



ÖKLIM 1971–2000

Aktualisierung des digitalen Klimaatlas Österreichs 1961–1990

1. März 2009 – 31. März 2010

Ingeborg Auer

Johann Hiebl

Stefan Reisenhofer

Reinhard Böhm

Wolfgang Schöner

Projektendbericht

Wien, 31. März 2010

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	2
2	Daten	3
2.1	Datensammlung	4
2.2	Datenaufbereitung	5
2.3	Flächendaten	8
3	Methodik	10
3.1	Regionale (multiple) lineare Regressionen.....	11
3.2	Geografisch gewichtete Regressionen	13
3.3	Funktionsanpassungen	16
4	Realisierung	19
4.1	Rasterfelder	19
4.2	Karten	20
5	Projektverlauf und Verwendung der Finanzmittel.....	41
6	Ausblick.....	42
	Literatur.....	43

1 Zusammenfassung

Bereits im Jahr 2001 wurde das Klima Österreichs auf Basis der Periode 1961 bis 1990 in Form eines digitalen Klimaatlas (*ÖKLIM*) umfassend dargestellt (Auer u.a. 2001). Obwohl der Zeitraum 1961 bis 1990 noch als offizielle Klimastandardperiode herangezogen wird, haben die meisten nationalen Wetterdienste ihre Produkte auf den Zeitraum 1971 bis 2000 aktualisiert. Daher hatte sich das Projekt *ÖKLIM 2000* zum Ziel gesetzt, die wichtigsten digitalen Klimakarten Österreichs auf den Zeitraum 1971 bis 2000 zu aktualisieren. Als wichtigste Klimaparameter wurden die Elemente Temperatur, Niederschlag, Schnee und Sonnenschein sowie davon abgeleitete Größen ausgewählt. Ursprünglich war die Konstruktion von 19 Klimakarten im Rahmen des Projektes geplant. Da aber im Parallelprojekt *SON-ALP* (Jurkovic und Türk 2010) u.a. die Ausarbeitung von Sonnenscheinkarten vorgesehen war, konnten diese übernommen und mit dem *ÖKLIM 2000*-Layout versehen werden, sodass nun alle insgesamt 19 Klimakarten zur Verfügung stehen.

2 Daten

Für die Erstellung einer bestmöglichen Sammlung an Stationsmessdaten als Grundlage für eine qualitativ hochwertige Interpolation wurden zwei Ziele definiert: einerseits sich nicht auf die Grenzen Österreichs zu beschränken und andererseits eine möglichst hohe räumliche Stationsdichte zu erzielen.

International angelegte Interpolationsprojekte (z. B. *S-EUROGRID* (Persson 2009), *ECSN/HRT-GAR* (Hiebl u.a. 2009)) haben gezeigt, dass die Güte von nationalen Rasterfeldern in grenznahen Gebieten wesentlich von der Verfügbarkeit ausländischer Stationsdaten abhängt. Um die Qualität der *ÖKLIM 2000*-Produkte für ganz Österreich in gleichem Maß sicherzustellen, wurde die Entscheidung getroffen, auch Stationsdaten aus den Nachbarstaaten zu sammeln und aufzubereiten. Vor allem im in meridionaler Richtung schmalen (und überdies orografisch komplexen) Westen Österreichs, wo der Abstand zwischen der nördlichen und der südlichen Staatsgrenze auf bis zu unter 35 km sinkt, ist die Kenntnis der ausländischen Klimamesswerte von großem Nutzen. Deshalb wurden zu Projektbeginn Datenanfragen an die Betreiber der meteorologischen Messnetze in den Nachbarstaaten Österreichs (einschließlich Kroatien) gesendet. Sammlung und Aufbereitung der Stationsdaten wurden daher bewusst mit mehr Aufwand als zunächst geplant betrieben.

Aus der Überlegung, Grenzeffekte zu vermeiden, wurde das Untersuchungsgebiet, für das Daten angefragt und alle Interpolationen ausgeführt werden sollten, relativ umfangreich festgesetzt: der Bereich zwischen 45,5–50° N und 8,5–18° E. Die resultierenden Rasterfelder wurden schließlich auf die Staatsfläche Österreichs ausgeschnitten (Kap. 4.1). Abbildung 1 zeigt die Lage des Untersuchungsgebiets und den Ausschnitt der kartografischen Produkte (Kap. 4.2) in Bezug auf die nationalen Grenzen.

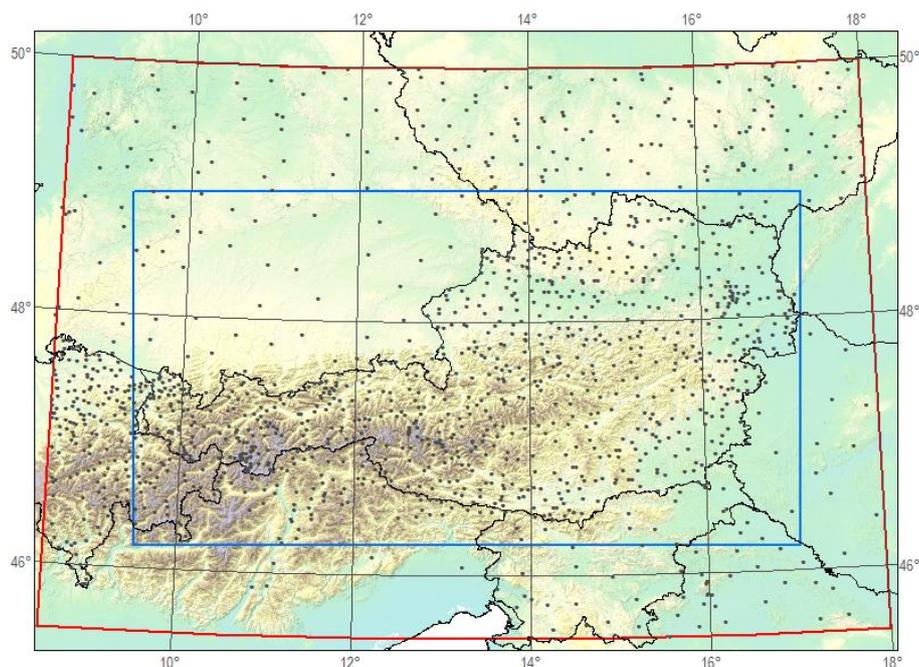


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets (roter Rahmen) und des Ausschnitts der kartografischen Produkte (blauer Rahmen) in Bezug auf die nationalen Grenzen Österreichs und seiner Nachbarländer. Zusätzlich ist das Niederschlagsstationsnetz (schwarze Punkte) dargestellt.

2.1 Datensammlung

Die nachstehende Auflistung (Tab. 1) gibt einen Überblick über Details der endgültigen Datensammlung. Sie bezieht sich auf die jeweils verfügbaren Stationen mit Mittelwerten des Zeitraumes 1971 bis 2000. Zehn von elf adressierten Organisationen erklärten sich bereit, ihre Messdaten zur Verfügung zu stellen – ein Zeugnis für das funktionierende Netzwerk, das im Laufe der Jahre mit Klimaabteilungen anderer Institute aufgebaut wurde. Auch auf das Ergebnis des Projektes *HISTALP* (Auer u.a. 2007) konnte in gewinnbringender Weise zurückgegriffen werden: In den Fällen, in denen neben der nationalen Stationsversion eine homogenisierte *HISTALP*-Version vorlag, wurde Letzterer der Vorzug gegeben. So konnte für den Parameter Lufttemperatur ein Messnetz von an die 900, für Niederschlag sogar ein Netz von fast 1400 Stationen verwendet werden. Einen Eindruck der räumlichen Dichte des umfangreichsten Stationsnetzes, des Niederschlagsstationsnetzes, vermittelt Abbildung 1. Von den österreichischen, Südtiroler und Schweizer Anbietern wurden die Daten als Zeitreihen von 1971 bis 2000 übermittelt, die restlichen Kontakte entrichteten die fertig berechneten 30-jährigen Mittelwerte.

Tab. 1: Die endgültige Datensammlung nach Parameter, Herkunftsland und Datenanbieter. Fett gedruckte Stationsanzahlen verweisen auf die durchgeführte Lückenfüllung im entsprechenden Teildatensatz (Kap. 2.2).

Staat	int.	AT		DE	CZ	SK	HU	HR	SI	IT		CH	Summe
	ZAMG (HISTALP)	ZAMG	HZB	DWD	CHMI	SHMU	OMSZ	DHMZ	ARSO	OSMER-ARPA	Hyd. Amt Ld. Südtirol	MeteoSchiweiz	
Institut													
Zeitreihen (Z) / Mittelwerte (M)	Z	Z	Z	M	M	M	M	M	M	M	Z	Z	
1 Lufttemperatur Jahr	96	153	232	100	147	7	13	28	29	6	41	42	894
2 Lufttemperatur Jänner	96	153	232	100	147	7	14	28	29	6	41	42	895
3 Lufttemperatur Juli	96	153	232	100	147	7	15	28	29	6	41	42	896
4 Eistage	–	207	–	100	148	–	15	8	32	6	44	46	606
5 Frosttage	–	207	–	100	148	–	15	27	32	6	44	45	624
6 Frostwechsellage	–	207	–	100	148	–	15	8	32	6	44	45	605
7 Sommertage	–	207	–	100	148	–	15	27	32	6	44	45	624
8 heiße Tage	–	207	–	100	148	–	15	8	32	6	44	45	605
9 Gradtagszahl	–	200	–	8	148	–	–	–	–	6	44	23	429
10 Niederschlag Jahr	89	125 + 8¹	517 + 106^{1,2}	98	147	–	11	25	28	11	53	181	1399
11 Niederschlag Winterhalbjahr	90	126 + 8¹	518 + 62^{1,2}	98	147	–	11	25	28	11	53	181	1355
12 Niederschlag Sommerhalbjahr	91	127 + 8¹	519 + 62^{1,2}	98	147	–	11	25	28	11	53	181	1355
13 Niederschlagstage	–	164	500	107	148	–	16	12	32	11	56	191	1237
14 fester Niederschlag	–	155	–	–	148	–	16	–	–	–	–	–	319
15 Neuschneesumme	–	141	419 + 64²	107	148	–	–	8	–	–	–	38	925
16 Schneedeckendauer	–	147	415 + 64²	–	148	–	16	15	32	–	–	25	862
17 maximale Schneehöhe	–	147	440 + 64²	–	148	–	16	7	–	–	–	34	865

¹ Totalisatoren

² aus HZB-Jahrbüchern

2.2 Datenaufbereitung

Die Datensammlung in ihrem endgültigen Umfang wäre nicht ohne die mit gewissem Aufwand betriebene Datenaufbereitung zustande gekommen. Dies geschah mit dem Ziel, ein räumlich möglichst dichtes Netz an gemessenen Stationswerten für die spätere Interpolation zur Verfügung zu haben. Die verfügbare Stationsanzahl ließ sich durch die Miteinbeziehung von Stationen mit Fehlwerten in vielen Fällen deutlich erhöhen. Deshalb fiel der Entschluss, wertvolle Stationsreihen mit Fehlwerten nicht gänzlich zu verwerfen, sondern teilweise diese Lücken zu schließen. Es galt, einen für die Qualität des endgültigen Interpolationsproduktes vorteilhaften Kompromiss zwischen dem räumlichen Informationsgewinn durch zusätzliche, lückengefüllte Reihen und der zunehmenden Unsicherheit durch lange Zeitlücken zu finden.

Die betroffenen Teildatensätze sind in Tabelle 1 hervorgehoben. Hauptsächlich konzentrierten sich die Anstrengungen, die Stationsdichte zu erhöhen, auf die österreichweiten Messnetze der ZAMG und des HZB. Aber auch in den grenznahen Gebieten der Schweiz und Südtirols, von wo Daten in Monats- oder Tagesauflösung bereitgestellt wurden, konnte durch Lückenfüllung wertvolle Klimainformation im stark gegliederten Gelände verwendet werden.

Die Methode der Schließung zeitlicher Lücken hing vom betrachteten Parameter ab und soll im Folgenden einzeln kurz dargestellt werden (Tab. 2). Für Parameter mit höherer örtlicher Repräsentanz wie die Lufttemperatur und ihre abgeleiteten Kenngrößen wurde eine Lücke von maximal zehn von 30 Jahren festgesetzt. Für Niederschlag, seine abgeleiteten Kenngrößen und die Schneeparameter war hingegen wegen der niedrigeren räumlichen Übertragbarkeit nur eine Lücke von fünf der 30 Jahre erlaubt.

Tab. 2: Methoden der Lückenfüllung nach Parameter.

Parameter	max. Lücke	Referenzreihen	Referenzparameter	Methode
1 Lufttemperatur Jahr	10/30	HISTALP-Fremdstationen	Lufttemperatur	mittlere monatliche Differenzen
2 Lufttemperatur Jänner	10/30	HISTALP-Fremdstationen	Lufttemperatur	mittlere monatliche Differenzen
3 Lufttemperatur Juli	10/30	HISTALP-Fremdstationen	Lufttemperatur	mittlere monatliche Differenzen
4 Eistage	10/30	selbes Netz-selbe Station	Lufttemperatur	<i>tanh</i> -Anpassung bzw. Tangente
5 Frosttage	10/30	selbes Netz-selbe Station	Lufttemperatur	<i>tanh</i> -Anpassung bzw. Tangente
6 Frostwechsellage	–	–	–	–
7 Sommertage	10/30	selbes Netz-selbe Station	Lufttemperatur	<i>tanh</i> -Anpassung bzw. Tangente
8 heiße Tage	10/30	selbes Netz-selbe Station	Lufttemperatur	<i>tanh</i> -Anpassung bzw. Tangente
9 Gradtagszahl	10/30	selbes Netz-selbe Station	Lufttemperatur	Polynomialanpassung
10 Niederschlag Jahr	5/30	HISTALP-Fremdstationen	Niederschlag	mittlere monatliche Faktoren
11 Nieders. Winterhj.	5/30	HISTALP-Fremdstationen	Niederschlag	mittlere monatliche Faktoren
12 Nieders. Sommerhj.	5/30	HISTALP-Fremdstationen	Niederschlag	mittlere monatliche Faktoren
13 Niederschlagstage	5/30	selbes Netz-Fremdstationen	Niederschlagstage	mittlere monatliche Faktoren
14 fester Niederschlag	5/30	selbes Netz-selbe Station	Lufttemperatur	<i>tanh</i> -Anpassung
15 Neuschneesumme	5/30	selbes Netz-Fremdstationen	Neuschneesumme	mittlere monatliche Faktoren
16 Schneedeckendauer	5/30	selbes Netz-Fremdstationen	Schneedeckendauer	mittlere monatliche Faktoren
17 max. Schneehöhe	5/30	selbes Netz-Fremdstationen	max. Schneehöhe	mittlere monatliche Faktoren

In allen Fällen – auch wenn das *ÖKLIM 2000*-Produkt nur den Jahresmittelwert eines Parameters betrifft – geschah die Datenaufbereitung auf Monatsbasis, wodurch die Lückenfüllung wesentlich an Genauigkeit gewann.

- Lufttemperatur

Zunächst wurden, im Fall des ZAMG-Teildatensatzes, die Daten auf Basis monatlicher Mittelwerte von 1971 bis 2000 abgefragt. Hier waren – abzüglich jener 60 Reihen, die durch ihre *HISTALP*-Versionen ersetzt wurden – 48 Zeitreihen erhältlich, die 100 % aller Monatswerte im Analysezeitraum aufwiesen. Die Herabsetzung der Datenabdeckung von 30 auf 20 Jahre (die mindestens 20 Werte mussten von jedem einzelnen Monat vorhanden sein) ermöglichte die Berücksichtigung weiterer 105 Beobachtungszeitreihen. Während die 48 vollständigen Reihen direkt in die Datensammlung übernommen wurden, wurden die 105 unvollständigen Reihen als Kandidatenreihen den homogenisierten *HISTALP*-Reihen als Referenzreihen gegenübergestellt. Für jeden Kandidaten wurden die Korrelationen mit allen Referenzreihen ermittelt und jene fünf Referenzstationen mit den höchsten Korrelationswerten zur Lückenfüllung herangezogen. Dabei wurde auf Basis der Einzelmonatswerte die Differenz zum (mit der Stärke der Korrelation gewichteten) Mittelwert der Referenzreihen berechnet und die sich ergebenden Monatsdifferenzen für die Jahre gemittelt. Diese mittleren monatlichen Abweichungen der Kandidatenreihe von den Referenzreihen wurden an den fehlenden Zeitpunkten auf den Mittelwert der Referenzreihen addiert, um so einen Füllwert für den Fehlwert in der Kandidatenreihe zu erhalten. Im Anschluss wurden die 30-jährigen Monats- und Jahresmittelwerte für den Zeitraum 1971 bis 2000 berechnet. Zuletzt wurde noch dem Umstand Rechnung getragen, dass den Temperaturdaten der einzelnen Messnetze unterschiedliche Methoden der Bildung des Tagesmittels zugrunde liegen. Um alle Temperaturdaten im Bezug auf die an der ZAMG gebräuchliche Mittelungsmethode, $\frac{t_7+t_{19}+t_{min}+t_{max}}{4}$, zu homogenisieren, konnte auf bestehende monats- und regionsabhängige Korrekturfaktoren (Hiebl u.a. 2009, 510–513) zurückgegriffen werden.

- Kenngrößen Lufttemperatur

Für die Jahressumme der Eis-, Frost-, Sommer- und heißen Tage sowie der Gradtagszahl standen keine *HISTALP*-Reihen zur Verfügung. Außerdem erschien es sinnvoller, der Lückenfüllung nicht die räumliche Korrelation der jeweiligen Parameter, die alle auf Schwellwertsdefinitionen basieren, zugrunde zu legen, sondern auf die Lufttemperatur als Referenzparameter zu setzen. Zu diesem Zweck wurden für jede Kenngröße und jeden Monat alle Einzelwerte der Kenngrößen der Monatsmitteltemperatur an derselben Station gegenübergestellt. Um den Zusammenhang zwischen Kenngröße und Temperatur mathematisch zu erfassen, wurden geeignete Kurvenanpassungen gewählt. Für Eis-, Frost-, Sommer und heiße Tage bildeten Tangens-Hyperbolicus-Anpassungen (*tanh*) am besten die asymptotischen Annäherungen an die logischen Grenzen der abhängigen Variable (Minimum 0 bzw. Maximum 28/29/30/31 Tage pro Monat) ab. In Fällen, in denen der Großteil der Werte zwischen diesen Grenzen zu liegen kam (z. B. Eistage im Jänner, Frosttage im April, Sommertage im Juli), kam nicht die *tanh*-Anpassung an sich, sondern eine daran am Punkt der maximalen Steigung angelegte Tangente zum Einsatz. Das Verhältnis zwischen der Gradtagszahl und den Monatstemperaturen wurde durch eine Polynomfunktion am besten erklärt. Die 60 resultierenden Anpassungsgleichungen (fünf Parameter mal zwölf Monate) bildeten die Grundlage für die Berechnung der Füllwerte aus der entsprechenden

Monatsmitteltemperatur derselben Station. Aus den Monatssummen wurden schließlich die Jahressummen berechnet. Als unmittelbar rechnerische Größe war die jährliche Anzahl der Frostwechsellage (Differenz aus Frost- und Eistagen) als einzige abgeleitete Temperaturgröße nicht von Lückenfüllung betroffen.

- **Niederschlag**
Zur Lückenfüllung der Niederschlagssummen wurde ähnlich wie bei der Lufttemperatur vorgegangen. Wieder konnten die *HISTALP*-Stationen als Referenzreihen angewendet werden. Allerdings wurden im Gegensatz zum kontinuierlichen Parameter Temperatur für die Niederschlagssummen, einem Parameter diskreter Natur, keine mittleren monatlichen Differenzen der Kandidatenreihe von den Referenzreihen, sondern mittlere monatliche Verhältnisse, also Faktoren, zur Berechnung von Füllwerten herangezogen.
- **Kenngößen Niederschlag**
Für die Jahressumme der Niederschlagstage wurden die Reihen mit ein bis fünf fehlenden Jahren mithilfe der vollständigen Reihen gefüllt, *HISTALP*-Stationen als Referenzreihen sind nicht vorhanden. Dabei wurde wie bei der Lückenfüllung der Niederschlagssummen vorgegangen. Für den Anteil des festen Niederschlags kamen wiederum monatliche *tanh*-Anpassungen an die Monatsmitteltemperaturen zum Einsatz, ähnlich der Lückenfüllung der Kenngößen der Lufttemperatur.
- **Schnee**
Bei den Schneeparametern, Neuschneesumme, Schneedeckendauer und maximale Schneehöhe, wurden für den jeweiligen Parameter die zu füllenden Zeitreihen mit den vollständig vorhandenen ZAMG-Zeitreihen auf Monatsbasis referenziert und die bis zu fünfjährigen Lücken mithilfe mittlerer Faktoren beseitigt.

Drei Besonderheiten der Datenaufbereitung seien noch erwähnt. Das Hydrographische Amt des Landes Südtirol stellte seine Temperatur- und Niederschlagsdaten in Rohform und täglicher Auflösung zur Verfügung. Nach der Beseitigung von Ausreißern wurden die Monatszeitreihen selbst ermittelt und im Anschluss Lücken geschlossen. Die Tagesauflösung ermöglichte außerdem die selbstständige Berechnung der von Lufttemperatur und Niederschlag abgeleiteten Kenngößen (außer Anteil des festen Niederschlags).

In Ausnahmefällen, in denen die klimatologische Beobachtung besonders wertvoll erschien, wurde die Obergrenze der Lückendauer von zehn bzw. fünf Jahren überschritten. Dies war für Lufttemperatur nur bei der 16-jährigen Zeitreihe der Station Wien-Innere Stadt der Fall. Beim Niederschlag, wo die raren hochalpinen Stationsmessungen durch kurze Totalisatorenreihen ergänzt werden mussten, fanden ebenfalls teilweise nur 16-jährige Reihen Verwendung.

Einen weiteren Spezialfall stellt die Neuschneesumme im Messnetz der ZAMG dar. Da erst im Laufe der 1980er-Jahre mit der Beobachtung der täglichen Neuschneehöhe zusätzlich zur Gesamtschneehöhe begonnen wurde, war die ursprüngliche Dichte an Neuschneestationen sehr gering. Der Umweg über die Pseudo-Neuschneesumme wurde gewählt. Bei mindestens 15-jährigen Neuschneezeitreihen wurde die fehlenden Werte durch die monatlichen Summen der täglichen Differenzen aus Gesamtschneehöhe und Gesamtschneehöhe des Vortages, also der Pseudo-Neuschneesumme, berechnet. Um die Setzung der Schneedecke grob einzubinden, wurde ein stations- und monatsabhängiger Skalierungsfaktor aus dem mindestens 15-jährigen Zeitraum

überlappender Gesamt- und Neuschneehöhenmessungen angebracht. Erst danach wurden die verbleibenden Lücken mit Referenzstationen beseitigt. Die Ergebnisse sind hinsichtlich der 30-jährigen Mittelwerte äußerst zufriedenstellend (Tab. 3).

Generell kann zur Güte der durchgeführten Methoden der Lückenfüllung festgehalten werden, dass sie zum Zweck der Erweiterung der verwendbaren Stationsnetze sehr gut geeignet sind. Vorteilhaft ist, dass die ergänzten Einzelwerte nicht für sich analysiert wurden, sondern lediglich in die Bildung der 30-jährigen Mittel eingingen. Unsicherheiten wurden durch die restriktive Wahl der zulässigen Lückenlänge gering gehalten. Die gefüllten Mittel wurden hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüft. Die nachstehende Auflistung (Tab. 3) soll das Gesagte untermauern. In einigen Fällen wurden routinemäßig Fehlwerte in lückenhaften ZAMG-Reihen ersetzt, die sich im weiteren Verlauf im HZB- oder HISTALP-Netz als vollständig erwiesen. Die Gegenüberstellung der Mittelwerte aufgefüllter und vollständiger Zeitreihen spricht für die verwendeten Verfahren. Die gewonnenen Ergebnisse sind auf jeden Fall einer Mittelbildung über eine lückenhafte Zeitreihe vorzuziehen.

Tab. 3: Gegenüberstellung von Mittelwerten auf Basis provisorisch lückengefüllter und gänzlich beobachteter Zeitreihen. Die Länge der gefüllten Lücke ist angegeben.

Parameter	Nr.			Station	Lücke [Jahre]	Mittelwert Beobachtung + Füllung	Mittelwert Beobachtung
	ZAMG	HZB	HISTALP				
Lufttemperatur Jahr	6800	105544		Kirchdorf/Krems	8	8,6° C	8,4° C
	15105	103408		Krimml	6	5,8° C	6,0° C
	16900	100057		Obervermunt	5	1,4° C	1,4° C
Niederschlag Jahr	21300		216	Bad Eisenkappel	4	1217 mm	1227 mm
	1920		134	Stift Zwettl	1	659 mm	655 mm
Pseudo- Neuschnee- summe	4810	105460		Wolfsegg	11	159 cm	159 cm
	5972	108449		Groß-Enzersdorf	14	46 cm	47 cm
	17300	102210		Obergurgl	8	499 cm	474 cm

2.3 Flächendaten

Eine wichtige Grundlage für die räumliche Interpolation von Klimadaten bildet das verwendete digitale Geländemodell (DGM). Dieses beschreibt in einem regelmäßigen Gitter die Erdoberfläche und ist in Lage und Höhe georeferenziert. Für ÖKLIM 2000 wurde ein anderes DGM als für das Vorgängerprojekt gewählt. Das aktuellere DGM des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen (BEV) basiert auf der Digitalisierung der ÖK50-Karten und liegt ursprünglich in einer Rasterweite von 50 m vor. Aufgrund der einfacheren Handhabung wurde eine räumlich auf das geografische Koordinatensystem WGS84 referenzierte DGM-Version verwendet. Da die – technisch einfach machbare – Bereitstellung aller Klimaparameter in dieser sehr hohen räumlichen Auflösung eine fachlich nicht haltbare Genauigkeit der Messung und Interpolation von Klimawerten vorspiegelt, wurde die Rasterweite durch Mittelung und Zusammenfassung mehrerer Gitterpunkte vergrößert. Die verwendete Zellgröße beträgt 9,65“, wodurch der Gitterabstand annähernd genau 200 m in Längsrichtung und 300 m in Breitenrichtung ausmacht. Diese Eigenschaften übertragen sich durch alle Arbeitsschritte bis zum digitalen Endprodukt (Kap. 4.1).

Einige Interpolationsverfahren wurden durch die Integration von Klimaeffekten der Mesoskala ergänzt. Zur Berücksichtigung von Landnutzungseffekten, in städtischen Gebieten und entlang von Seeufnern, stand das digitale Landnutzungsmodell *CORINE (Coordinated Information on the European Environment)* der Austrian Research Centers Seibersdorf zur Verfügung.

Die Anwendung dieser beiden Flächendatensätze war auf die Fläche Österreichs begrenzt. Für die angrenzenden Bereiche der Nachbarländer wurde auf das satellitenbasierte globale DGM *SRTM-3 (USGS 2008)* bzw. den europäischen Landnutzungsdatensatz *PELCOM (Mücher u.a. 2000)* zurückgegriffen.

3 Methodik

Ursprünglich, mit Wissensstand zum Zeitpunkt des Projektantrags, war die Aktualisierung der digitalen Klimakarten des ersten ÖKLIM-Projektes aus dem Jahr 2001 (Auer u.a. 2001) durch einfache Anbringung von Differenzfeldern angedacht. Die Vorteile einer solchen Vorgehensweise wären der geringe Arbeitsaufwand und die unmittelbare Vergleichbarkeit der Zeiträume gewesen. Mit Beginn des Projektes zeigte sich jedoch rasch, dass diese Vorgehensweise aus mehreren Gründen nicht gehalten werden konnte, weshalb alle digitalen Rasterfelder von Grund auf neu erstellt wurden. Folgende Motive, die alle einen Qualitätsaspekt beinhalten, führten zu diesem Entschluss:

- Bei Anwendung identer Arbeitsweisen hätten nur jene Stationsreihen berücksichtigt werden können, welche sowohl im Zeitraum 1961 bis 1990 als auch im Zeitraum 1971 bis 2000 eine ausreichende zeitliche Abdeckung durch Messdaten aufgewiesen hätten. Dies hätte automatisch zu einem Abfall der Stationsdichte im Vergleich zum ersten ÖKLIM-Projekt und einem für jede Interpolation nachteiligen Verlust an räumlicher Messinformation, geführt. Tatsächlich konnte der Umfang der angewendeten Stationsnetze durch die oben beschriebene Datensammlung und -aufbereitung noch ausgeweitet werden.
- Stationsreihen aus grenznahen Gebieten der Nachbarstaaten, deren Anwendung, wie bereits dargestellt, Grenzeffekte in Österreich vermeiden half, hätten unter genauer Beibehaltung der Methoden nicht verarbeitet werden können.
- In den letzten zehn Jahren haben sich Klimatologen weltweit mit der Verbesserung geostatistischer Interpolationsmethoden von Klimaparametern auseinandergesetzt. So haben beispielsweise Daly und Johnson (1998) und Daly u.a. (2002, 2008) besonders in der Interpolation von Niederschlag mithilfe topografischer Variablen Maßstäbe gesetzt. Auch bei europäischen Partnern finden geografisch gewichtete Regressionsansätze bei verschiedenen Klimaparametern zunehmend Verwendung (z.B. Frei und Schär 1998, Maugeri u.a. 2009). Das von der Abteilung für Klimaforschung der ZAMG geleitete *ECSN/HRT-GAR*-Projekt (Hiebl u.a. 2009) lieferte wertvolle methodische Erfahrungen für die Interpolation von Temperatur in orografisch kompliziertem Gelände. Ein unveränderliches Festhalten an den Verfahren des ersten ÖKLIM-Projektes hätte fachliche Erkenntnisse des vergangenen Jahrzehnts ignoriert.
- Im Fall der Lufttemperatur ist durch die an der ZAMG zu Beginn der 1970er-Jahre durchgesetzte Verschiebung des Zeitpunktes der Abendbeobachtung und die dadurch in den Monatsmitteln verursachte Inhomogenität von bis zu 0,5° C (Hiebl u.a. 2009, 510–513) die direkte Vergleichbarkeit der Zeiträume ohnehin nicht mehr gegeben.
- Ebenso erschwert der im Projektantrag angekündigte Austausch des den ersten ÖKLIM-Interpolationen zugrunde liegenden digitalen Geländemodells durch das Modell des BEV (Kap. 2.3), dessen höhere räumliche Genauigkeit eine bessere Erfassung des extrem gegliederten Ostalpenraumes erwarten lässt, die unveränderte Übernahme der Verfahren sowie den unmittelbaren Vergleich der beiden Produkte.

In der Folge wurden die Arbeitsweisen zur Interpolation der einzelnen zu bearbeitenden Klimaparametern neu erarbeitet. Die Wahl der für einen bestimmten Klimaparameter geeignetsten

Methode setzt das Wissen um die physikalischen Grundlagen und die klimatologisch-räumliche Verteilung des Parameters sowie um Funktion, Stärken und Schwächen des geostatistischen Interpolationsansatzes voraus. In den folgenden Unterkapiteln sind die angewendeten Verfahren zu drei Hauptgruppen zusammengefasst.

3.1 Regionale (multiple) lineare Regressionen

Drei ÖKLIM-Rasterfelder, jene zu mittlerer Jahres-, Jänner- und Julitemperatur, beruhen auf diesem Ansatz. Die Anwendung von regionalisierten multiplen linearen Regressionen zur räumlichen Interpolation der Lufttemperatur wurde vom *ECSN/HRT-GAR*-Projekt übernommen und weiterentwickelt. Damals wurden in mehreren horizontalen Subregionen sowie drei vertikalen Schichten multiple lineare Regressionen der Temperatur gegen geografische Länge und Breite, Seehöhe und (topografisch gewichtete) Entfernung von der Küste berechnet, um so die makroklimatischen Abhängigkeiten abzubilden.

Die hohe räumliche Stationsdichte erlaubte es, das Untersuchungsgebiet in 37 horizontale Regionen des Temperaturklimas zu unterteilen (Abb. 2), wobei probeweise Regressionsberechnungen und klimageografische Überlegungen eine Rolle spielten. Insgesamt acht Mal wurde die Regionalisierung bis zu ihren endgültigen Zustand überarbeitet.

Zusätzlich wurde die vertikale Dimension in drei Schichten unterteilt: In der unteren Schicht (je nach horizontaler Region unterhalb von 600 m (außer-alpine Regionen) bis 1800 m (Engadin)) wurden die Stationen regionsweise analysiert. In der oberen Schicht (meist oberhalb 1700 m, in einigen Fällen erst oberhalb von 2300 m (Engadin)) wurden alle Stationen zu einer einzigen, zusätzlichen hochalpinen Region zusammengefasst. In der unteren Schicht wurde eine zusätzliche Unterscheidung getroffen (Abb. 2). In den Regionen der außer-alpinen Vorländer und Becken wurden multiple lineare Regressionen durchgeführt, wobei geografische Länge, geografische Breite, Seehöhe und eine topografisch gewichtete Küstendistanz als unabhängige Variablen dienten. In den kleineren Regionen der inneralpinen Tälern und Becken sind die großskaligen Abhängigkeiten hingegen zu schwach ausgeprägt, weshalb hier eine einfache lineare Regressionsberechnung gegen die Seehöhe sinnvoll erschien.

Die mittlere Schicht soll der typischen, besonders im Winter ausgeprägten, bodennahen Inversionsschicht bzw. Schicht schwächerer höhenabhängiger Temperaturabnahme gerecht werden. Hier wurde keine Regressionsberechnung durchgeführt, sondern der Temperaturwert für jeden Gitterpunkt zwischen der Obergrenze der unteren Schichten und der Untergrenze der oberen Schicht gewichtet nach der Seehöhe des Gitterpunktes gemittelt. Die Schichtgrenzen sind von der mittleren Höhe des Talbodens abhängig und wurden regionsweise ermittelt, wobei besonderes Augenmerk auf logische Konsistenz mit den Nachbarregionen gelegt wurde (Abb. 3).

Zur Erstellung der Temperaturfelder mittels der GIS-Software *ArcGIS* wurden die Regressionskoeffizienten in Form von Rasterfeldern erstellt und an den Regionsgrenzen über 20 (außer-alpin) bzw. 10 km (inneralpin) geglättet.

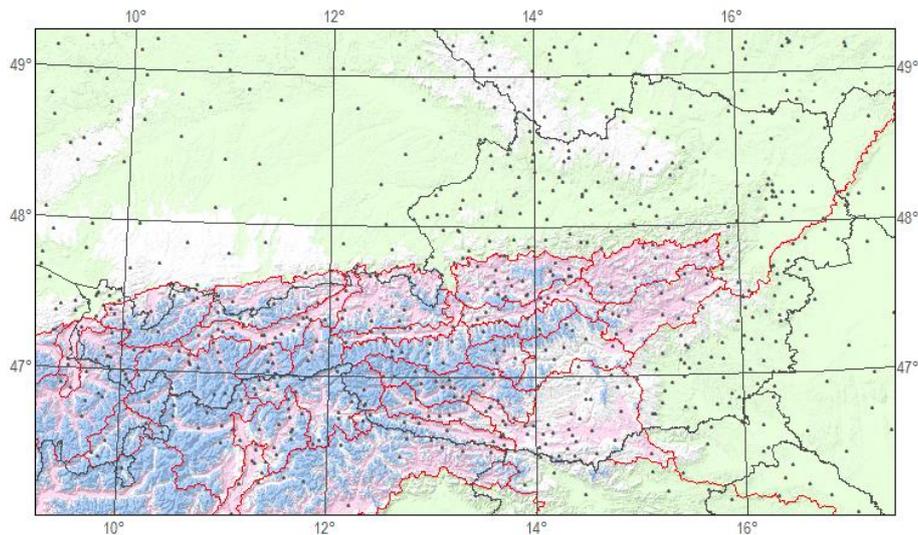


Abb. 2: Regionen des Temperaturklimas. In den (grünlich eingefärbten) außeralpinen Regionen wurden multiple, in den (rötlich eingefärbten) inneralpinen Regionen einfache lineare Regressionen berechnet. Über alle (bläulich eingefärbten) hochalpinen Bereiche wurde eine einzige multiple lineare Regression durchgeführt. Zusätzlich ist das Temperaturstationsnetz (schwarze Punkte) eingetragen.

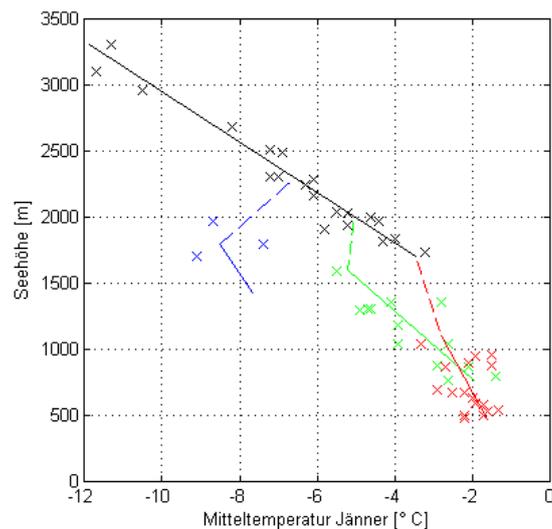


Abb. 3: Beispiele von verwendeten Höhengradienten der Lufttemperatur. Das Ergebnis der oberen Schicht (schwarze Punkte für Stationen und schwarze Linie für Regressionsgerade) wurde für alle hochalpinen Bereiche des Untersuchungsgebietes angewendet. In der unteren Schicht wurden die Stationen regionsspezifisch in Übereinstimmung mit Nachbarregionen analysiert (als drei Beispiele Engadin in blau, Oberinntal in grün, Unterinntal in rot). In der mittleren Schicht (gestrichelte Linien) wurde die Temperatur zwischen der Obergrenze der unteren Schichten und der Untergrenze der oberen Schicht interpoliert.

Nach diesem ersten Schritt, der die großräumigen Abhängigkeiten des Temperaturklimas abbildet, wurden in einem zweiten Schritt Ausprägungen des Mesoklimas behandelt. Ähnlich wie im ECSN/HRT-GAR-Projekt wurden Effekte des Geländeklimas, namentlich außeralpine Inversionen, Seeufereffekte, städtische Wärmeinseln und Hangeffekte, in die Temperaturfelder integriert. Städtische Gebiete und Seeflächen wurden aus dem CORINE-Landnutzungsdatensatz identifiziert (Kap. 2.3). Mit Hinweis auf die Begleitpublikation des Projekts (Hiebl u.a. 2009) wird hier auf eine

eingehende Beschreibung verzichtet. Die dort besprochenen Ansätze wurden jedoch nicht ungeprüft übernommen, sondern mit dem aktuellen Datenmaterial und mit einer durch das kleinere Untersuchungsgebiet ermöglichten größeren Genauigkeit wiederholt. Das Ausmaß der angebrachten Anpassungen erreicht bis zu etwa 2° C, ihre Summe ist in Abbildung 4 dargestellt. Zur Fertigstellung des Temperaturfeldes wurde das Ergebnis einer Residuen-Interpolation mittels Gauß'schem Kriging hinzugefügt, um einen Teil der verbliebenen räumlichen Temperaturvarianz einzufangen.

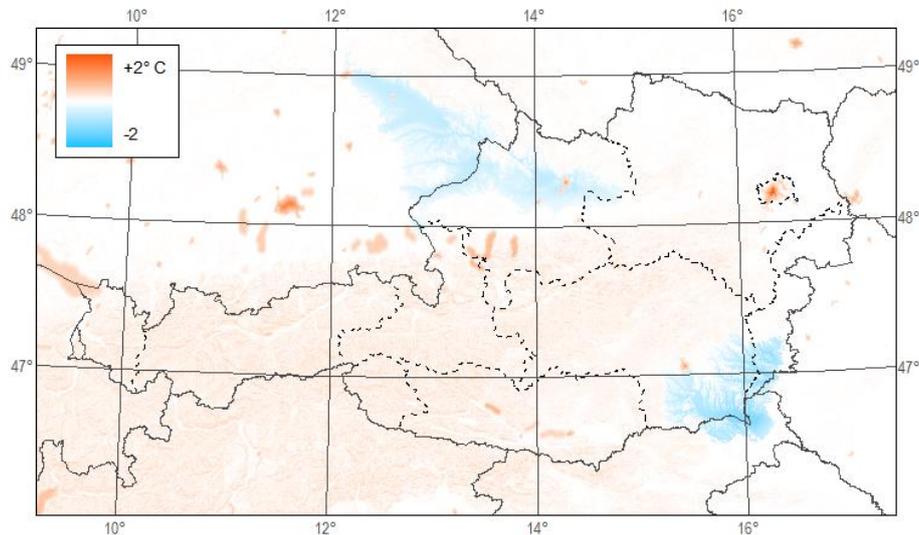


Abb. 4: Die Summe der angebrachten Anpassungen für außeralpine Inversions-, Seeufer-, Stadt- und Hangeffekte für die mittlere Jännertemperatur.

3.2 Geografisch gewichtete Regressionen

Sechs ÖKLIM-Rasterfelder, jene zu den Niederschlagssummen (Jahr, Winterhalbjahr und Sommerhalbjahr) und zu Schneegrößen (Neuschneesumme, Schneedeckendauer und Schneehöhenmaximum), fußen auf geografisch gewichteten Regressionen. Im ersten ÖKLIM-Projekt wurden zur Erstellung der Niederschlagsfelder ebenfalls Regressionen gegen die Seehöhe in verschiedenen Regionen berechnet. Allerdings lassen sich, im Gegensatz zur Lufttemperatur, die komplexen Variationen des Niederschlags besser erfassen, wenn man sich nicht nur auf die ungenauen Beziehungen zur Seehöhe in Regionen verlässt. Um die größeren räumlichen Variationen des Niederschlagsklimas im Ostalpenraum besser zu erfassen, sollte den regionalen und lokalen Einflüssen des Gebirges mehr Beachtung geschenkt werden, was durch eine geografisch gewichtete Regressionsberechnung bewerkstelligt werden sollte.

Das verwendete Verfahren wurde an die Ansätze von Daly und Johnsson (1998), das in den Alpen zuvor schon von Frei und Schär (1998) angewendet wurde, angelehnt, aber unabhängig programmiert und methodisch abgewandelt. Dabei wurde für jeden Gitterpunkt individuell eine Regression zwischen der Niederschlagssumme und der Seehöhe auf Grundlage der nächstgelegenen Stationen berechnet, die allerdings jeweils nach ihrer Repräsentativität für die Topografie am Gitterpunkt gewichtet wurden. Die Auswahl der topografischen Faktoren schloss anfangs neben der Entfernung, den Seehöhenunterschied sowie Hangneigungs- und Expositionsdifferenzen ein. So konnte erreicht werden, dass beispielsweise für den Wert eines in nordseitiger Hanglage in steilem

Gelände gelegenen Gitterpunktes Messwerte von ebenfalls auf steilen Nordhängen aufgestellten Stationen besonders stark in die Regression eingingen. Während regional nachvollziehbare Niederschlagsverteilungen simuliert wurden, führte dies andernorts zu künstlichen Mustern, was darauf zurückgeführt wird, dass Unsicherheiten und Ungenauigkeiten der Niederschlagsmessung schwache von Hangneigungs- und Expositionsunterschieden verursachte Niederschlagsmodifikationen deutlich überlagern. Nach dem Test unterschiedlicher Gewichtungen und Parametrisierungen wurde schließlich eine Modellvariante verwendet, die zur lokalen Regressionsberechnung die 15 nächstgelegenen Stationen heranzieht und deren Stationswerte ausschließlich nach der horizontalen Distanz gewichtet. Die Gewichtung geschah mithilfe einer Gauß-Verteilung, sodass in 25 km Entfernung der halbe Gewichtungsfaktor des Ursprungspunktes zugewiesen wurde. Als einziges zusätzliches topografisches Stationsauswahlkriterium kam die Lage nördlich bzw. südlich des Alpenhauptkamms hinzu. Als Ausgabe des Modells wurden die Rasterfelder der beiden Koeffizienten der Niederschlag-Seehöhe-Regression (Steigung als Niederschlagsänderung mit der Höhe, Achsenabschnitt) exportiert. Aus ihnen konnten die Niederschlagsfelder einfach erstellt werden. Ergaben sich für kleine Bereiche physikalisch nicht haltbare negative Höhengradienten, so wurden diese schließlich auf null gesetzt. Die hohe räumliche Variabilität der Koeffizientenfelder, die durch eine Regionalisierung nicht erfasst hätte werden können, ist aus Abbildung 5 ersichtlich.

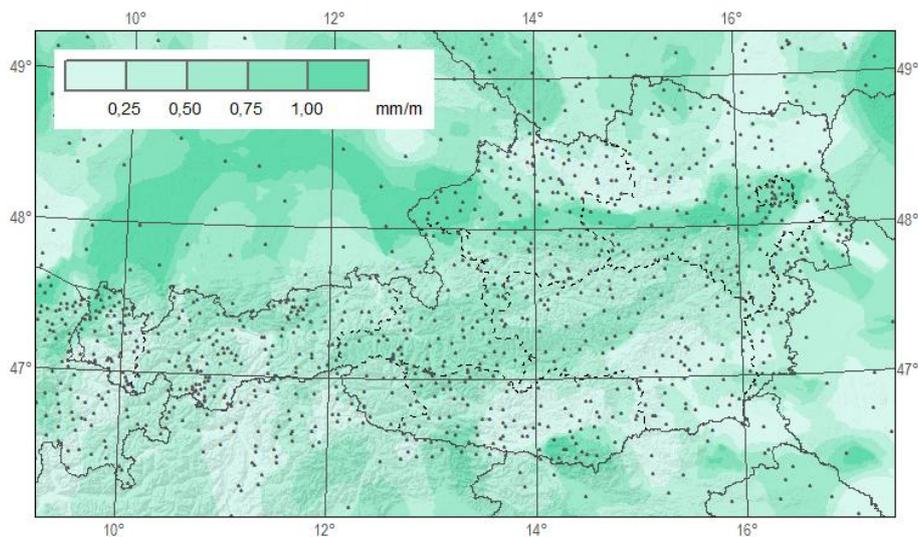


Abb. 5: Die räumliche Verteilung des Höhengradienten der mittleren jährlichen Niederschlagssumme. Zusätzlich ist das Niederschlagsmessnetz (schwarze Punkte) eingetragen.

Da die Methode auf eine räumlich variierende Stationsdichte sensibel reagiert, mussten mehrere so genannte Kontrollpunkte als zusätzliche Stationswerte vor allem in Gipfelregionen eingesetzt werden. Dies geschah etwa, indem der Messwert einer Gipfelstation entlang der gesamten Gebirgskette mehrmals dupliziert wurde (z.B. der Sonnblick entlang des Alpenhauptkamms der Hohen Tauern) oder bei gänzlichem Fehlen von hochalpinen Messwerten ein mithilfe bestehender Klimatografien und aus der klimatologischen Erfahrung abgeschätzter Wert eingesetzt wurde. Ein gewisses Maß an Subjektivität erlaubt das gezielte Fällen einer für ein Programm schwierig zu treffenden Entscheidung, die Einordnung der räumlichen Repräsentanz eines Messwerts oder die Bewertung der Glaubwürdigkeit eines Messwertes. So heben auch Peterson u.a. (1998, 1500) die Wichtigkeit der aus der Erfahrung des Klimatologen erwachsenen subjektiven Beurteilung als

Ergänzung objektiver Methoden bei der Bearbeitung von Klimadaten (in anderem Zusammenhang) hervor.

Wie schon bei der Lufttemperatur, wurde auch für die Rasterfelder der Niederschlagssumme eine die Mesoskala betreffende Anpassung vorgenommen. Den statistischen Untersuchungen von Böhm (1979) über die durch die erhöhte Kondensationskerndichte und den thermischen Auftrieb verursachte Niederschlagsenerhöhung gegenüber der ungestörten Ebene im Lee der Großstadt Wien folgend wurde das im dichten Datenmaterial der Jahre 1947 bis 1976 gefundene Anpassungsmuster (ebd., 243) übernommen und in die Niederschlagsfelder eingebettet. Zum Abschluss wurden die resultierenden Niederschlagsfelder wieder einer Residuen-Interpolation mittels Kriging unterzogen.

Geografisch gewichtete Regressionen tragen dem Umstand Rechnung, dass die Höhenabhängigkeit der Niederschlagssumme im Gebirge räumlich stark variieren kann. Das Ergebnis (Kap. 4.2) stellt diese räumliche Abwandlungen des Niederschlags sehr gut dar und zeigt, wie Staueffekte (z.B. in den nördlichen Kalkalpen), aber auch abrupte Übergänge zu inneralpinen Trockentälern (z.B. von den Lechtaler zu den Öztaler Alpen) realistisch simuliert werden.

Das Verfahren wurde, wie erwähnt, auch auf die drei zu erarbeitenden Schneeparameter angewendet. Deren Rasterfelder waren zunächst unabhängig davon mithilfe von einfachen Höhenregressionen in verschiedenen Regionen des Schneeklimas (Abb. 6) erstellt worden. Der Versuch, die Methode der Niederschlagsinterpolation auf die Schneegrößen umzulegen, brachte jedoch ein verbessertes Ergebnis, sodass die Entscheidung schließlich ebenfalls auf den geografisch gewichteten Regressionsansatz fiel. Zur Abschätzung von Kontrollpunkten konnten allerdings die aus den Regionen des Schneeklimas gewonnenen Höhengradienten zu Hilfe genommen werden.

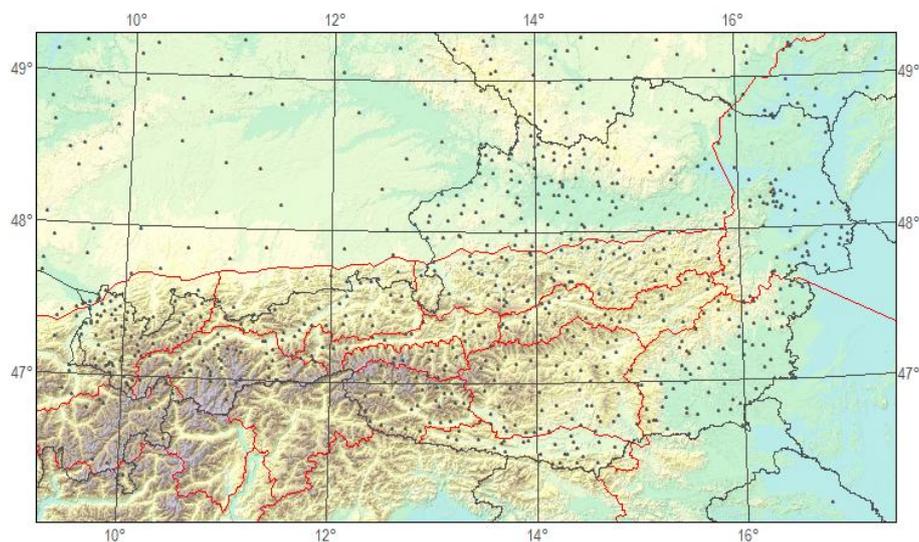


Abb. 6: Regionen des Schneeklimas. Zusätzlich ist das Stationsnetz für Neuschneesumme (schwarze Punkte) eingetragen.

3.3 Funktionsanpassungen

Die Rasterfelder der verbliebenen acht zu interpolierenden Parameter, die allesamt sekundäre Kenngrößen des Temperatur- oder Niederschlagsklimas darstellen, basieren auf Funktionsanpassungen (fitting). Einerseits sind die Kenngrößen per Definition, meist über die Abfrage eines Schwellwertes, direkt von der Lufttemperatur oder der Niederschlagssumme abgeleitet, andererseits gibt dieses enge Verhältnis die Möglichkeit, auch die Interpolationsmethode der Kenngrößen auf die bereits erstellten Rasterfelder der grundlegenden Klimatelemente aufzusetzen. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in den wesentlich umfangreicheren Messnetzen von Lufttemperatur und Niederschlag im Vergleich zu den Kenngrößen (Tab. 1), was die Wiedergabe der Kenngrößen in räumlich höherer Genauigkeit erlaubt.

Für die Modellierung der flächenmäßigen Verteilung der einzelnen abgeleiteten Kenngrößen finden unterschiedliche Funktionsanpassung Verwendung, die in Tabelle 4 aufgelistet sind. Bei der Prozedur der Anpassung wurden die abgeleiteten Klimaparameter als abhängige Variable in einer Funktion mit den grundlegenden Klimaparametern als unabhängige Variable erklärt. Die mittlere jährliche Lufttemperatur als unabhängige Variable zeigte bei allen Kenngrößen der Temperatur und dem Anteil des festen Niederschlags den besten Zusammenhang, Jänner- bzw. Julitemperatur erwiesen sich als weniger geeignet. Zur Erklärung der Anzahl der Niederschlagstage wurde die jährliche Niederschlagssumme herangezogen.

Bei der Wahl der Funktionsanpassung zeigte sich bei den Parametern Frost-, Eis- und heiße Tage sowie Anteil des festen Niederschlags eine Tangens-Hyperbolicus-Funktion (*tanh*) am geeignetsten, was durch enge Übereinstimmungen in Form des Bestimmtheitsmaßes (R^2) belegt wird. Der Vorteil der *tanh*-Funktionen liegt, wie bereits erwähnt, im quasilinearen Zusammenhang der Variablen im mittleren Bereich der Verteilung, während sie in den natürlichen Randbereichen (hier vorgegeben durch 0 bzw. 365 Tage pro Jahr) asymptotische Annäherungen beschreibt. Als Beispiel ist in Abbildung 7 die Anpassung der Frosttage an die Jahresmitteltemperatur dargestellt. Das Fehlermaß (*RMSE*, root mean square error) dieser Anpassung liegt bei 6,2 d.

Tab. 4: Kenngrößen der Lufttemperatur und des Niederschlags mit der verwendeten Art der Funktionsanpassung als Grundlage der Interpolation.

Parameter	unabhängige Variable	Funktionstyp	R^2	RMSE
Eistage	jährliche Lufttemperatur	Tangens Hyperbolicus	0,99	6,2 d
Frosttage	jährliche Lufttemperatur	Tangens Hyperbolicus	0,98	10,1 d
Frostwechsellage	–	–	–	–
Sommertage	jährliche Lufttemperatur	lineare Regression	0,76	9,3 d
heiße Tage	jährliche Lufttemperatur	Tangens Hyperbolicus	0,73	2,5 d
Gradtagszahl	jährliche Lufttemperatur	Polynomfunktion	0,99	98,5° C
Niederschlagstage	jährliche Niederschlagssumme	Exponentialfunktion	0,82	6,4 d
fester Niederschlag	jährliche Lufttemperatur	Tangens Hyperbolicus	0,93	3,0 %

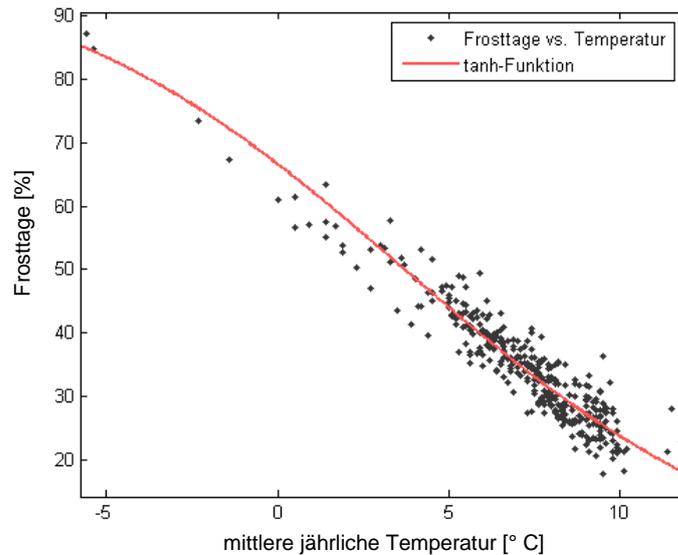


Abb. 7: Die Tanges-Hyperbolicus-Anpassung der jährlichen Anzahl der Frosttage (hier in Prozent von 365 Tagen) an die Jahresmitteltemperatur.

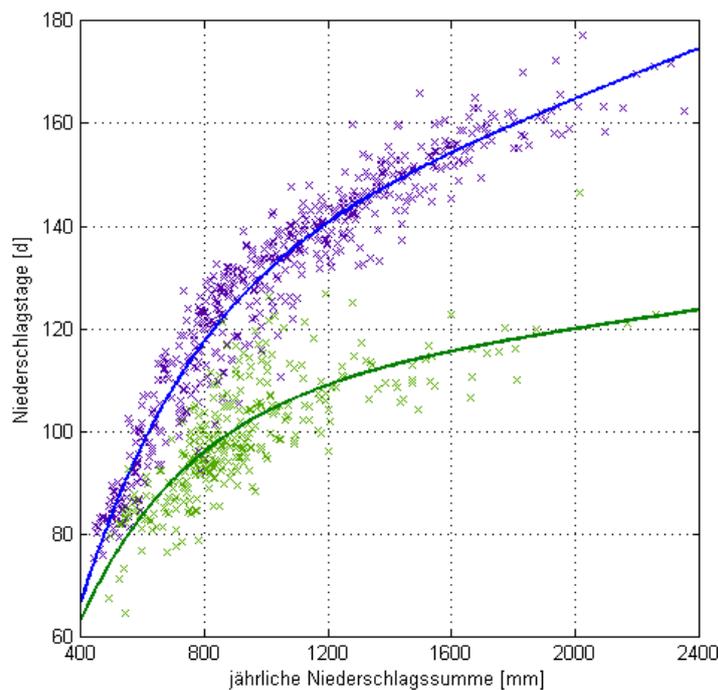


Abb. 8: Die Exponential-Anpassungen der jährlichen Anzahl der Niederschlagstage an die jährliche Niederschlagssumme in zwei Hauptgruppen, je einer nördlich (blau) und südlich (grün) des Alpenhauptkamms.

Bei der Anzahl an Sommertagen konnte die Abhängigkeit von der mittleren jährlichen Temperatur mittels einer linearen Regression beschrieben werden, da Randprobleme an den natürlichen Wertegrenzen nicht vorkamen. Allerdings fand die Berechnung der Regressionsgeraden unter Ausschluss jener Stationen statt, die keinen einzigen Sommertag aufweisen, um unrealistische Werte in höheren Lagen zu vermeiden. Der Zusammenhang zwischen Gradtagszahl und mittlerer jährlicher Lufttemperatur konnte am besten durch eine Polynomfunktion 5. Ordnung wiedergegeben werden.

Aufgrund der hohen Korrelationen war eine weitere Regionalisierung der Daten bei allen bisher besprochenen Parametern nicht notwendig, sodass die jeweilige Funktion auf den gesamten Kartenausschnitt angewendet werden konnte. Eine Ausnahme stellt die Anzahl der Niederschlagstage dar, deren Stationswerte dargestellt in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme eine auffällige Teilung in zwei Hauptgruppen zeigt (Abb. 8). Der Verdacht auf einen Nord-Süd-Effekt bestätigte sich, als die Stationen hinsichtlich ihrer Lage nördlich und südlich des Alpenhauptkamms eingeteilt wurden. Getrennte Exponentialanpassungen brachten solide Ergebnisse. Sie bildeten die Grundlage für die Interpolationen in beiden Regionen, wonach entlang des Alpenhauptkammes einseitig, von Nord nach Süd, geglättet wurde.

Alle Funktionsanpassungen basieren auf einem auf die Fläche Österreichs beschränkten Teildatensatz, ausländische Stationsreihen wurden dafür nicht berücksichtigt. Als letzter Schritt folgte nach der räumlichen Interpolation jeweils der Vergleich der interpolierten Werte mit den gemessenen Stationswerten, wozu wiederum auf den gesamten Datensatz einschließlich ausländischer Reihen zurückgegriffen wurde. Die resultierenden Residuen wurden erneut mithilfe des Kriging-Verfahrens interpoliert und aus Gründen der Minimierung der Fehlervarianz auf die modellierten Rasterfelder addiert.

Das Rasterfeld der Frostwechseltage bildet die Ausnahme unter den Interpolationsmethoden. In Anlehnung an die rechnerische Bildung des Klimaparameters wurde auch das Rasterfeld als Differenz der fertigen Rasterfelder von Frost- und Eistagen erstellt.

4 Realisierung

Wie vorgesehen, werden die Ergebnisse des Projektes *ÖKLIM 2000*, die Klimakarten Österreichs für den Zeitraum 1971–2000, in drei verschiedenen Varianten angeboten:

- Für aufbauende, interne und externe wissenschaftliche Anwendungen in der Klima- und Klimafolgenforschung sind die Ergebnisse auf Basis von digitalen Rasterfeldern erhältlich (Kap. 4.1).
- Für den Vertrieb analoger Kartenwerke über die ZAMG-Homepage (<http://www.zamg.ac.at/produkte/thema/klimainformation/klimakarten>) wurden die Projektergebnisse kartografisch aufbereitet (Kap. 4.2).
- Zusätzlich werden die kartografischen Produkte als Ergänzung zum Punkt „Klimanormalwerte Österreich 1971–2000“ auf der ZAMG-Homepage (<http://www.zamg.ac.at/klima/klimadaten/klimanormalwerte/index.php>) angeboten.

4.1 Rasterfelder

Die 19 fertigen Interpolationsprodukte sind als digitale Rasterfelder im ESRI-Grid-Format (bei Bedarf auch im ASCII-Textformat oder im NetCDF-Datenformat) verfügbar. Zur einfachen Handhabung sind

Tab. 5: *Eigenschaften der fertigen Rasterfelder.*

Element	Einheit	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung der Stationsresiduen
1 Lufttemperatur Jahr	0,1° C	6,0	-9,3	11,8	0,5
2 Lufttemperatur Jänner	0,1° C	-3,0	-14,8	2,2	0,5
3 Lufttemperatur Juli	0,1° C	15,2	-2,6	21,5	0,5
4 Eistage	0,1 d	45	15	303	6
5 Frosttage	0,1 d	143	57	339	12
6 Frostwechseltage	0,1 d	98	29	151	12
7 Sommertage	0,1 d	28	0	77	7
8 Heiße Tage	0,1 d	4	0	20	2
9 Gradtagszahl	1° C	4470	2550	12950	172
10 Niederschlag Jahr	1 mm	1110	470	2940	119
11 Niederschlag Winterhalbjahr	1 mm	440	150	1440	62
12 Niederschlag Sommerhalbjahr	1 mm	670	310	1590	65
13 Niederschlagstage	0,1 d	122	79	190	6
14 fester Niederschlag	0,1 %	32	9	96	2
15 Neuschneesumme	1 cm	335	35	2560	59
16 Schneedeckendauer	1 d	112	19	36	9
17 maximale Schneehöhe	1 cm	80	13	610	13
18 absolute Sonnenscheindauer Jänner	h	64	0	146	3,4 %
19 absolute Sonnenscheindauer Juli	h	201	35	272	2,3 %

die Felder räumlich auf das geografische Koordinatensystem WGS84 referenziert. Die Zellgröße beträgt in beiden Richtungen 9,65“ (0,002681°), wodurch jeder Gitterpunkt eine Fläche von annähernd genau 200 m in Längsrichtung mal 300 m in Breitenrichtung repräsentiert. Umgelegt auf die Staatsfläche Österreichs umfassen die Rasterfelder 2858 Spalten und 989 Zeilen. Der Wertebereich ist auf die Staatsgrenzen Österreichs ausgeschnitten, in den aufscheinenden Gebieten der Nachbarländer ist ein Fehlwert eingetragen. Für die beiden aus dem Projekt *SON-ALP* (Jurkovic und Türk 2010) stammenden Rasterfelder der Sonnenscheindauer gelten eigene Spezifikationen. Die folgende Auflistung (Tab. 5) fasst grundlegende statistische Kennzahlen der Rasterfelder zusammen.

4.2 Karten

Zur kartografischen Darstellung wurde für das *ÖKLIM 2000*-Projekt ein neues Kartenlayout entworfen. Sofern es die Stationsdichte in den angrenzenden Gebieten der Nachbarstaaten erlaubte, wurde die Klimainformation auch in diesen Bereichen dargestellt, wovon der Eindruck der räumlichen Verteilung (z.B. Niederschlagssummen) einiger Parameter deutlich profitiert. Als inhaltliche Ergänzung und zum besseren Verständnis der Karte wurden u.a. folgende Elemente integriert:

- statistische Maßzahlen (Mittelwert, Minimum und Maximum), bezogen auf die Staatsfläche Österreichs
- Histogramm der Flächenverteilung von Klassen des dargestellten Klimaparameters, bezogen auf die Staatsfläche Österreichs
- alle Datenquellen, anpasst für den dargestellte Klimaparameter
- räumliche Auflösung der Karte
- Standardabweichung der Karte von den Messwerten, d.h. die Standardabweichung der Stationsresiduen, bezogen auf die Staatsfläche Österreichs
- Messwert des dargestellten Klimaparameters im Kartenfeld für die Landeshauptstädte und das Sonnblick-Observatorium

Die Karten sind für den Farbdruck im A3-Format optimiert, in diesem Format beträgt der Maßstab genau 1 : 1.500.000. Auf den folgenden Seiten sind die 19 Klimakarten verkleinert abgedruckt.

Abb. 9: Kartografische Aufbereitung der 19 fertigen Rasterfelder (S. 21–39). Als topografische Referenz ist zuletzt das verwendete digitale Höhenmodell dargestellt (S. 40).

[Die Seiten 21–41 wurden entfernt.]

6 Ausblick

Das Produkt „Klimakarten Österreichs 1971–2000“ ist ein Datensatz, der weiterreichende Anwendung erlaubt, wie etwa im Bereich der Klima- und Klimafolgenforschung selbst, aber auch z.B. im Tourismus, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Bauwirtschaft.

Die neuen Klimakarten Österreichs stehen in verschiedenen Varianten zur Verfügung: einerseits zur Öffentlichkeitsinformation in Form von Bilddarstellungen (z.B. auf der ZAMG-Homepage) als Ergänzung zu „Klimadaten von Österreich 1971–2000“, andererseits in Form von Gitterpunktdaten für die weitere wissenschaftliche Anwendung in der Klima- und Klimafolgenforschung. Die neuen Klimakarten erlauben eine Aktualisierung der unter dem Link <http://www.zamg.ac.at/produkte/thema/klimainformation/klimakarten> angebotenen Produkte.

Mit den „Klimakarten Österreichs 1971–2000“ wird die Kompetenz der ZAMG auf dem Sektor der Interpolation von Klimainformation gefestigt. Eine unmittelbar bevorstehende Anwendung wird in der zu bearbeitenden Klimatografie von Kärnten sowie der im Antragsstadium befindlichen Klimatografie von Tirol erfolgen. Die Karten Jahresmittel der Lufttemperatur und mittlerer jährlicher Niederschlag wurden im bereits publizierten Atlas der Verbreitung der Flechten in Oberösterreich verwendet (Berger u.a. 2009, 13, 16).

Eine internationale Präsentation der Projektergebnisse von *ÖKLIM 2000* wird im Rahmen der ECAC 2010 in der Session MC3/AW13 Data mapping, spatial interpolation and GIS modelling, Reference climatologies erfolgen.

Literatur

- Auer I, Böhm R, Mohnl H, Potzmann R, Schöner W, Skomorowski P (2001): *ÖKLIM. Digitaler Klimaatlas Österreichs. Eine interaktive Reise durch die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Klimas*. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. CD-ROM, approbierter und publizierter Projektbericht
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin J-M, Begert M, Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Nieplova E (2007): HISTALP. *Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760–2003*. International Journal of Climatology 27, 17–46
- Berger F, Priemetzhofer F, Türk R (2009): *Atlas der Verbreitung der Flechten in Oberösterreich*. Linz: Land Oberösterreich, Stapfia 90
- Böhm R (1979): *Untersuchung des urbanen Einflusses auf das Niederschlagsfeld in der Umgebung einer Großstadt mit Hilfe verschiedener statistischer Methoden*. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklima, Ser. B, 27, 225–246
- Dalezios RD, Dobesch H (Hrsg.) (2005): *Proceedings of the International Symposium on GIS and Remote Sensing. Environmental Applications*. November 7–9, 2003, Volos, Griechenland
- Daly C, Johnson GL (1999): PRISM spatial climate layers. Their development and use. Short course on topics in applied climatology. 79th Annual Meeting American Meteorological Society, 10–15 January, Dallas, USA
- Daly C, Gibson WP, Taylor GH, Johnson GL, Pasteris PA (2002): *A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate*. Climatic Research 22, 99–113.
- Daly C, Halbleib M, Smith JI, Gibson WP (2008): Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. International Journal of Climatology 28, 15, 2031–2064
- Dobesch H, Dumolard P, Dyras I (Hrsg.) (2007): *Spatial Interpolation for Climate Data. The Use of GIS in Climatology and Meteorology*. ISTE, 2007.
- Frei C, Schär C (1998): *A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain gauge observations*. International Journal of Climatology 18, 873–900
- Hiebl J, Auer I, Böhm R, Schöner W, Maugeri M, Lentini G, Spinoni J, Brunetti M, Nanni T, Perčec Tadić M, Bihari Z, Dolinar M, Müller-Westermeier G (2009): *A high-resolution 1961–1990 monthly temperature climatology for the greater Alpine region*. Meteorologische Zeitschrift 18, Nr. 5, 507–530

- Jurkovic A, Türk K (2010): *SON-ALP. Interpolationen der Sonnenscheindauer sowie der Globalstrahlung in Hinblick auf Klimaänderungen im Alpenraum*. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Endbericht des ZAMG-Projekts in Ausarbeitung)
- Kirchhofer W (Hrsg.) (2000): *Klimaatlas der Schweiz*. Sechste Lieferung. Wabern: Bundesamt für Landestopographie
- Maugeri M, Lentini G, Spinoni J (2009): *1961–1990 high-resolution Northern and Central Italy monthly precipitation climatologies*. *Advances in science and research* 3 (2009), 73–78
- Mücher S, Steinnocher K, Champeaux JL, Griguolo S, Wester K, Heunks C, van Katwijk V (2000): *Establishment of a 1-km pan-European land cover database for environmental monitoring*. – *IAPRS* 33, 702–709
- Müller-Westermeier G, Kreis A, Dittmann E (Hrsg.) (1999, 2001, 2003): *Klimaatlas der Bundesrepublik Deutschland. Teil 1–3*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst
- Peterson TC, Easterling DR, Karla TR, Groisman P, Nicholls N, Plummer N, Torok S, Auer I, Böhm R, Gullett D, Vincent L, Heino R, Tuomenvirta H, Mestre O, Szentimrey T, Salinger J, Førland EJ, Hanssen-Bauer I, Alexandersson H, Jones P, Parker D (1998): *Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data. A review*. *International Journal of Climatology* 18, 1493–1517
- Szalai S, Bihari Z, Szentimrey T, Lakatos M (Hrsg.) (2004): *Proceedings from Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*. 25–29 October 2004, Budapest, Ungarn
- Tolasz R, 45 Ko-Autoren (2007): *Atlas Podnebi Česka: Climate atlas of Czechia*. Prag: Czech Hydrometeorological Institute
- Tolasz R, Brázdil R, Bulíř O, Dobrovolný P, Dubrovský M, Hájková L, Halášová O, Hostýnek J, Janouch M, Kohut M, Krška K, Křivancová S, Květoň V, Lepka Z, Lipina P, Macková J, Metelka L, Míková T, Mrkvica Z, Možný M, Nekovař J, Němec L, Pokorný J, Reitschläger JD, Richternová D, Rožnovský J, Řepka M, Semerádová D, Sosna V, Stríž M, Šerci P, Škáchová H, Štěpánek P, Štěpánková P, Trnka M, Valeriánová A, Valter J, Vaniček K, Vavruška F, Voženílek V, Vráblik T, Vysoudil M, Zahradniček J, Zusková I, Žák M, Žalud Z (2007): *Atlas Podnebi Česka. Climate atlas of Czechia*. – Prag: Czech Hydrometeorological Institute
- USGS-EROS, NASA, NGA, ESRI (2008): *SRTM Global Digital Elevation Model*. Redlands: ESRI
- Zaninović K, Gajić-Čapka M, Perčec Tadić M (2008): *Klimatski atlas Hrvatske: climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*. Zagreb: Meteorological and Hydrological Service of Croatia