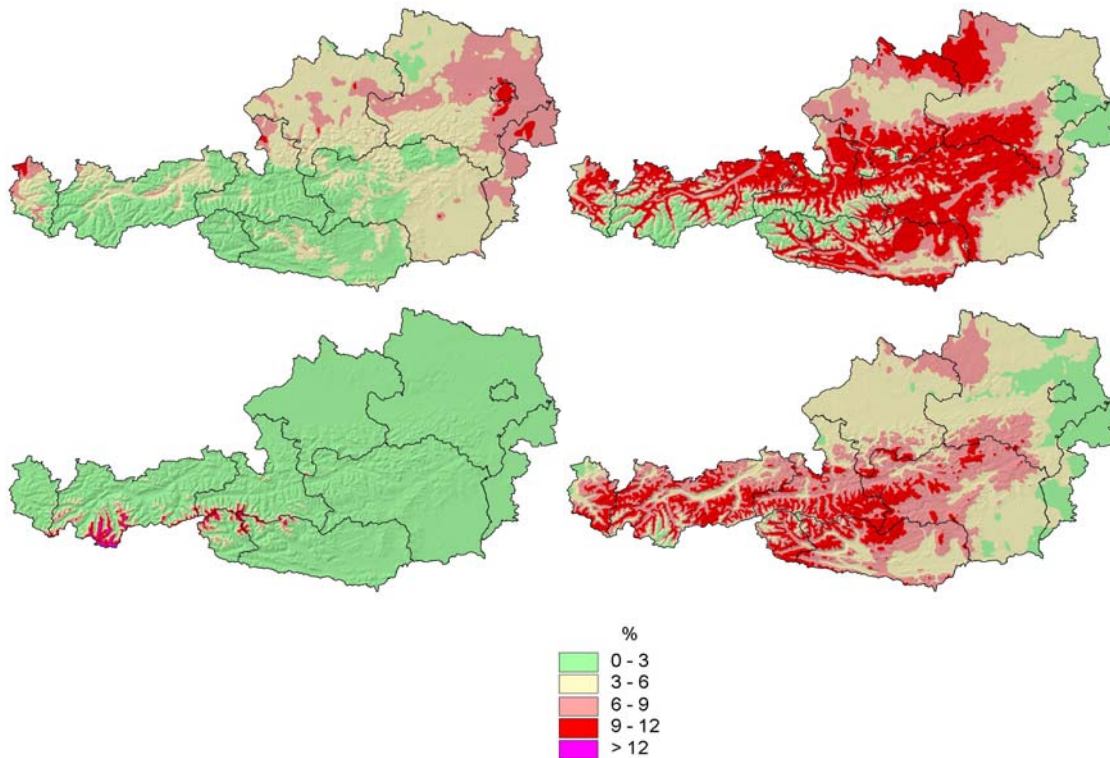
kein Widerspruch ist, da ja ein Standort über eine Jahreszeit hinweg nie im Zustand der maximalen Sensitivität verbleibt. Wie die schwach ausgeprägte aber offensichtliche Gruppierung in eine Winter-Sommer-Gruppe (Monate 12, 1, 2, 7, 8), eine weniger steile Frühling-Herbst-Gruppe (Monate 3, 4, 5, 10, 11) und die steilste Juni-September-Gruppe zu erklären ist, ist zur Zeit noch unklar.

Da für Österreich digitale und räumlich hochaufgelöste Klimakarten der Monatmittel der Lufttemperatur existieren (AUER et al., 2001b), können die Sensitivitäts-Funktionen unmittelbar auf die Fläche Österreichs umgelegt werden. Die Modellierung der monatlichen Temperaturfelder ist bei BÖHM und POTZMANN, 1999 beschrieben. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel daraus – die Seehöhenmodellierung von Temperatur und der daraus folgenden Seehöhenabhängigkeit der Frosttage-Sensitivität in einer der Klima-Subregionen Österreichs.



**Abbildung 6: Seehöhen-Modellierung der mittleren Lufttemperatur  $T_m(z)$  (links) und der Frosttage-Sensitivität  $s(z)$  (rechts) für die Klima-Subregion Vorarlberg für Jänner, April, Juli und Oktober**

Beim Übergang von der  $s(T_m)$ -Sensitivität, die gegenüber der Wahl der Stichprobe sehr robust ist, gilt das bei der  $s(z)$  Modellierung und auch bei der mittels der  $T_m$ -Karten nicht mehr. So würde etwa ein künftiger Temperaturanstieg von einigen K die Seehöhenzonen und in der Folge die T-Felder der Karten verschieben. Die in Abb.7 gezeigte Karte gilt streng genommen nur für den aktuellen Klimazustand, kann aber trotzdem als gut verwendbares und sehr anschauliches Hilfsmittel für nichtlineare Reaktionen begrenzter Klimaparameter auf Änderungen eines Hauptklimaparameters eingestuft werden.



**Abbildung 7: Österreich-Karten der Sensitivität der Frosttage-Häufigkeit auf eine Temperaturänderung von 1 K (in % der Monatslänge) in den Monaten (l.o. nach r.u.) Jänner, April, Juli und Oktober**

## Literatur

AUER I., BÖHM R. AND SCHÖNER W., 2001a: Austrian Long-term Climate 1767-2000. Österr. Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, **25**, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 147pp + CD.

AUER I., BÖHM R., MOHNL H., POTZMANN R., SKOMOROWSKI P., und SCHÖNER W., 2001b: ÖKLIM – Digitaler Klimaatlas Österreichs. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, CD-ROM.

BÖHM R. und POTZMANN R., 1999: Systematic climate mapping in complicated terrain – part one: From point information to maps of means (a GIS-supported procedure including quantitative error analysis). ÖGM-bulletin, 99/1, 21-30

BÖHM, R., I.AUER, M.BRUNETTI, M.MAUGERI, T.NANNI AND W.SCHÖNER, 2001: Regional temperature variability in the European Alps 1760-1998 from homogenized instrumental time series. Int. J. Climatol. **21**: 1779-1801

SCHEIFINGER H., BÖHM R., AUER, I, 2003: Räumliche Dekorrelation von Klimazeitreihen unterschiedlicher zeitlicher Auflösung und Ihre Bedeutung für die Homogenisierbarkeit und die Repräsentativität von Ergebnissen. Proceed. 6. DKT, Potsdam

HANTEL M., EHRENDORFER M. AND HASLINGER A., 2000: Climate sensitivity of snow cover duration in Austria. Int. J. Climatol. **20**: 615-640.

Kontaktperson:

Dr. Ingeborg Auer

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Hohe Warte 38

1190 Wien

Österreich

Tel:(+43) 1 36026 2206

Fax: (+43) 1 36026 72

email: [ingeborg.auer@zamg.ac.at](mailto:ingeborg.auer@zamg.ac.at)