



OAW



ZAMG

ISSN 2074-9317

The Economics of Weather and Climate Risks Working Paper Series

Working Paper Nr. 7/2009

*METEOROLOGISCHE DATEN FÜR
LOKALE IMPACT-STUDIEN
DER EWCR-WETTERDATENSATZ*

Matthias Themeßl,¹ Andreas Gobiet,¹ Christoph Töglhofer^{1,2}

¹ Wegener Zentrum für Klima und globalen Wandel, Universität Graz

² Institut für Technologie- und Regionalpolitik, Joanneum Research Graz

³ Radon Institute for Computational and Applied Mathematics, Austrian Academy of Sciences

⁴ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)

Inhalt

INHALT	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	2
TABELLENVERZEICHNIS.....	4
TABELLENVERZEICHNIS.....	4
ABSTRACT	5
1 EINLEITUNG	6
2 DATEN UND METHODIK	7
2.1 Untersuchungsgebiet und Daten.....	7
2.2 Methoden	8
3 RESULTATE	9
3.1 Schigebiete	9
3.1.1 Temperatur.....	9
3.1.2 Mittlere Schneehöhen	12
3.1.3 Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe	15
3.1.4 Mittlere Kunstsneehöhen.....	18
3.1.5 Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstsneehöhe	21
3.1.6 Erkenntnisse	24
3.2 Gemeinden	26
3.2.1 Temperatur	26
3.2.2 Heizgradtage	29
3.2.3 Niederschlag	30
3.2.4 Niederschlagsfrequenz.....	32
3.2.5 Anzahl von Starkregentagen.....	35
3.2.6 Erkenntnisse	38
4 LITERATUR	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Räumliche Auflösung der vorhandenen Klimadaten in EWCR I.	7
Abbildung 2: Klimatologische Mittelwerte [°C] und Standardabweichungen [°C] der Temperaturen 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt0.	10
Abbildung 3: Signifikante dekadische Trends [°C pro Dekade] der Mitteltemperaturen 1973- 2006 zwischen November und April berechnet für alt0.	10
Abbildung 4: Klimatologische Mittelwert [°C] und Standardabweichung [°C] der Temperatur 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt50.	11
Abbildung 5: Signifikante dekadische Trends [°C pro Dekade] der Mitteltemperaturen 1973- 2006 zwischen November und April berechnet für alt50.	11
Abbildung 6: Höhenabhängigkeit von klimatologischen Mittelwerten [°C] und signifikanten Trends [°C pro Dekade] der Mitteltemperaturen von November bis April zwischen 1973 und 2006.	12
Abbildung 7: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.	13
Abbildung 8: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Schneehöhen 1973- 2006 zwischen November und April berechnet für alt0.	13
Abbildung 9: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.	14
Abbildung 10: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Schneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt50.	14
Abbildung 11: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [cm] und signifikanter Trends [cm pro Dekade] der mittleren Schneehöhen von November bis April zwischen 1973 und 2006.	15
Abbildung 12: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.	16
Abbildung 13: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.	16
Abbildung 14: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.	17
Abbildung 15: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.	17
Abbildung 16: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [Tage] und signifikanter Trends [Tage pro Dekade] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe von November bis April zwischen 1973 und 2006.	18
Abbildung 17: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Kunstschneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.	19
Abbildung 18: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Kunstschneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt0.	19

Abbildung 19: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Kunstschneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50..... 20

Abbildung 20: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Kunstschneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt50. 20

Abbildung 21: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [cm] und signifikanter Trends [cm pro Dekade] der mittleren Kunstschneehöhen von November bis April zwischen 1973 und 2006..... 21

Abbildung 22: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0. 22

Abbildung 23: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt0..... 22

Abbildung 24: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50. 23

Abbildung 25: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt50..... 23

Abbildung 26: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [Tage] und signifikanter Trends [Tage pro Dekade] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhe von November bis April zwischen 1973 und 2006..... 24

Abbildung 27: Langjährige Zeitreihen der Wintertemperaturen an der Station Badgastein-Böckstein..... 25

Abbildung 28: Klimatologische Mittelwerte der saisonalen und jährlichen Temperatur [°C] zwischen 1971 und 2006..... 27

Abbildung 29: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Temperatur [°C pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006..... 28

Abbildung 30: Klimatologische Mittelwerte jährlichen Heizgradtage [hgt] zwischen 1971 und 2006..... 29

Abbildung 31: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Heizgradtage [hgt pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006..... 29

Abbildung 32: Klimatologische Mittelwerte des saisonalen und jährlichen Niederschlags [mm/Monat] zwischen 1971 und 2006..... 30

Abbildung 33: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade des Niederschlags [mm/Monat pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006..... 31

Abbildung 34: Klimatologische Mittelwerte der saisonalen und jährlichen Niederschlagsfrequenz [Tage/Monat] zwischen 1971 und 2006..... 33

Abbildung 35: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Niederschlagsfrequenz [Tage/Monat pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006..... 34

Abbildung 36: Klimatologische Mittelwerte der saisonalen und jährlichen Starkniederschlagstage [Tage/Monat] zwischen 1971 und 2006..... 36

Abbildung 37: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Starkniederschlagstage [Tage/Monat pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006..... 37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der in den Analysen verwendeten Parameter8



Abstract

Der Einfluss von Wetter und Klima auf verschiedene Sektoren der Wirtschaft ist unbestritten. Bekannte wetter- und klimasensitive Bereiche in Österreich sind etwa die Landwirtschaft, der Tourismus oder der Energiesektor. Die Analyse von historischen Klimabedingungen und deren Auswirkungen kann dabei helfen Zusammenhänge zu erkennen, Risikogebiete auszuweisen und Anpassungsstrategien zu entwickeln. In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine klimatologische Untersuchung des EWCR-Wetterdatensatzes, welcher zum Ziel hat, eine Untersuchung von Wetter-Wirtschafts-Interaktionen zu erleichtern. Einerseits werden wintersport-relevante Klimaparameter (inkl. Kunstschneeindizes) für jene Seehöhen ausgewiesen, in denen alpiner Schisport betrieben wird. Andererseits enthält der Datensatz ausgewählte Wetter- und Klimaindikatoren auf Gemeindeebene, wobei die Bedingungen für die Gemeindehauptorte (Seehöhe, geographische Lage) und damit jene Punkte ausgewiesen werden, in denen der Schwerpunkt der wirtschaftlichen Aktivitäten stattfindet.

1 Einleitung

Der Einfluss von Wetter und Klima auf verschiedene Sektoren der Wirtschaft ist unbestritten. Bekannte wetter- und klimasensitive Bereiche in Österreich sind etwa die Landwirtschaft (siehe etwa Alexandrov et al. 2002, Heinrich 2008), der Tourismus (siehe etwa Prettenhaler et al. 2008) oder der Energiesektor. Für den letztgenannten bestehen Abhängigkeiten vor allem beim Heiz- und Kühlenergiebedarf (siehe etwa Prettenhaler et al. 2008) und der Wasserkraftproduktion (siehe etwa Prettenhaler et al. 2006, Töglhofer 2007). Die Analyse von historischen Klimabedingungen und deren Auswirkungen kann dabei helfen Zusammenhänge zu erkennen, Risikogebiete auszuweisen und Anpassungsstrategien zu entwickeln.

In Abschnitt 3.1 der vorliegenden Arbeit werden vor allem wintersport-relevante Klimaparameter untersucht. Dabei werden lokale Schneeeindizes erstmals exakt für jene Seehöhen ausgewiesen, in denen in den Wintersportgebieten alpiner Schisport betrieben wird. Ebenfalls werden die klimatologischen Bedingungen der Kunstschneeproduktion näher analysiert.

Abschnitt 3.2 untersucht die klimatologischen Charakteristika ausgewählter Wetter- und Klimaindikatoren auf Gemeindeebene. Das Besondere an diesen Auswertungen ist, dass für die einzelnen Gemeinden die Bedingungen für die Gemeindehauptorte (Seehöhe, geographische Lage) ausgewiesen werden. Dadurch wird sichergestellt, dass in diesem Datensatz die Bedingungen für jene Ortsteile dargestellt werden, wo ein Großteil der wirtschaftlichen Aktivitäten stattfindet (Siedlungsschwerpunkt etc.), und so eine Untersuchung von Wetter-Wirtschafts-Interaktionen erleichtert wird.

2 Daten und Methodik

2.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND DATEN

Im Zuge der klimatologischen Analysen in EWCR I werden meteorologische Parameter auf verschiedenen räumlichen Skalen untersucht. Einerseits geschieht dies auf der Gemeindeebene mit 2379 österreichische Gemeinden (siehe Abb. 1a), andererseits punktuell für 202 ausgewählte österreichische Schigebiete (Abb. 1b).

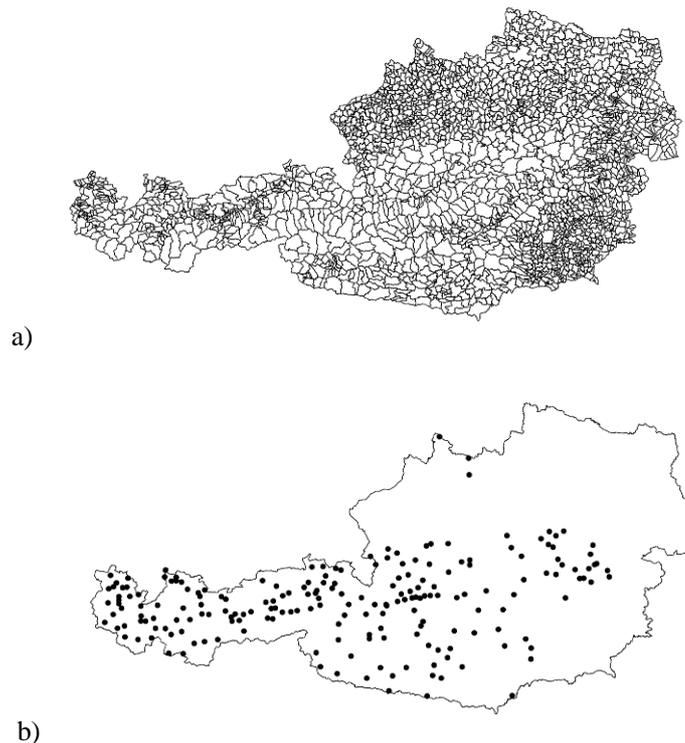


Abbildung 1: Räumliche Auflösung der vorhandenen Klimadaten in EWCR I. Oben (a): 2379 Gemeinden auf dem österreichischen Bundesgebiet. Unten (b): 202 Schigebiete in Österreich.

Für die gemeindespezifischen Analysen werden die in Tab.1 aufgelisteten klimatologischen Parameter saisonal (Winter: DJF, Frühling: MAM, Sommer: JJA, Herbst: SON) und auf Jahresbasis ausgewertet. Die Untersuchungen in den Schigebiete fokussieren auf jene für den Wintertourismus vorrangigen Parameter (in Tab 1 mit (2) gekennzeichnet), die für die Wintersaison von November bis April (NDJFMA) betrachtet werden. Genauere Beschreibungen der einzelnen Parameter sind in Abschnitt 3 zu finden.

Abkürzung

tmit (1,2)

schnee_mit (2)

Kurzbeschreibung [Einheit]

Mittel der bodennahen Temperatur (2m über dem Erdboden) [°C]

Mittlere Schneehöhe [cm]

schnee_grgl1 (2)	Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe [Tage]
schnee_grgl30 (2)	Anzahl der Tage mit mindestens 30 cm Schneehöhe [Tage]
kschnee_mit (2)	Mittlere Kunstsneehöhe [cm] (Definition siehe Abschnitt 3.1.4)
kschnee_grgl1 (2)	Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstsneehöhe [Tage] (Definition siehe Abschnitt 3.1.5)
kschnee_grgl30 (2)	Anzahl der Tage mit mindestens 30 cm Kunstsneehöhe [Tage]
nied_sum (1)	Niederschlagssumme [mm/Monat]
nied_grgl1 (1)	Anzahl der Tage mit mindestens 1 mm Niederschlag [Tage/Monat]
nied_grgl10 (1)	Anzahl der Tage mit mindestens 10 mm Niederschlag [Tage/Monat]
hgt (1)	Heizgradtage [Heizgradtage] (Definition siehe Abschnitt 3.2.2)

Tabelle 1: Beschreibung der in den Analysen verwendeten Parameter. Die Ziffer in der Klammer weist auf die Verwendung des spezifischen Parameters für Analysen auf Gemeindeebene (1) oder in Schigebieten (2) hin.

Die verwendeten Daten für die Analysen stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und werden in Beck et al. (2009) näher beschrieben. Die Daten liegen auf Monatsbasis auf Gemeindeebene für den Zeitraum 1941-2006 vor, verwendet wird jedoch nur der Zeitraum für den weiterführend auch die Abhängigkeit des Wintertourismus untersucht wird; 1971 bis 2006 auf Gemeindeebene und 1973 bis 2006 für die Schigebiete. Bei den Schigebieten kommt die Unterteilung der Daten in zwei Höhenregionen (alt0 und alt50) hinzu. Hierbei bezeichnet alt0 die geringste Seehöhe des Schigebietes (tiefstgelegene Talstation), alt50 die für die Schigebiete repräsentativen mittlere Höhenlagen (gewichtet mit den mittlere Seehöhe der Seilbahnen). Für eine detaillierte Beschreibung siehe hierzu auch Töglhofer und Prettenhaler (2009).

2.2 METHODEN

Neben der Analyse der klimatologischen Mittelwerte und Standardabweichungen, werden auch lineare Trends geschätzt. Diese linearen Modelle beschreiben die Stärke und Richtung der zeitlichen Entwicklung der betrachteten Zeitreihe. Zusätzlich zu der üblichen Trend-Schätzmethode der kleinsten Fehlerquadrate (ordinary least squares, OLS), wird die verteilungsunabhängigen Methode nach Kendall-Theil, [Helsel und Hirsch, 2002] angewendet, um robust gegen Verletzungen der Grundannahmen (normalverteilte Parameter) einer mittels OLS geschätzten linearen Regression zu sein. Hierfür werden für alle möglichen Wertepaare die Steigungen errechnet und schließlich deren Median als Gesamtsteigung der Trendgeraden angegeben. Die Signifikanz von Trends wird mittels der verteilungsfreien Methode nach Mann-Kendall [Rapp, 2000] auf dem 5% Signifikanzniveau bestimmt.

3 Resultate

In diesem Kapitel wird eine Auswahl der Untersuchungsergebnisse der beschriebenen Analysen gezeigt. Diese können auch unter www.klimarisiko.at nachgeschlagen werden.

Die Parameter `kschnee_grgl30` sowie `schnee_grgl30` werden nicht weiter analysiert, da sich diese mithilfe des Schneemodells errechneten Werte als kritisch bezüglich ihrer Variabilität herausgestellt haben. Vor allem für Schigebiete in geringen Seehöhen werden oft lange Perioden mit nur 0 oder 1 Tagen über 30 cm ausgewiesen, mit wenigen Jahren mit extremen Ausreißern von bis zu 60 Tagen. Dies stimmt nicht unbedingt mit den Beobachtungen an den Stationen überein. Grund dafür ist laut Auskunft des Betreibers des Schneemodells (Dr. Schöner, ZAMG), dass bei höheren Schneehöhen Grenzwerten ein Bias des verwendeten Schneemodells stärkere Auswirkungen auf die Variabilität der Daten haben kann, und daher geringere Grenzwerte (z.B. 1 cm) für empirische Untersuchungen der Wettersensitivität besser geeignet zu sein scheinen.

Alle gezeigten linearen Trends zeigen Resultate von OLS geschätzten Trendgeraden, da auch bei „kritischen“, eher nicht-normalverteilten Parametern wie Niederschlag oder Anzahl der Schneetage, keine nennenswerten Unterschiede der räumliche Trendmuster oder der Trendstärken zur Methode nach Kendall-Theil aufgetreten sind.

3.1 SCHIGEBIETE

3.1.1 Temperatur

Im Folgenden werden für den Parameter Temperatur saisonale Mittelwerte [°C], Standardabweichungen [°C] sowie signifikante saisonale Trends [°C pro Dekade] für die für den Wintertourismus wichtigen Monate November bis April dargestellt. Die verwendeten Daten beziehen sich entweder auf die Seehöhe der Talstationen (`alt0`), oder die mittleren Seehöhen der Schigebiete (`alt50`) von 202 ausgewählten Schigebieten in Österreich und den Zeitraum 1973 bis 2006. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert. Die Größe der Standardabweichung ist proportional zum Radius des grauen Kreises um das jeweilige Schigebiet.

Zusätzlich werden die Ergebnisse in Höhenklassen eingeteilt mittels Box-Whiskey Diagramme beschrieben. Für `alt0` werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter eingeteilt. Für `alt50` gelten die Grenzen für die Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. Die Klassengrenzen wurden so gewählt, dass die Häufigkeit pro Klasse etwa gleich ist.

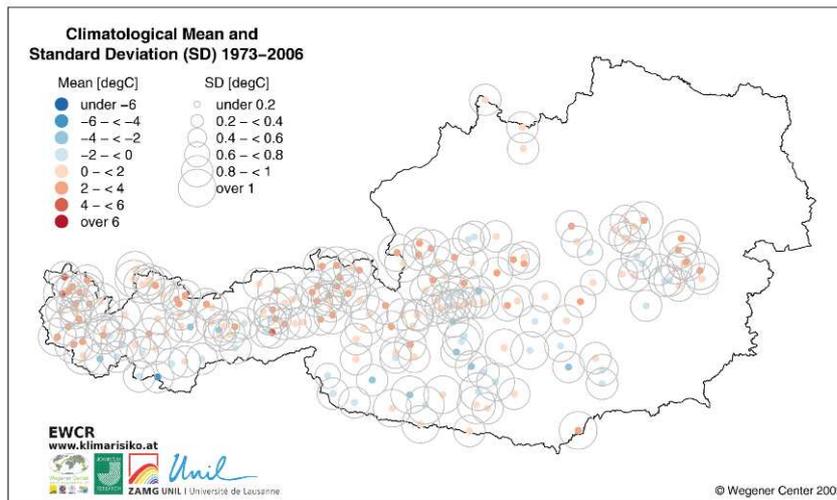


Abbildung 2: Klimatologische Mittelwerte [°C] und Standardabweichungen [°C] der Temperaturen 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt0.

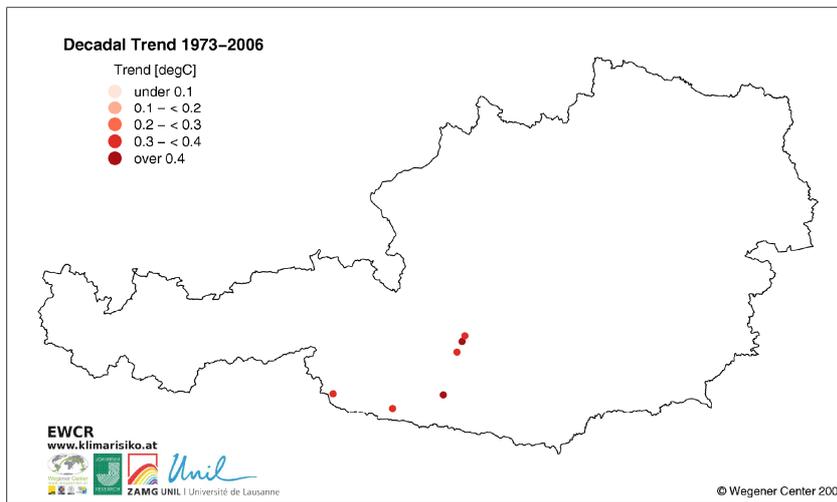


Abbildung 3: Signifikante dekadische Trends [°C pro Dekade] der Mitteltemperaturen 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt0.

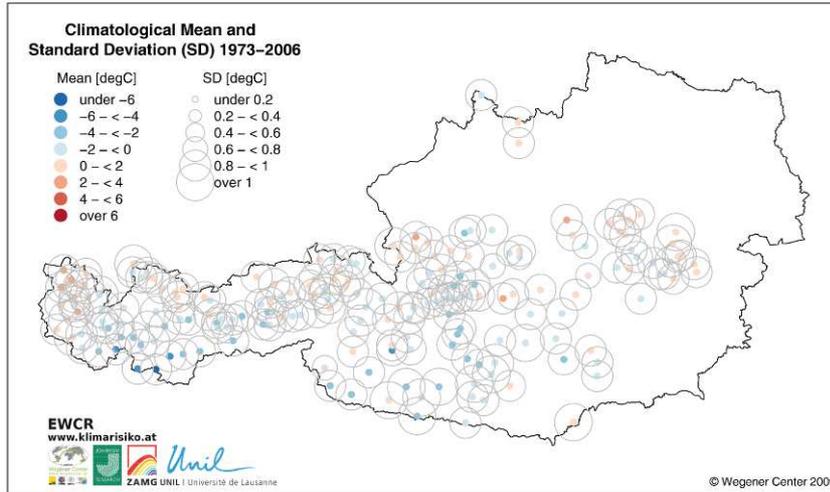


Abbildung 4: Klimatologische Mittelwert [°C] und Standardabweichung [°C] der Temperatur 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt50.

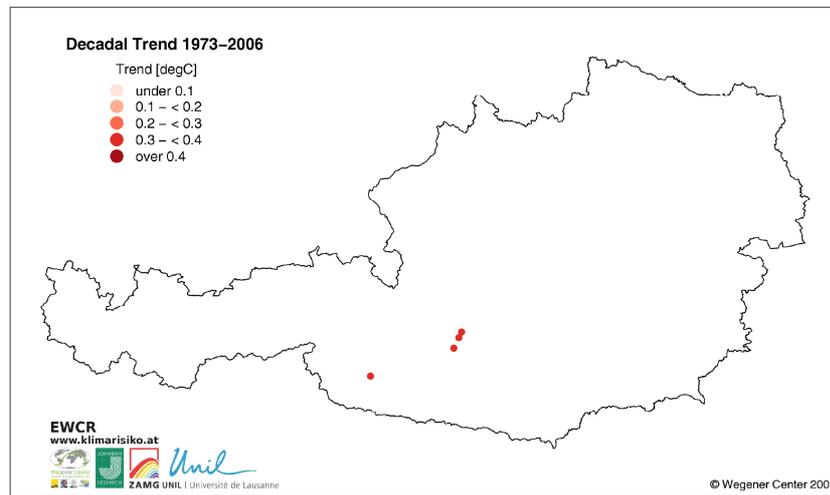
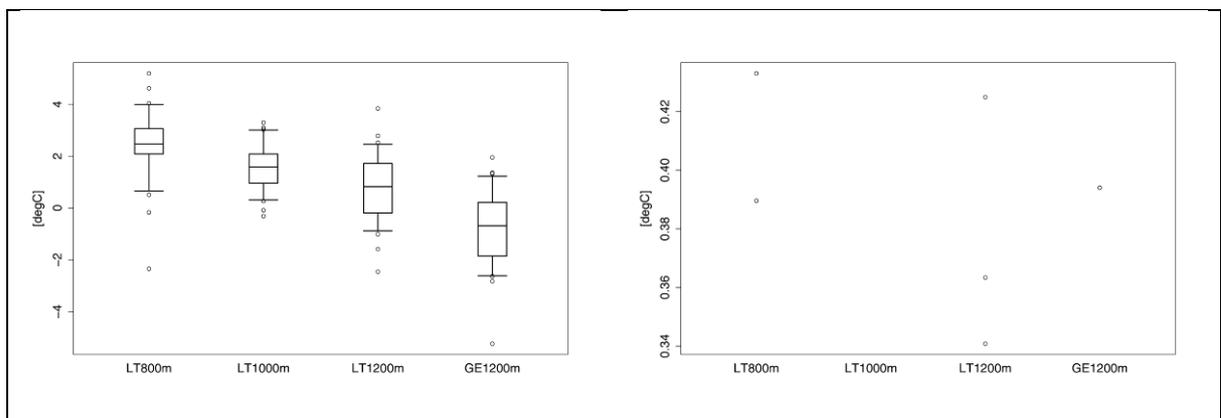


Abbildung 5: Signifikante dekadische Trends [°C pro Dekade] der Mitteltemperaturen 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt50.



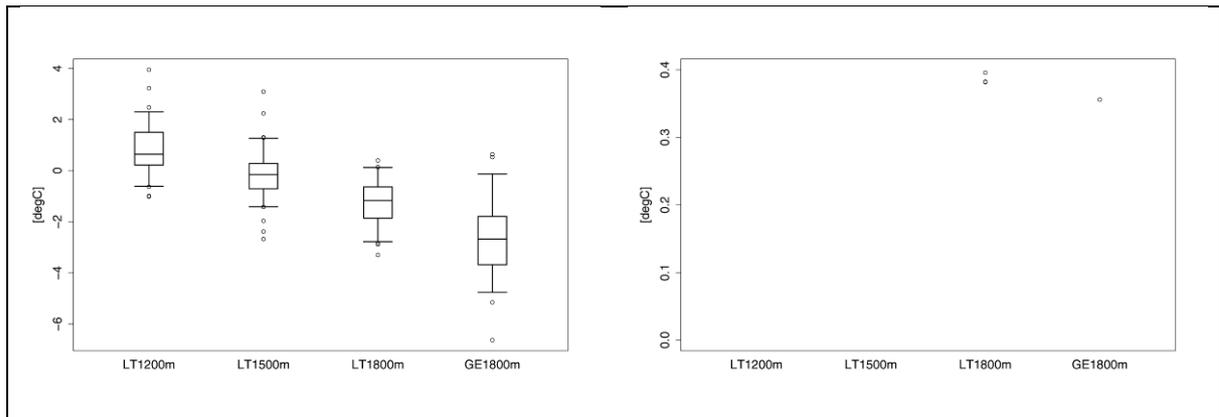


Abbildung 6: Höhenabhängigkeit von klimatologischen Mittelwerten [°C] und signifikanten Trends [°C pro Dekade] der Mitteltemperaturen von November bis April zwischen 1973 und 2006. Obere Zeile zeigt die Werte für alt0, untere Zeile jene für alt50. Die linke Graphik beschreibt den Mittelwert, die rechte den Trend. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter eingeteilt. Für alt50 gelten die Grenzen für die Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. LT entspricht niedriger als, GE entspricht größer gleich. Mindestens 5 Werte pro Klasse müssen vorliegen, um eine vollständige Abbildung der 5%, 25%, 50%, 75% und 95% Quantilen als horizontale Linien (Whiskers) darzustellen. Werte kleiner als die 5% Quantile oder größer als die 95% Quantile werden als Kreise außerhalb der Whiskers dargestellt.

3.1.2 Mittlere Schneehöhen

Im Folgenden werden für den Parameter Schneehöhe saisonale Mittelwerte [cm], Standardabweichung [cm] sowie signifikante saisonale Trends [cm pro Dekade] für die für den Wintertourismus wichtigen Monate November bis April dargestellt. Die verwendeten Daten beziehen sich entweder auf die Seehöhe der Talstationen (alt0), oder die mittleren Seehöhen der Schigebiete (alt50) von 202 ausgewählten Schigebieten in Österreich und den Zeitraum 1973 bis 2006. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert. Die Größe der Standardabweichung ist proportional zum Radius des grauen Kreises um das jeweilige Schigebiet.

Zusätzlich werden die Ergebnisse in Höhenklassen eingeteilt mittels Box-Whisker Diagramme beschrieben. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter. Für alt50 gelten die Grenzen für die vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. Die Klassengrenzen wurden so gewählt, dass die Häufigkeit pro Klasse etwa gleich ist.

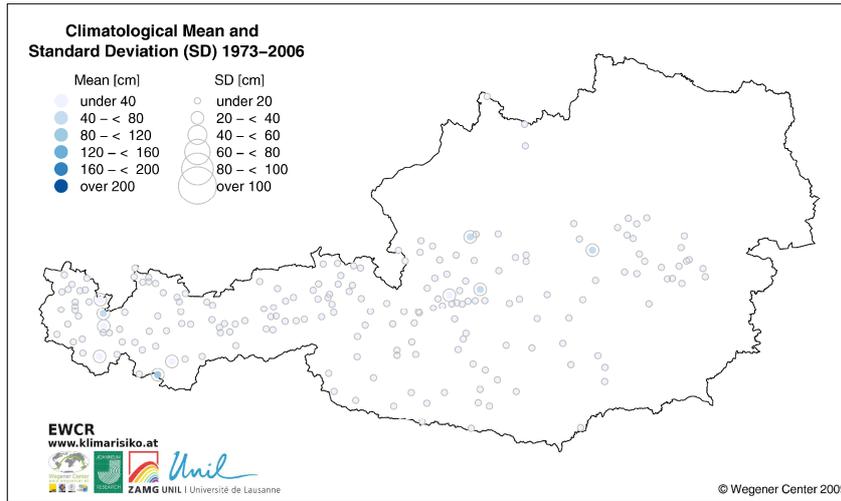


Abbildung 7: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.

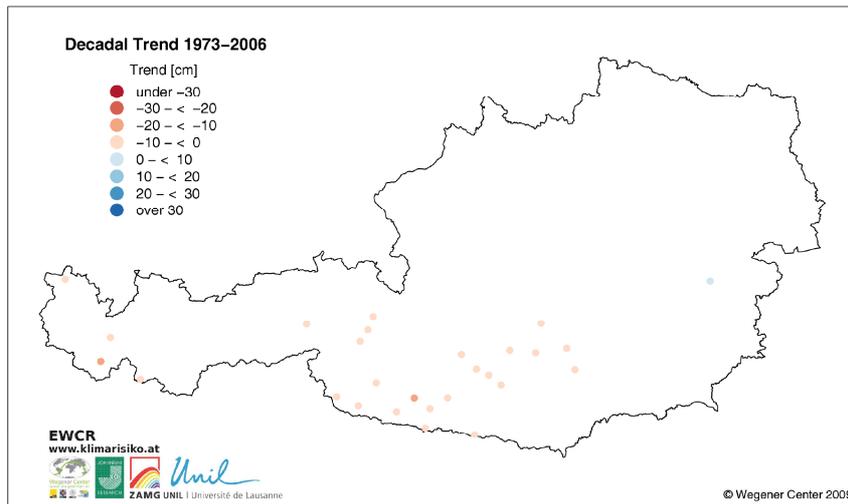


Abbildung 8: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Schneehöhen 1973-2006 zwischen November und April berechnet für alt0.

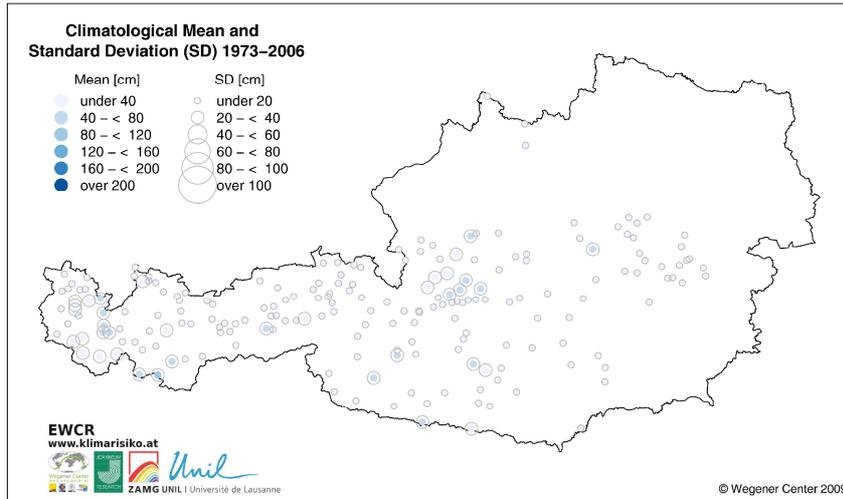


Abbildung 9: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.

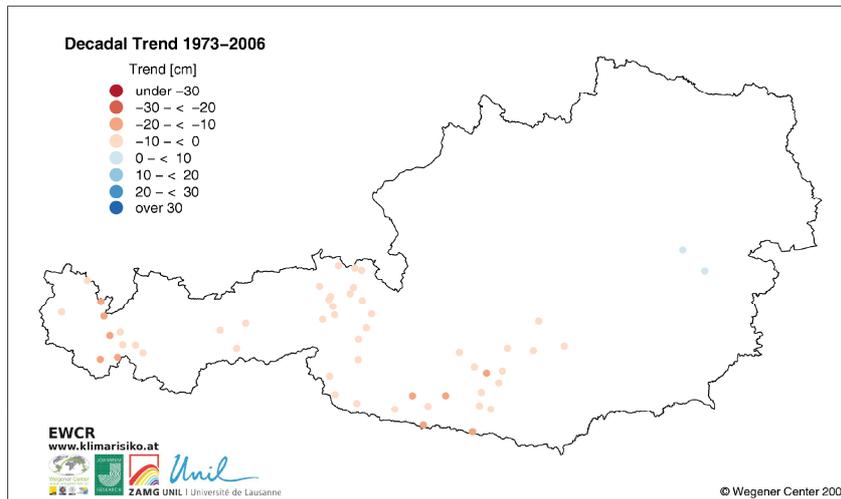
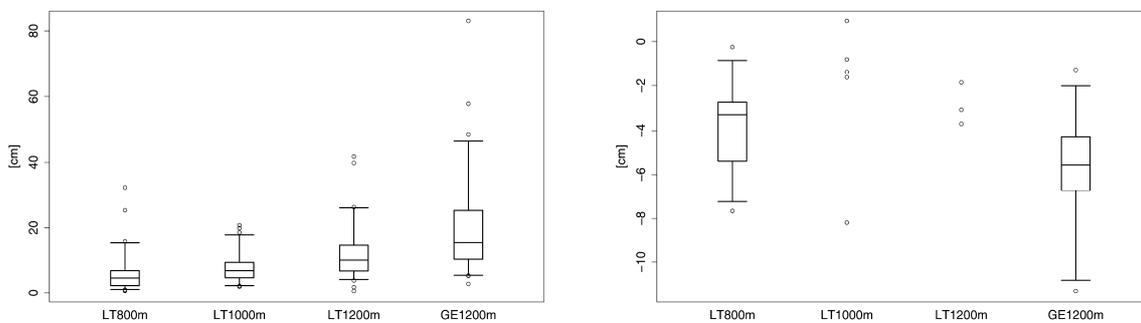


Abbildung 10: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Schneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt50.



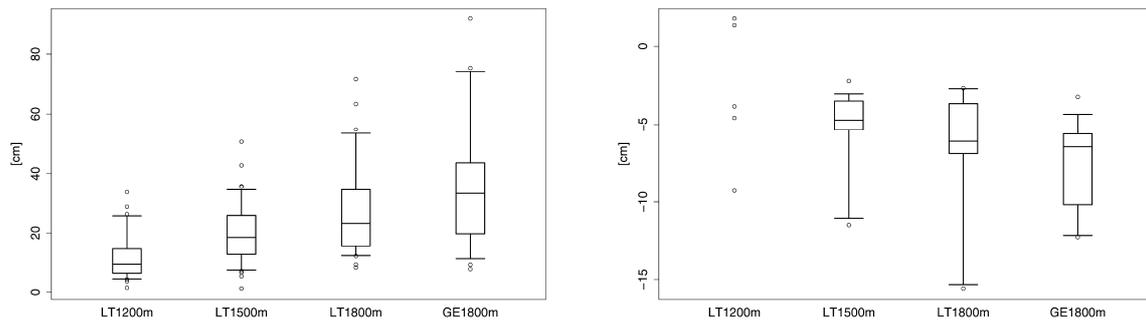


Abbildung 11: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [cm] und signifikanter Trends [cm pro Dekade] der mittleren Schneehöhen von November bis April zwischen 1973 und 2006. Obere Zeile zeigt die Werte für alt0, untere Zeile jene für alt50. Die linke Graphik beschreibt den Mittelwert, die rechte den Trend. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter eingeteilt. Für alt50 gelten die Grenzen für die Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. LT entspricht niedriger als, GE entspricht größer gleich. Mindestens 5 Werte pro Klasse müssen vorliegen, um eine vollständige Abbildung der 5%, 25%, 50%, 75% und 95% Quantilen als horizontale Linien (Whiskers) darzustellen. Werte kleiner als die 5% Quantile oder größer als die 95% Quantile werden als Kreise außerhalb der Whiskers dargestellt.

3.1.3 Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe

Im Folgenden werden für den Parameter Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe saisonale Mittelwerte [Tage], Standardabweichung [Tage] sowie signifikante saisonale Trends [Tage pro Dekade] für die für den Wintertourismus wichtigen Monate November bis April dargestellt. Die verwendeten Daten beziehen sich entweder auf die Seehöhe der Talstationen (alt0), oder die mittleren Seehöhen der Schigebiete (alt50) von 202 ausgewählten Schigebieten in Österreich und den Zeitraum 1973 bis 2006. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert. Die Größe der Standardabweichung ist proportional zum Radius des grauen Kreises um das jeweilige Schigebiet. Zusätzlich werden die Ergebnisse in Höhenklassen eingeteilt mittels Box-Whisker Graphiken beschrieben. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter. Für alt50 gelten die Grenzen für die vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. Die Klassengrenzen wurden so gewählt, dass die Häufigkeit pro Klasse etwa gleich ist.

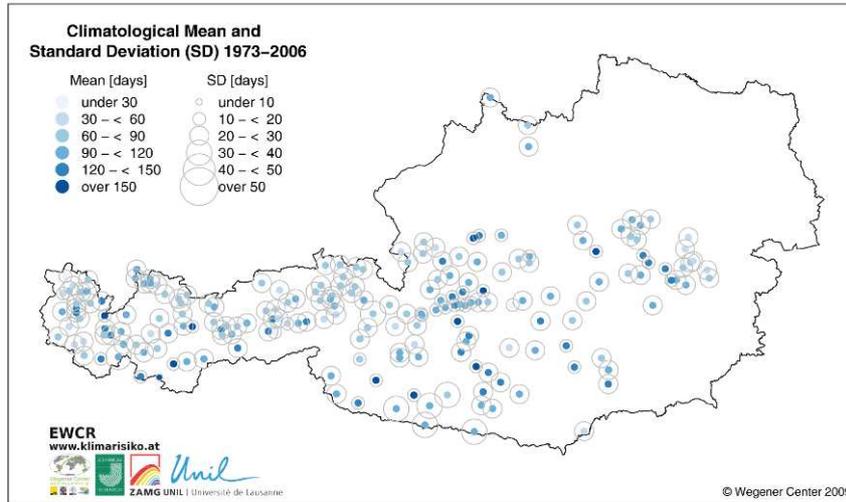


Abbildung 12: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.

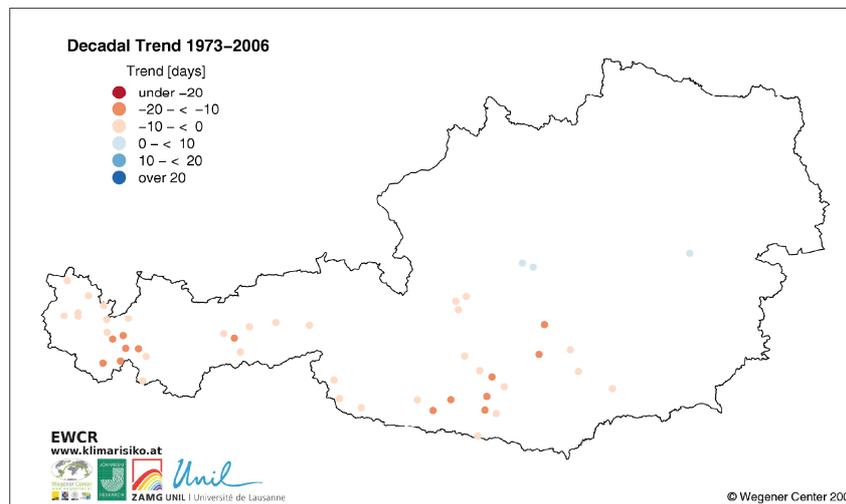


Abbildung 13: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.

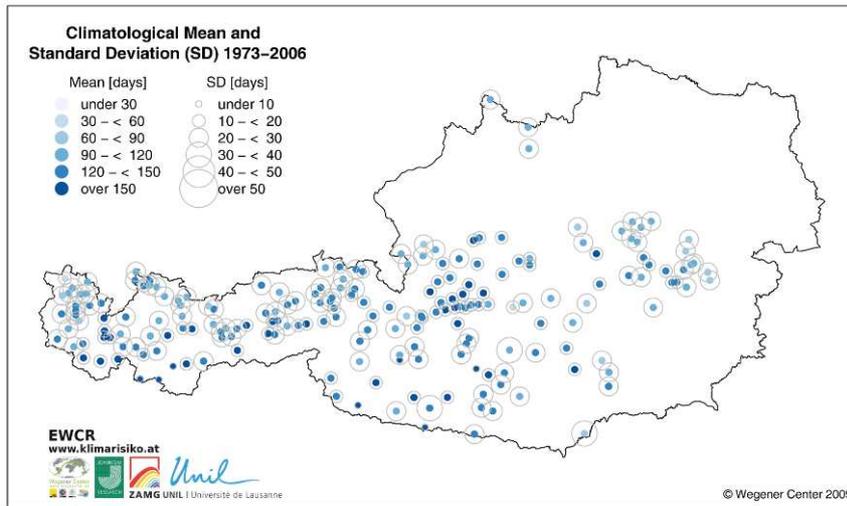


Abbildung 14: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.

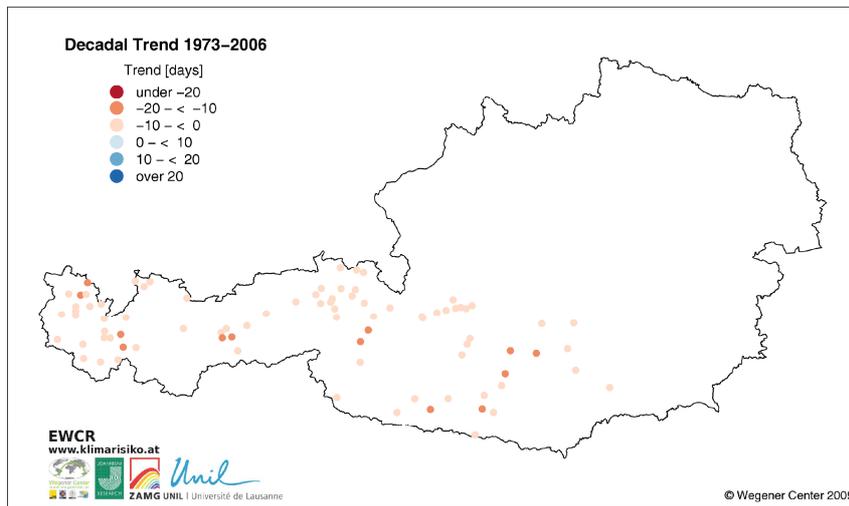
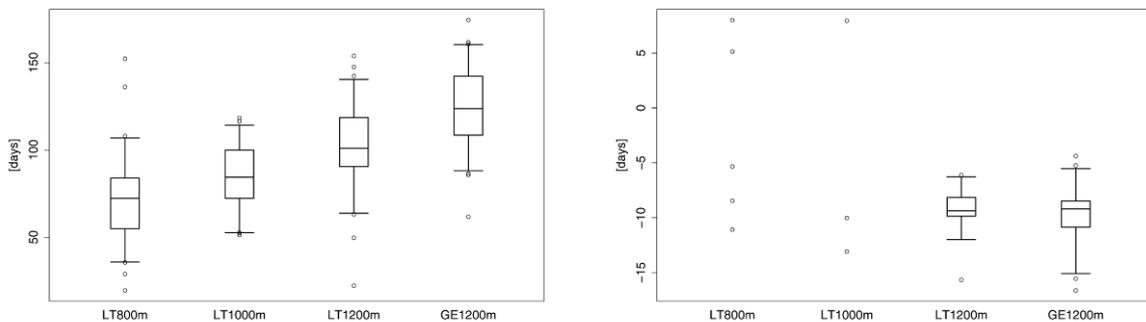


Abbildung 15: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.



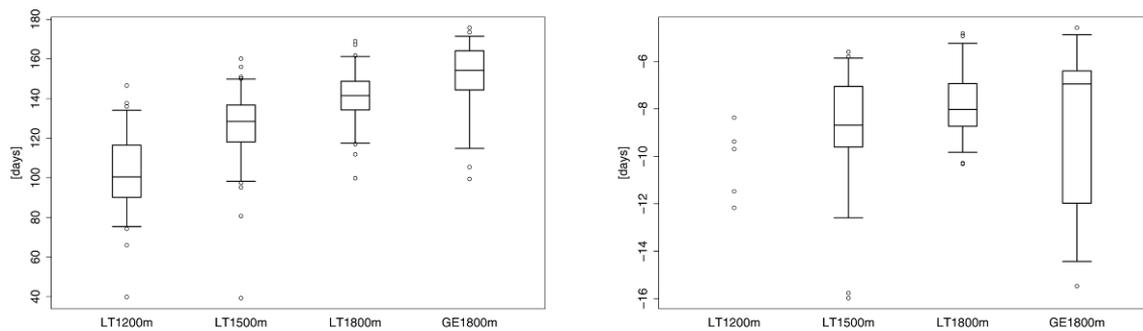


Abbildung 16: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [Tage] und signifikanter Trends [Tage pro Dekade] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe von November bis April zwischen 1973 und 2006. Obere Zeile zeigt die Werte für alt0, untere Zeile jene für alt50. Die linke Graphik beschreibt den Mittelwert, die rechte den Trend. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter eingeteilt. Für alt50 gelten die Grenzen für die Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. LT entspricht niedriger als, GE entspricht größer gleich. Mindestens 5 Werte pro Klasse müssen vorliegen, um eine vollständige Abbildung der 5%, 25%, 50%, 75% und 95% Quantilen als horizontale Linien (Whiskers) darzustellen. Werte kleiner als die 5% Quantile oder größer als die 95% Quantile werden als Kreise außerhalb der Whiskers dargestellt.

3.1.4 Mittlere Kunstsneehöhen

Im Folgenden werden für den Parameter Kunstsneehöhe saisonale Mittelwerte [cm], Standardabweichung [cm] sowie signifikante saisonale Trends [cm pro Dekade] für die für den Wintertourismus wichtigen Monate November bis April dargestellt. Die verwendeten Daten beziehen sich entweder auf die Seehöhe der Talstationen (alt0), oder die mittleren Seehöhen der Schigebiete (alt50) von 202 ausgewählten Schigebieten in Österreich und den Zeitraum 1973 bis 2006. Die Größe der Standardabweichung ist proportional zum Radius des grauen Kreises um das jeweilige Schigebiet. Zusätzlich werden die Ergebnisse in Höhenklassen eingeteilt mittels Box-Whisker Graphiken beschrieben. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter. Für alt50 gelten die Grenzen für die vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. Die Klassengrenzen wurden so gewählt, dass die Häufigkeit pro Klasse etwa gleich ist.

Kunstsnee in den Monaten November bis April ergibt sich aus der Summe des Naturschnees und einer angenommenen Beschneigung wenn die aktuelle Tagesmitteltemperatur kleiner als -2°C und die Schneehöhe vom Vortag kleiner als 50 cm ist. In solchen Fällen wird zum gemessenen Natursnee 6 cm künstlicher Neuschnee mit einer Schneedichte von 523g/l hinzugefügt. Diese Definition erfolgt in Anlehnung an Steiger und Mayer (2008).

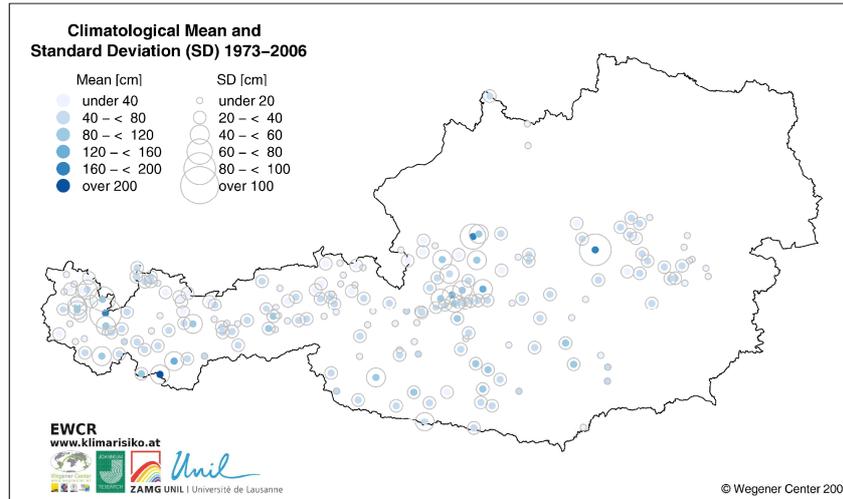


Abbildung 17: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Kunstsneehöhe 1973–2006 zwischen November und April für alt0.

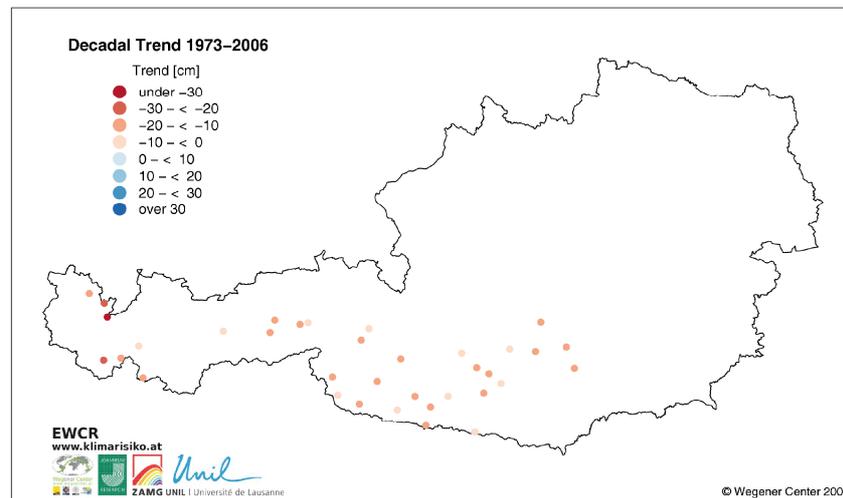


Abbildung 18: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Kunstsneehöhen 1973–2006 zwischen November und April für alt0.

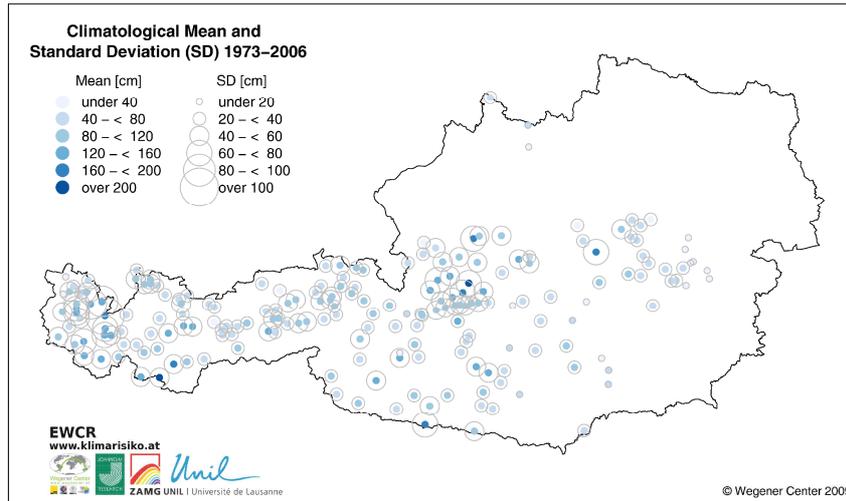


Abbildung 19: Klimatologische Mittelwerte [cm] und Standardabweichungen [cm] der Kunstsneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.

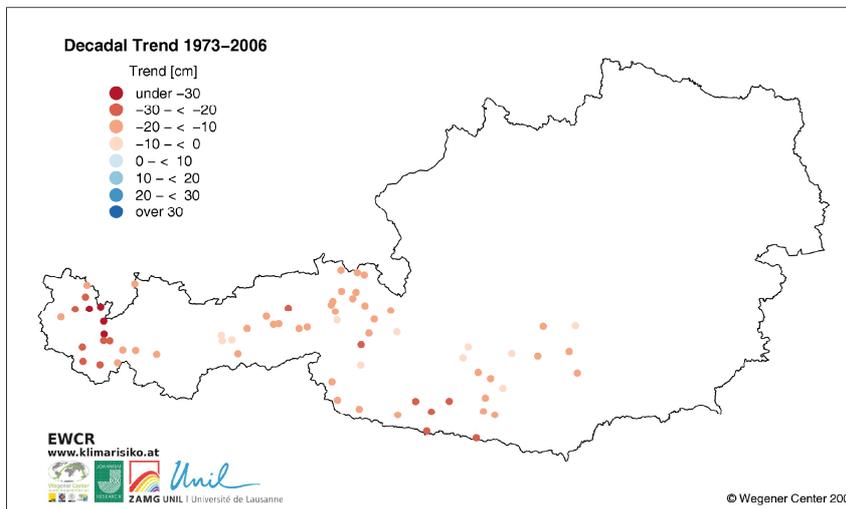
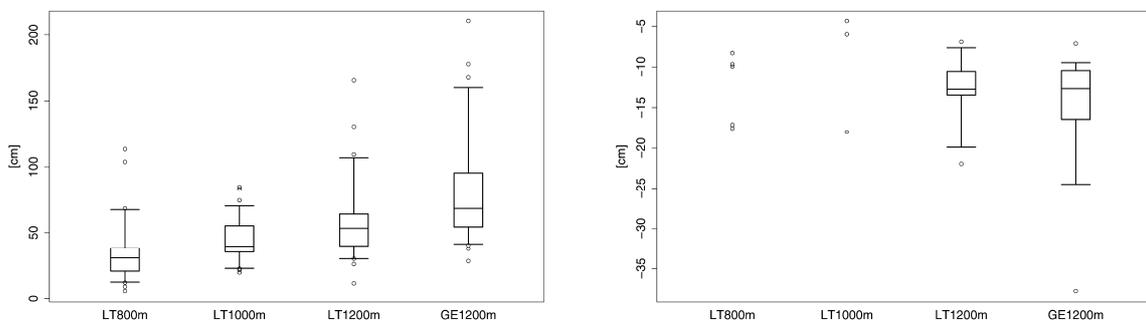


Abbildung 20: Signifikante dekadische Trends [cm pro Dekade] der mittleren Kunstsneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt50.



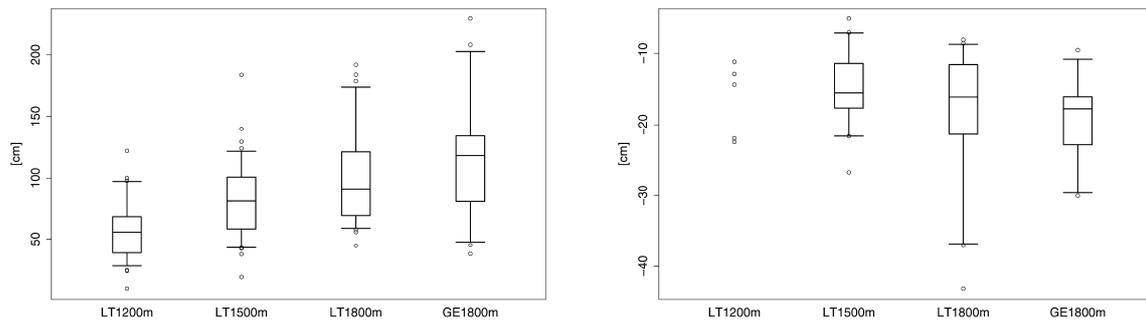


Abbildung 21: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [cm] und signifikanter Trends [cm pro Dekade] der mittleren Kunstsneehöhen von November bis April zwischen 1973 und 2006. Obere Zeile zeigt die Werte für alt0, untere Zeile jene für alt50. Die linke Graphik beschreibt den Mittelwert, die rechte den Trend. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter eingeteilt. Für alt50 gelten die Grenzen für die Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. LT entspricht niedriger als, GE entspricht größer gleich. Mindestens 5 Werte pro Klasse müssen vorliegen, um eine vollständige Abbildung der 5%, 25%, 50%, 75% und 95% Quantilen als horizontale Linien (Whiskers) darzustellen. Werte kleiner als die 5% Quantile oder größer als die 95% Quantile werden als Kreise außerhalb der Whiskers dargestellt.

3.1.5 Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstsneehöhe

Im Folgenden werden für den Parameter Tage mit mindestens 1 cm Kunstsneehöhe saisonale Mittelwerte [Tage], Standardabweichung [Tage] sowie signifikante saisonale Trends [Tage pro Dekade] für die für den Wintertourismus wichtigen Monate November bis April dargestellt. Die verwendeten Daten beziehen sich entweder auf die Seehöhe der Talstationen (alt0), oder die mittleren Seehöhen der Schigebiete (alt50) von 202 ausgewählten Schigebieten in Österreich und den Zeitraum 1973 bis 2006. Die Größe der Standardabweichung ist proportional zum Radius des grauen Kreises um das jeweilige Schigebiet.

Zusätzlich werden die Ergebnisse in Höhenklassen eingeteilt mittels Box-Whisker Graphiken beschrieben. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter. Für alt50 gelten die Grenzen für die vier Seehöhenklassen von 0 bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. Die Klassengrenzen wurden so gewählt, dass die Häufigkeit pro Klasse etwa gleich ist.

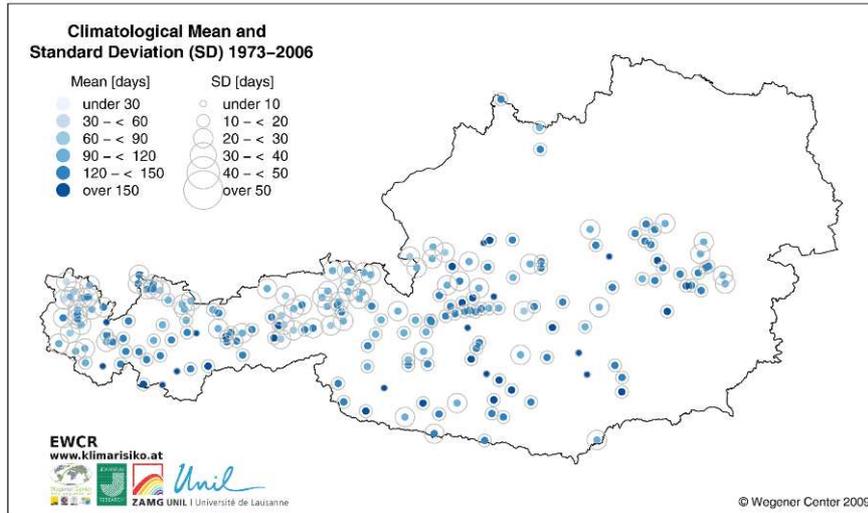


Abbildung 22: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt0.

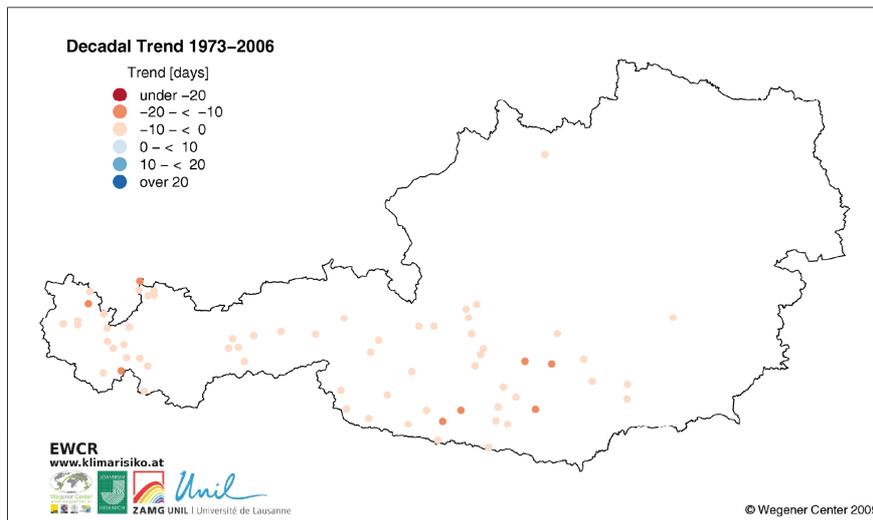


Abbildung 23: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt0.

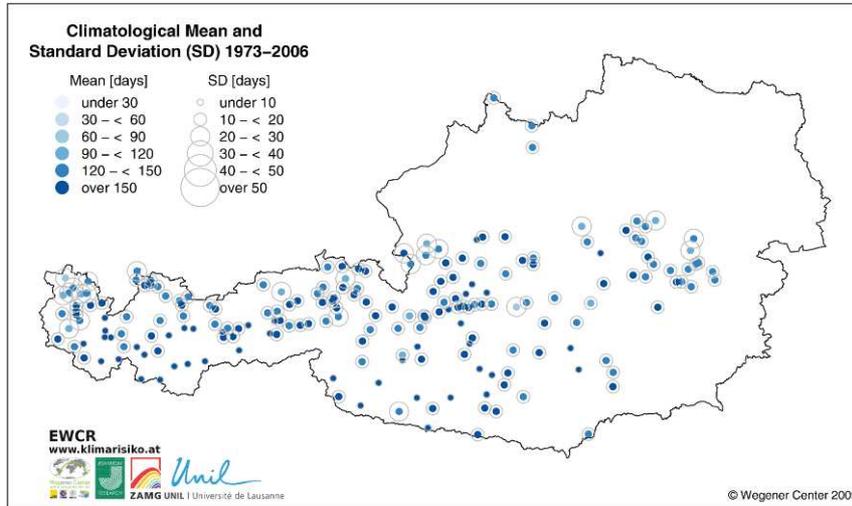


Abbildung 24: Klimatologische Mittelwerte [Tage] und Standardabweichungen [Tage] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhe 1973-2006 zwischen November und April für alt50.

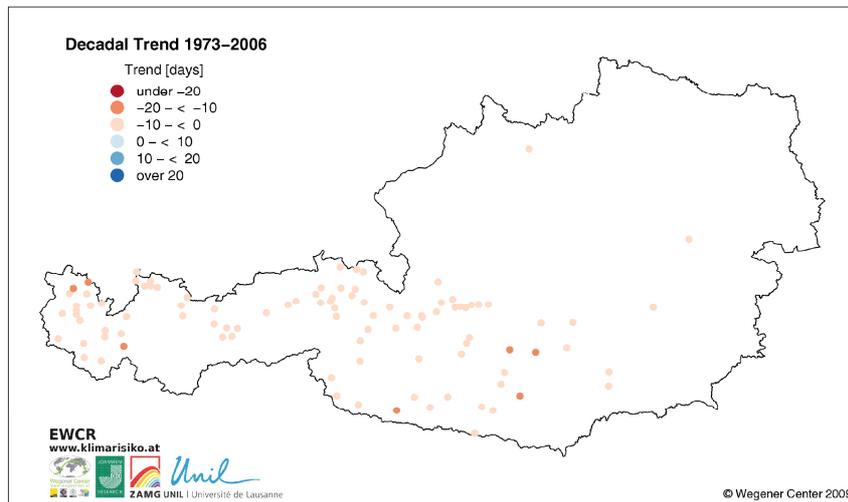
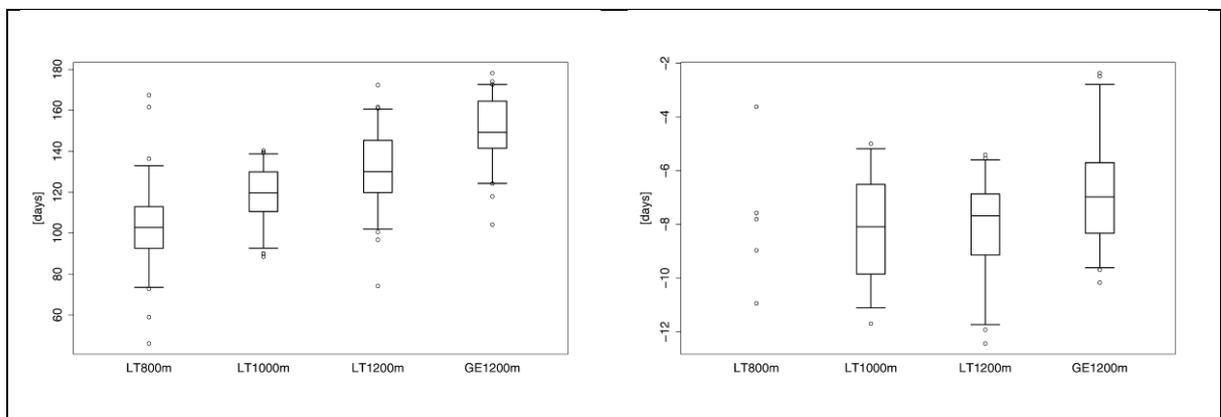


Abbildung 25: Signifikante dekadische Trends [Tage pro Dekade] der mittleren Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhen 1973-2006 zwischen November und April für alt50.



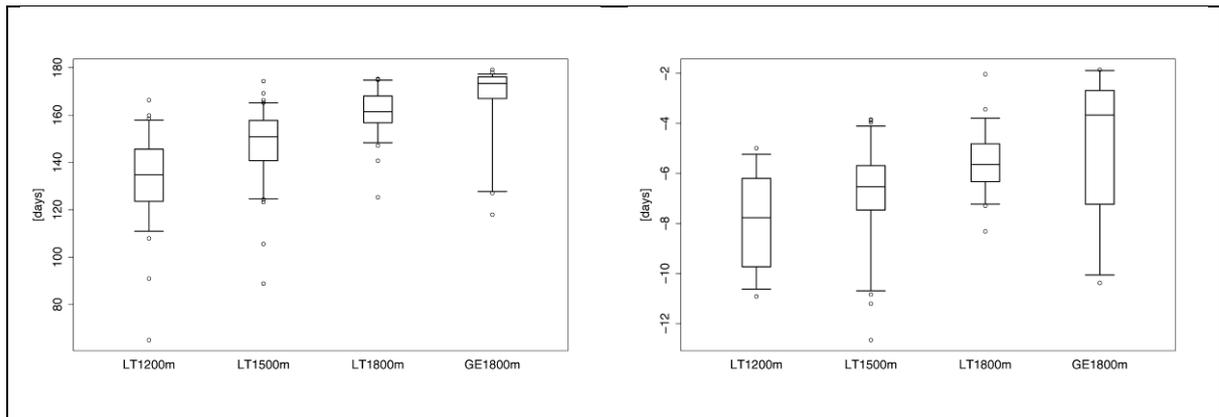


Abbildung 26: Höhenabhängigkeit der klimatologischen Mittelwerte [Tage] und signifikanter Trends [Tage pro Dekade] der Anzahl der Tage mit mindestens 1 cm Kunstschneehöhe von November bis April zwischen 1973 und 2006. Obere Zeile zeigt die Werte für alt0, untere Zeile jene für alt50. Die linke Graphik beschreibt den Mittelwert, die rechte den Trend. Für alt0 werden die Schigebiete in vier Seehöhenklassen von 0 m bis < 800 m, 800 m bis < 1000 m, 1000 m bis < 1200 m und größer gleich 1200 Meter eingeteilt. Für alt50 gelten die Grenzen für die Seehöhenklassen von 0 m bis < 1200 m, 1200 m bis < 1500 m, 1500 m bis < 1800 m und größer gleich 1800 Meter. LT entspricht niedriger als, GE entspricht größer gleich. Mindestens 5 Werte pro Klasse müssen vorliegen, um eine vollständige Abbildung der 5%, 25%, 50%, 75% und 95% Quantilen als horizontale Linien (Whiskers) darzustellen. Werte kleiner als die 5% Quantile oder größer als die 95% Quantile werden als Kreise außerhalb der Whiskers dargestellt.

3.1.6 Erkenntnisse

Die Verhältnisse der Mitteltemperaturen entsprechen der generellen Höhenabhängigkeit der Temperatur mit wärmeren Bedingungen in tieferen Lagen und entsprechend kühleren in den höheren Bereichen. Dieser Zusammenhang ist auch deutlich in den jeweiligen Box-Whisker Darstellungen zu erkennen. Auffallend ist allerdings, dass kaum signifikante Trends in den Wintertemperaturen zu finden sind. Das liegt einerseits an der Saison (alle anderen Saisonen weisen hochsignifikante positive Trends auf) und ist andererseits ein Charakteristikum der letzten Jahre. In langjährigen Zeitreihen der Wintertemperaturen sind durchaus positive Temperaturtrends zu finden. Exemplarisch ist dieser Sachverhalt in Abbildung 27 anhand der Station Badgastein-Böckstein aus dem HISTALP Datensatz (<http://www.zamg.ac.at/histalp>) dargestellt.

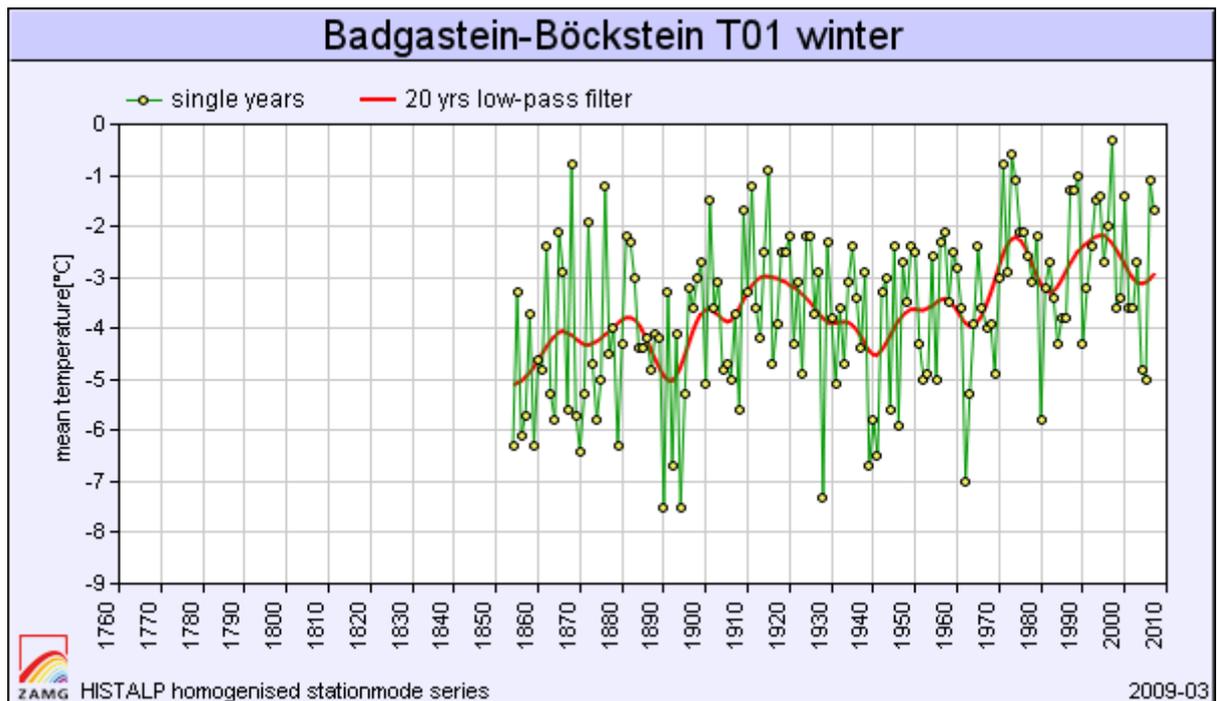


Abbildung 27: Langjährige Zeitreihen der Wintertemperaturen an der Station Badgastein-Böckstein.
Quelle: ZAMG (<http://www.zamg.ac.at/histalp>).

Bei der natürlichen Schneesituation treten die „großen“, hochgelegenen Schigebiete am Arlberg in den Ötztaler Alpen, im Gebiet der Schiwelt Amade und in Teilen Kärntens vor allem auf den mittleren Schipistenhöhen als schneesicher hervor. Diese natürliche Schneesicherheit bestätigt sich auch anhand der Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe, wobei hier das Gebiet um den Semmering/Rax hinzukommt. Die Höhenabhängigkeit der Schneesicherheit findet sich auch in den entsprechenden Box-Whisker Darstellungen. Bezüglich der Trends dieser Parameter weisen vor allem Schigebiete im Westen und Süden Österreichs (Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Kärnten) signifikant negative Entwicklungen seit 1973 auf. Im Osten Österreichs sind hingegen großteils keine signifikanten Trends festzustellen, mit Ausnahme der Ennstaler Alpen und im Gebiet Semmering/Rax, wo sich seit 1973 teils signifikant positive Entwicklungen bei den mittleren Schneehöhen und bei den Tagen mit mindest 1cm Schneedicke zeigen. Für die mittlere Schneehöhe kann auch eine negative Höhenabhängigkeit der Trends festgestellt werden, welche für die Frequenz der Schneetage auf alt50 in den Box-Whisker Diagrammen nicht erkennbar ist – hier verringern sich die negativen Trend mit zunehmender Seehöhe. Ähnlich wie bei den mittleren Naturschneebedingungen treten bei den mittleren Kunstsneehöhe die schon genannten großen Schigebiete hervor, hier auch mit einer durch die höheren Niveaus bedingten höheren Variabilität im Vergleich zu den anderen Schigebieten. Bei den Tagen mit mindestens 1 cm Kunstsnee wird für gesamt Österreich der starke Effekt der (hier sehr vereinfacht modellierten) Kunstsneenutzung aufgezeigt. Obwohl in der Untersuchungsperiode die Trends von Kunstsnee ähnlich denen des Naturschnees eine signifikante Abnahme in mittleren und südlichen sowie westlichen Teilen Österreichs aufweisen, sind diese Trends im Verhältnis zur Schneehöhe bzw. zu der Anzahl der Schneetage kleiner als beim Naturschnee. In den östlichen Regionen ergeben sich bis auf einzelne Ausnahmen, keine signifikanten Entwicklungen. Die Höhenabhängigkeit des Kunstschnees ist in der Richtung vergleichbar mit der von Naturschnee sowohl für Mittelwerte als auch im Trendverhalten.

Insgesamt lässt sich sagen, dass unter den getroffenen Annahmen zur Kunstschneeproduktion in den Schigebieten die Tage mit mindestens 1 cm Schneehöhe in tieferen Lagen im Schnitt etwa um 30 Tage gesteigert werden können, in höheren Lagen aufgrund der höheren Ausgangsbasis um etwa 20 Tage. Damit zeigt sich, dass künstliche Beschneigung bereits unter den derzeitigen technologischen Rahmenbedingungen jedenfalls als Strategie geeignet ist um den abnehmenden Trend bei den Naturschneehöhen auszugleichen. Eine weitergehende Diskussion dieses komplexen Themengebietes und Betrachtung relevanter ökonomischer, klimatologischer, ökologischer und technologischer Faktoren ist jedoch nicht als Teil dieses Projektes vorgesehen. Der vorliegende Datensatz bietet jedoch eine geeignete Ausgangsbasis für derartige Untersuchungen.

3.2 GEMEINDEN

Abbildungen 28 – 37 zeigen die klimatologischen Mittelwerte und Trends der entsprechenden Parameter auf Gemeindeebene. Im Gegensatz zu den Resultaten für die Schigebiete werden auf Gemeindeebene nicht nur signifikanten Trends sondern auch nicht signifikanten Gemeinden mit ihren dekadischen Trends dargestellt, um die räumlichen Strukturen der jeweiligen Parameter für Gesamtösterreich abbilden zu können.

3.2.1 Temperatur

Im Folgenden werden für den Parameter Temperatur saisonale und jährliche Mittelwerte [°C] sowie saisonal und jährliche Trends [°C pro Dekade] für 2379 Gemeinden in Österreich für die Periode 1971-2006 vorgestellt. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert.

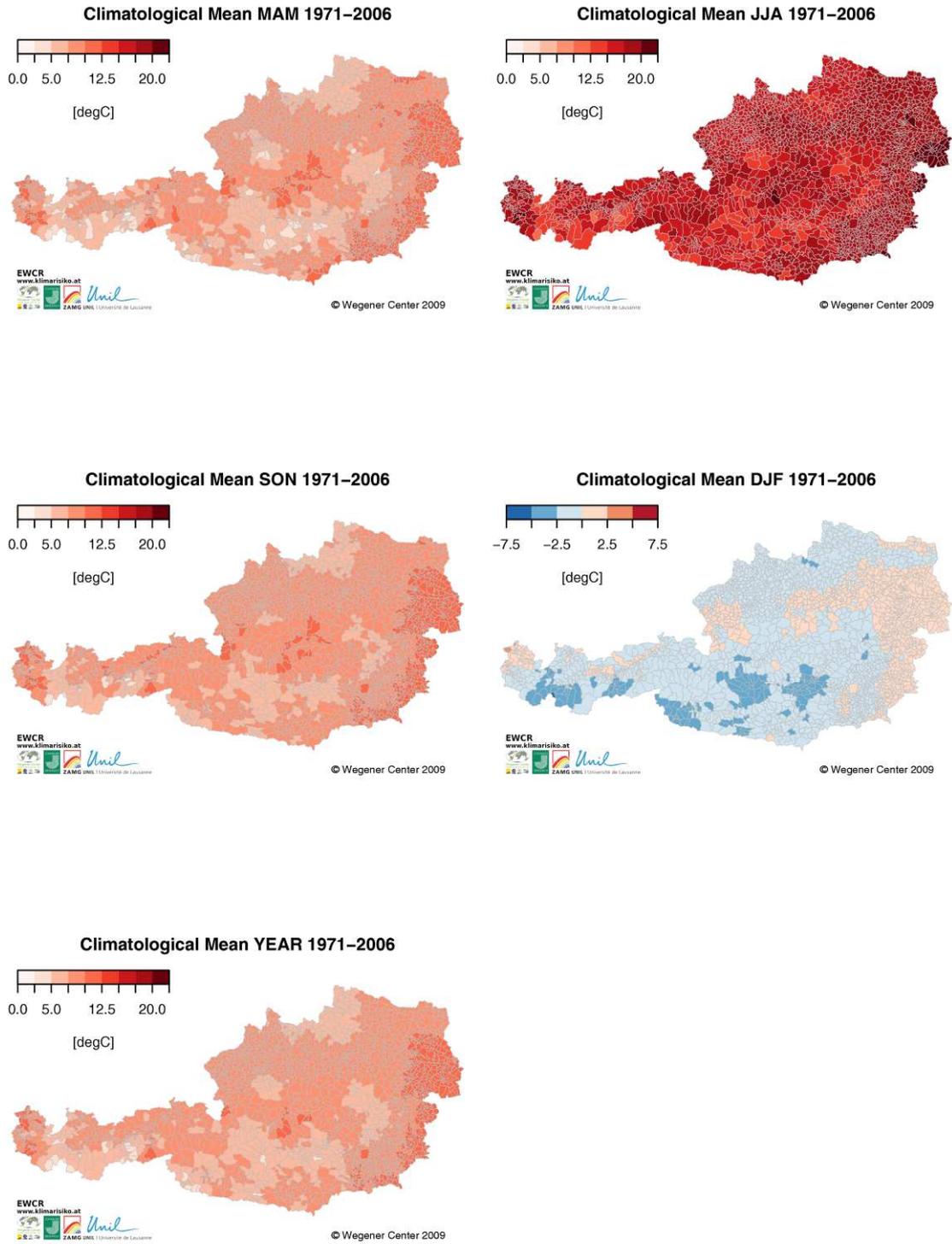


Abbildung 28: Klimatologische Mittelwerte der saisonalen und jährlichen Temperatur [°C] zwischen 1971 und 2006.

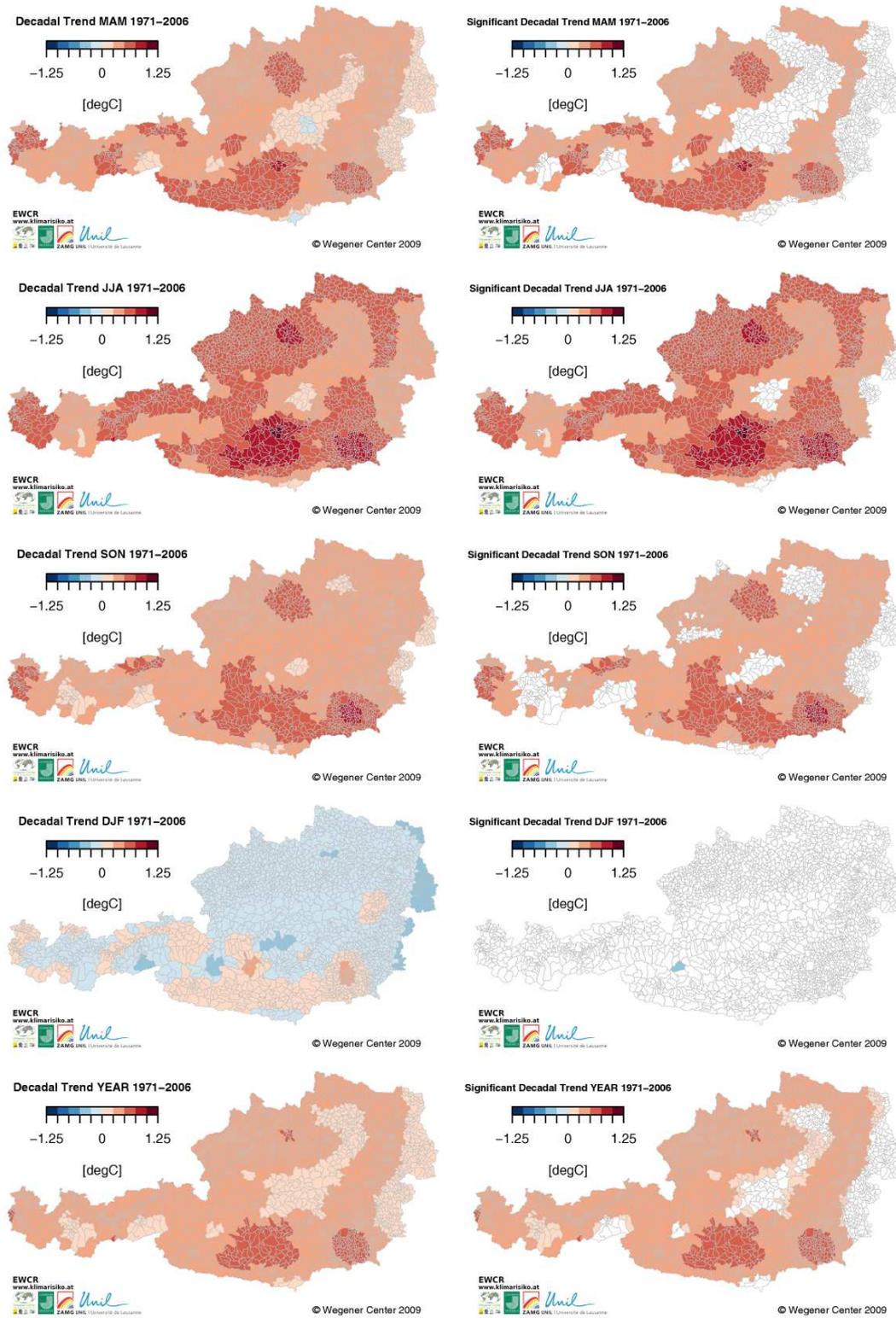


Abbildung 29: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Temperatur [°C pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006. Die linke Spalte zeigt alle dekadischen Trendwerte, die rechte nur die signifikanten Gemeinden.

3.2.2 Heizgradtage

Im Folgenden werden für den Parameter Heizgradtage jährliche Mittelwerte sowie saisonal und jährliche Trends für 2379 Gemeinden in Österreich für die Periode 1971-2006 vorgestellt. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert.

Heizgradtage ergeben sich aus der Differenz der Raumlufttemperatur minus mittlere Tagesaußentemperatur wenn die mittlere Außentemperatur eine zu bestimmende Heizgrenze unterschreitet. Diese Differenzen werden dann für jeden Tag der Heizperiode aufsummiert. Die Heizgradtage wurden für die in Österreich am häufigsten herangezogene Definition 12/20 bestimmt, d.h. es wird von einer mittleren Außentemperatur von 12 Grad Celsius und einer Raumlufttemperatur von 20 Grad Celsius ausgegangen.

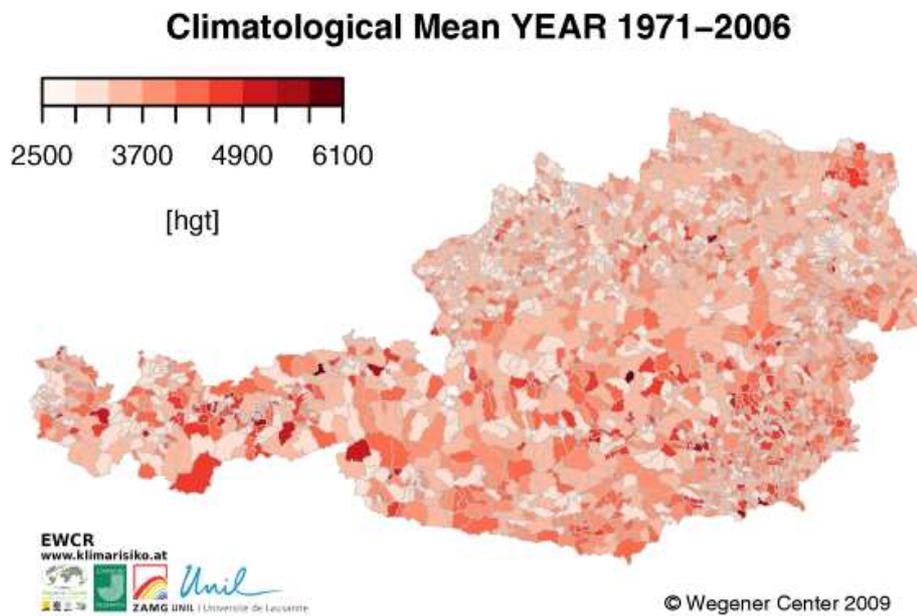


Abbildung 30: Klimatologische Mittelwerte jährlichen Heizgradtage [hgt] zwischen 1971 und 2006.

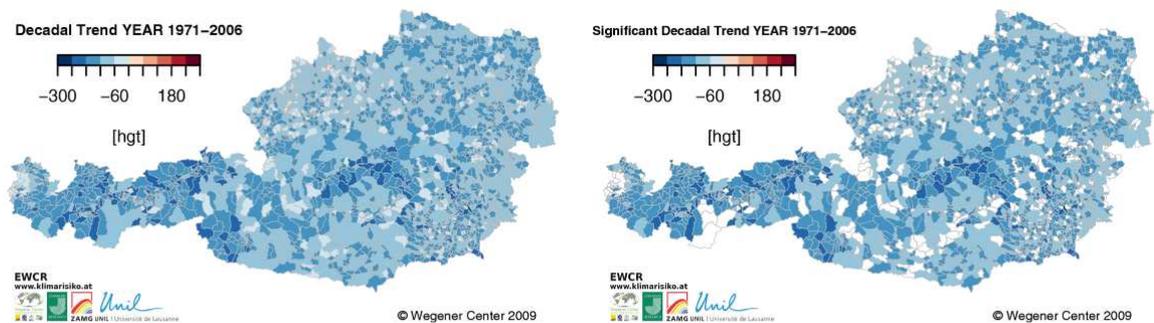


Abbildung 31: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Heizgradtage [hgt pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006. Die linke Spalte zeigt alle dekadischen Trendwerte, die rechte nur die signifikanten Gemeinden.

3.2.3 Niederschlag

Im Folgenden werden für den Parameter Niederschlag saisonale und jährliche Mittelwerte [mm/Monat] sowie saisonal und jährliche Trends [mm/Monat pro Dekade] für 2379 Gemeinden in Österreich für die Periode 1971-2006 vorgestellt. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert.

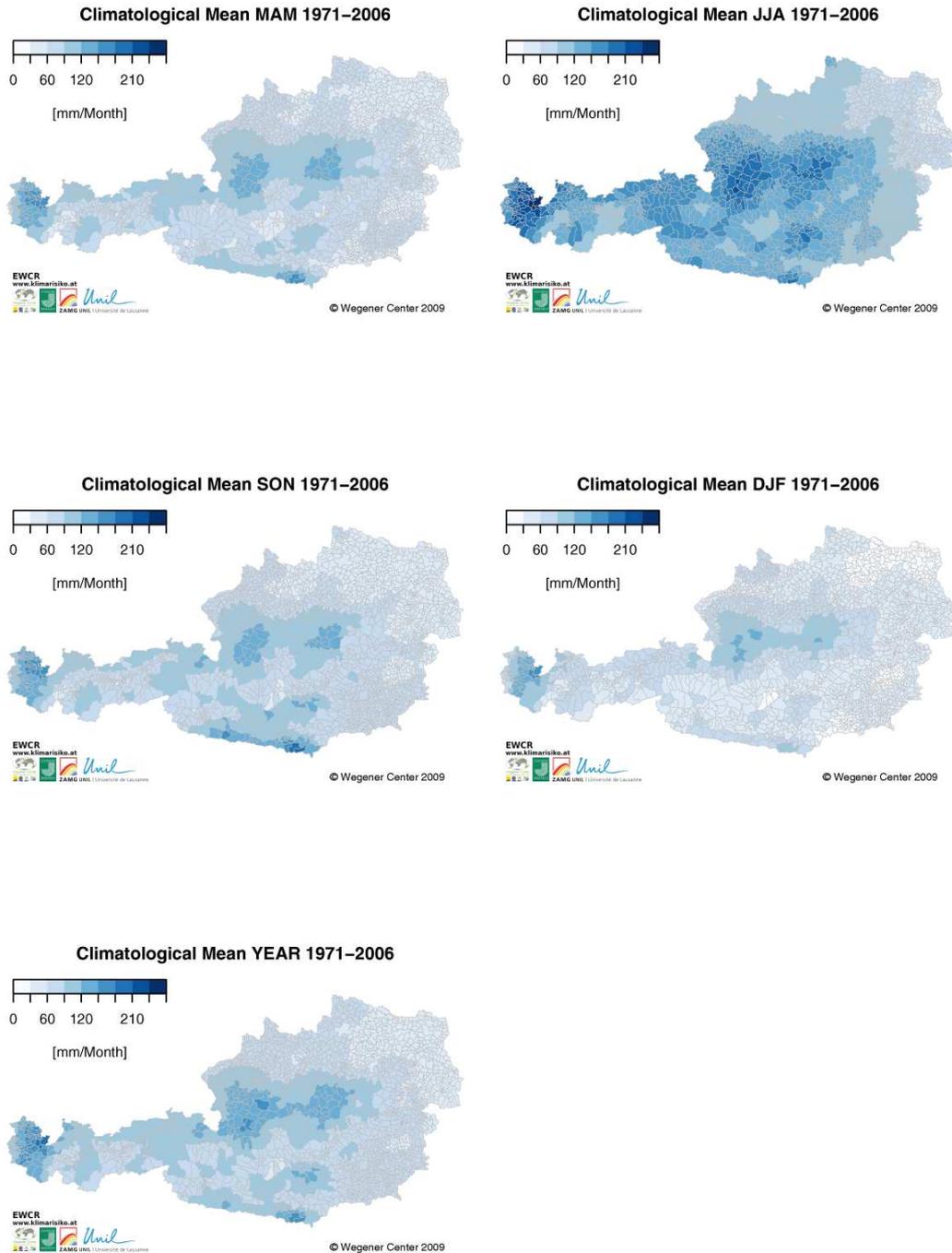


Abbildung 32: Klimatologische Mittelwerte des saisonalen und jährlichen Niederschlags [mm/Monat] zwischen 1971 und 2006.

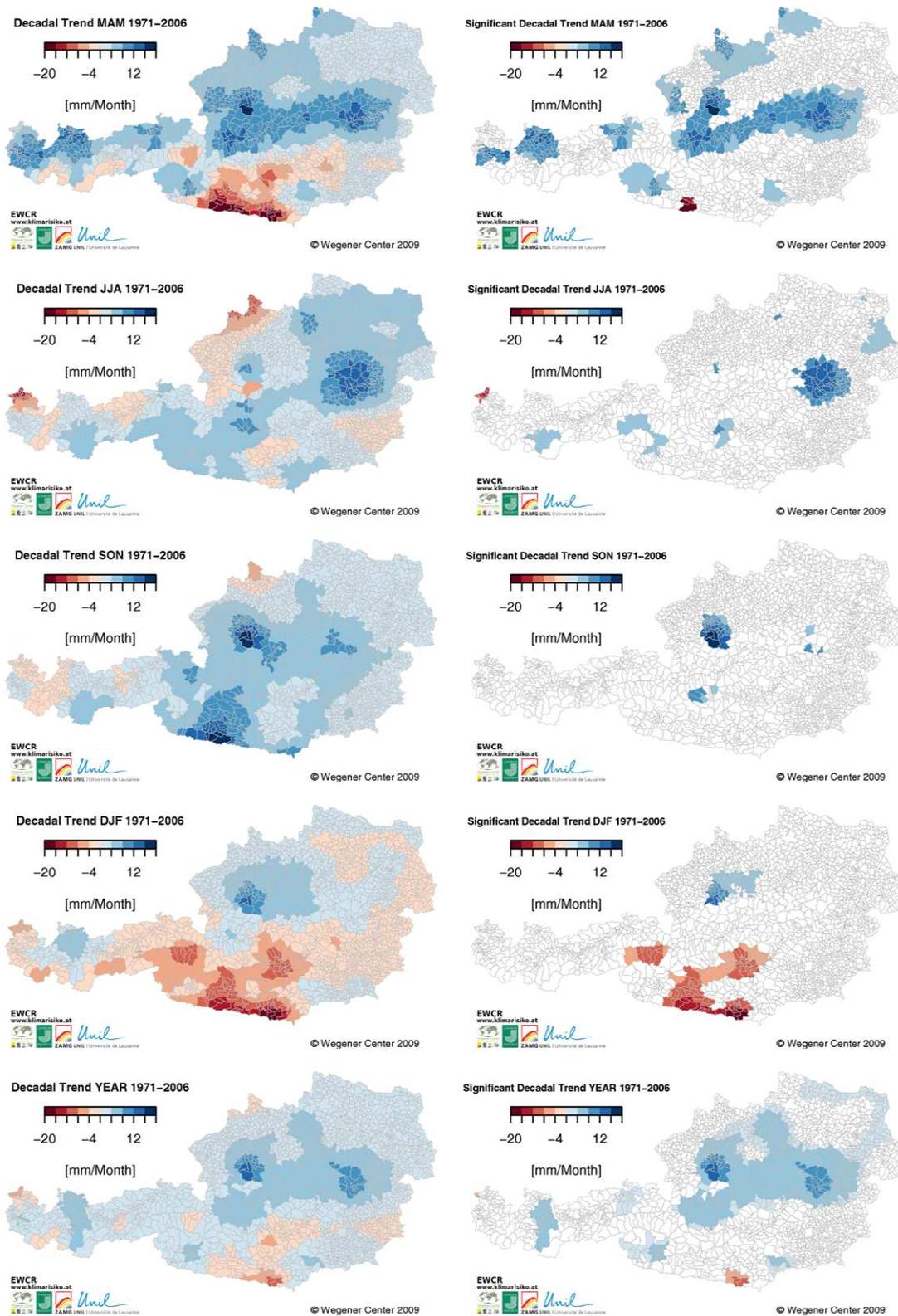


Abbildung 33: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade des Niederschlags [mm/Monat pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006. Die linke Spalte zeigt alle dekadischen Trendwerte, die rechte nur die signifikanten Gemeinden.

3.2.4 Niederschlagsfrequenz

Im Folgenden werden für den Parameter Niederschlagsfrequenz saisonale und jährliche Mittelwerte [Tage/Monat] sowie saisonal und jährliche Trends [Tage/Monat pro Dekade] für 2379 Gemeinden in Österreich für die Periode 1971-2006 vorgestellt. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert.

Die Niederschlagsfrequenz ergibt sich aus Anzahl der Tage pro Zeitperiode, an denen zumindest 1mm Niederschlag gemessen wird.

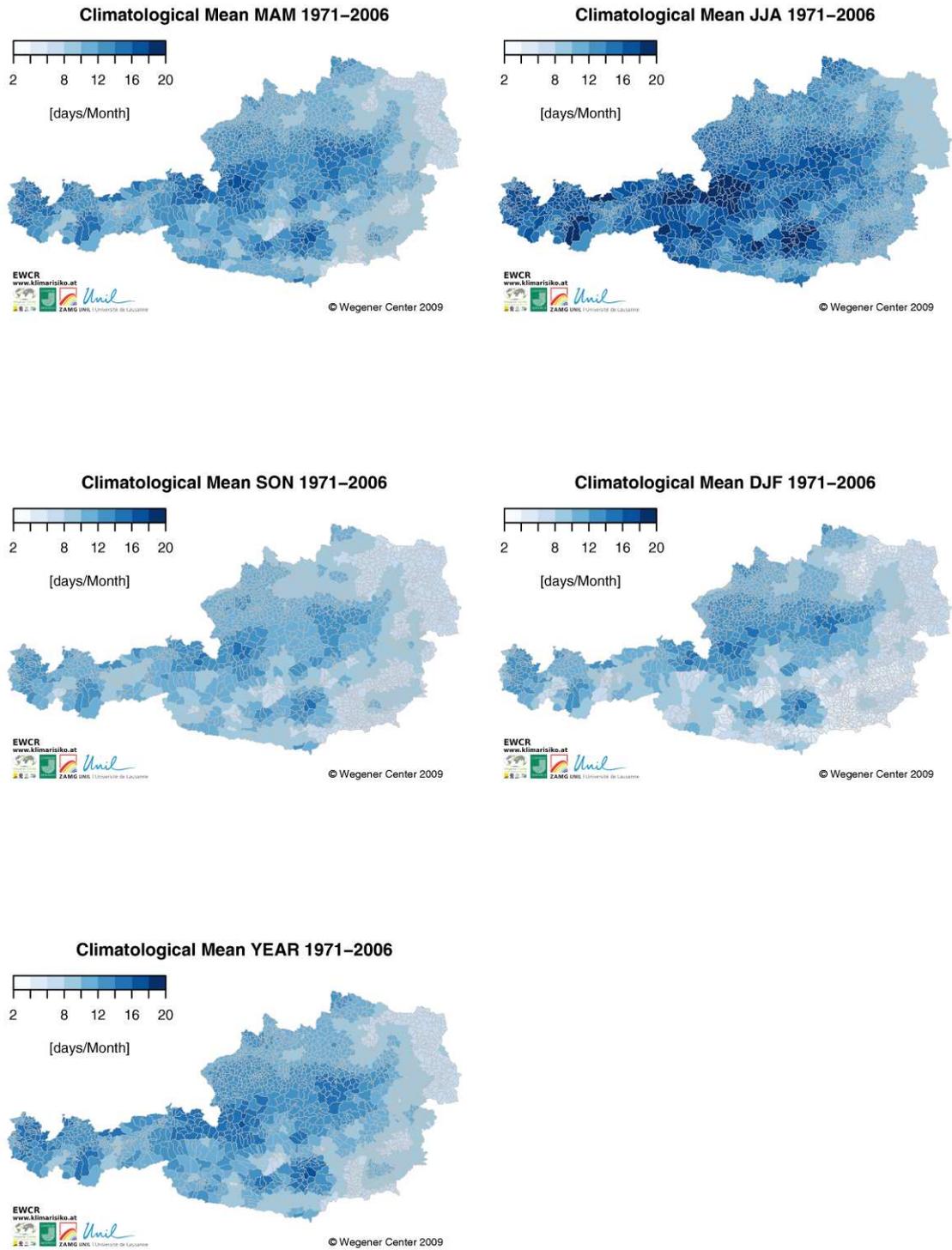


Abbildung 34: Klimatologische Mittelwerte der saisonalen und jährlichen Niederschlagsfrequenz [Tage/Monat] zwischen 1971 und 2006.

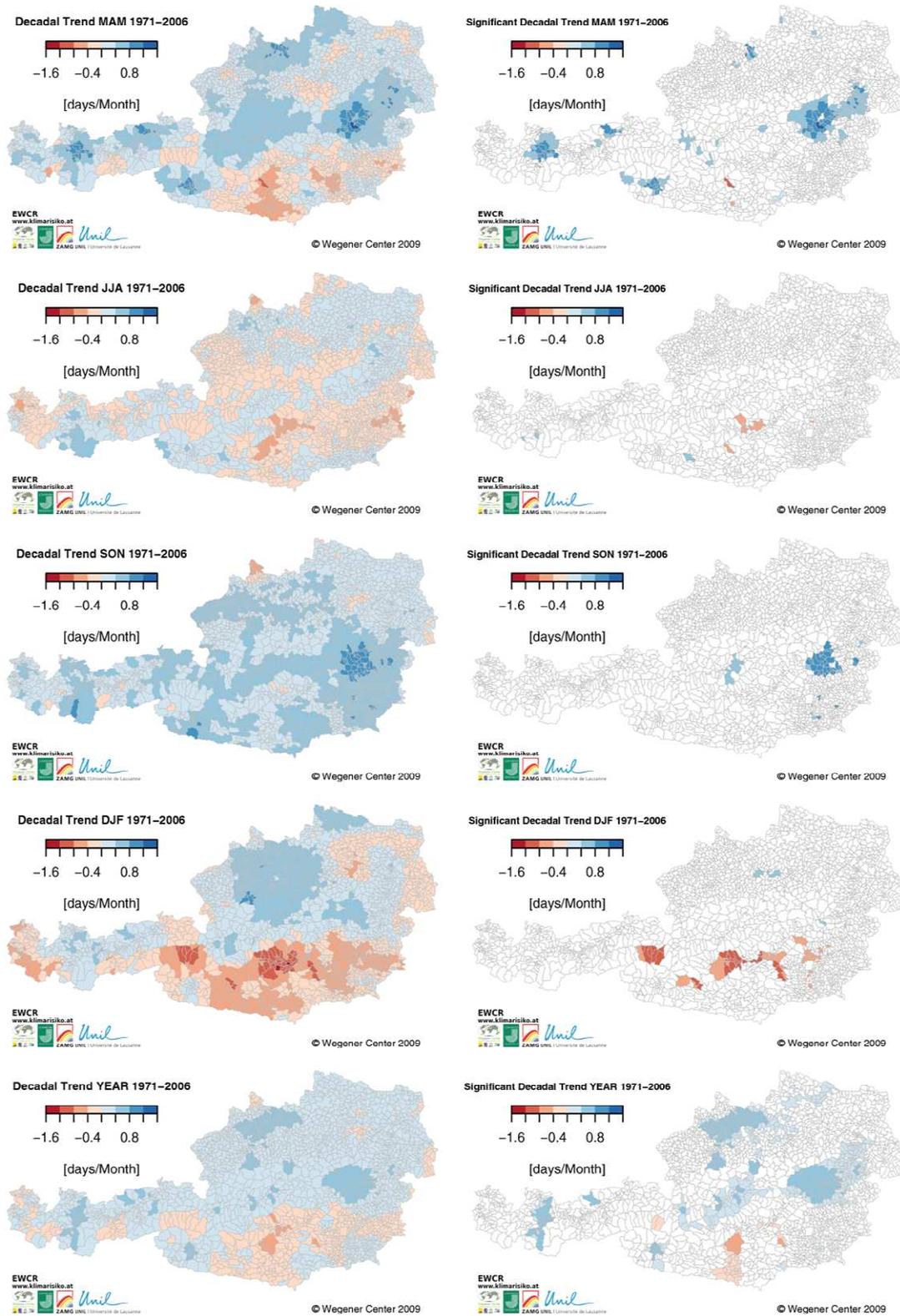


Abbildung 35: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Niederschlagsfrequenz [Tage/Monat pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006. Die linke Spalte zeigt alle dekadischen Trendwerte, die rechte nur die signifikanten Gemeinden.

3.2.5 Anzahl von Starkregentagen

Im Folgenden werden für den Parameter Starkregentage saisonale und jährliche Mittelwerte [Tage/Monat] sowie saisonal und jährliche Trends [Tage/Monat pro Dekade] für 2379 Gemeinden in Österreich für die Periode 1971-2006 vorgestellt. Mittelwerte als auch Stärke und Richtung der Trendgeraden sind farbcodiert.

Die Anzahl von Starkregentagen ergibt sich aus der Anzahl der Tage pro Zeitperiode, an denen zumindest 10mm Niederschlag gemessen wird.

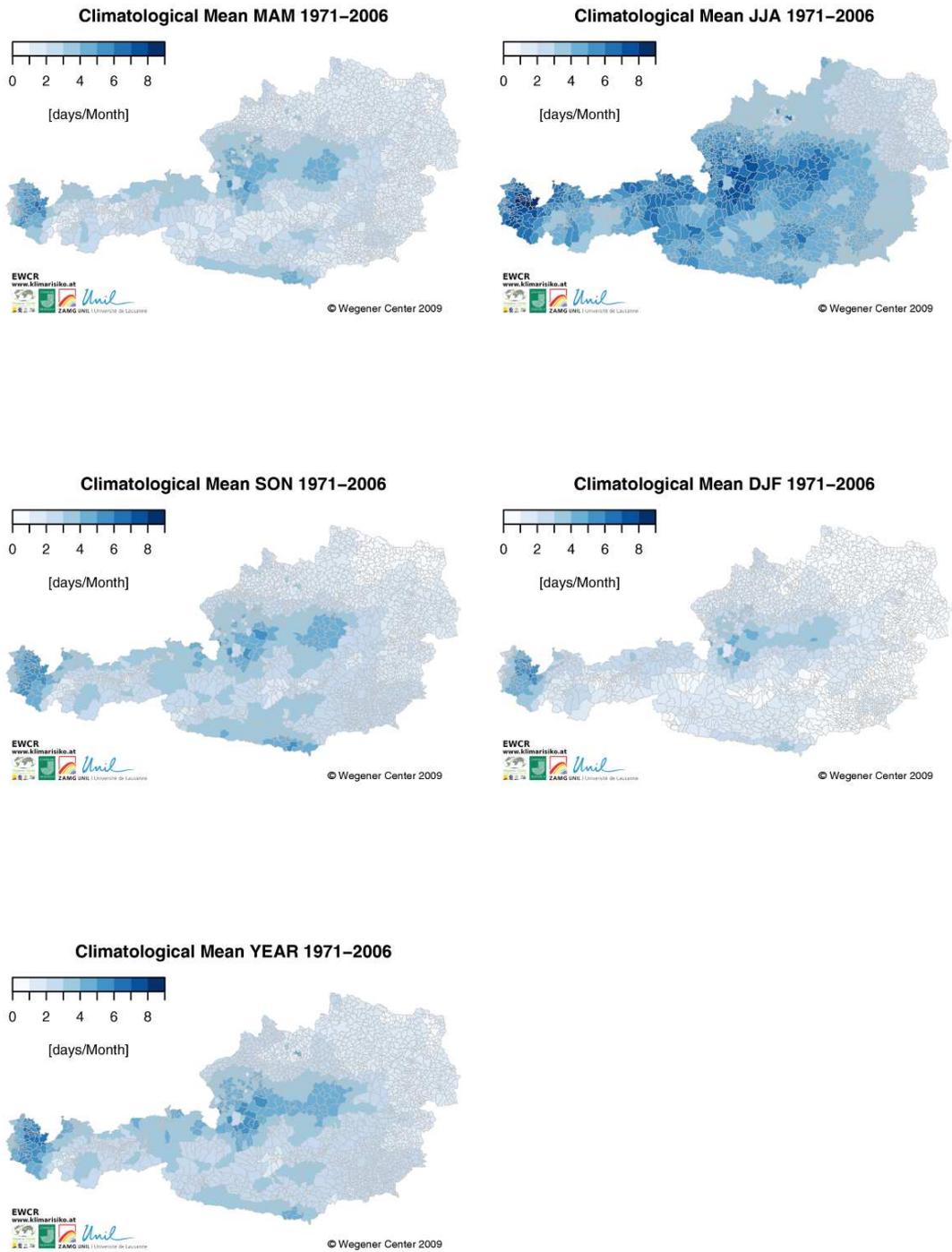


Abbildung 36: Klimatologische Mittelwerte der saisonalen und jährlichen Starkniederschlagstage [Tage/Monat] zwischen 1971 und 2006.

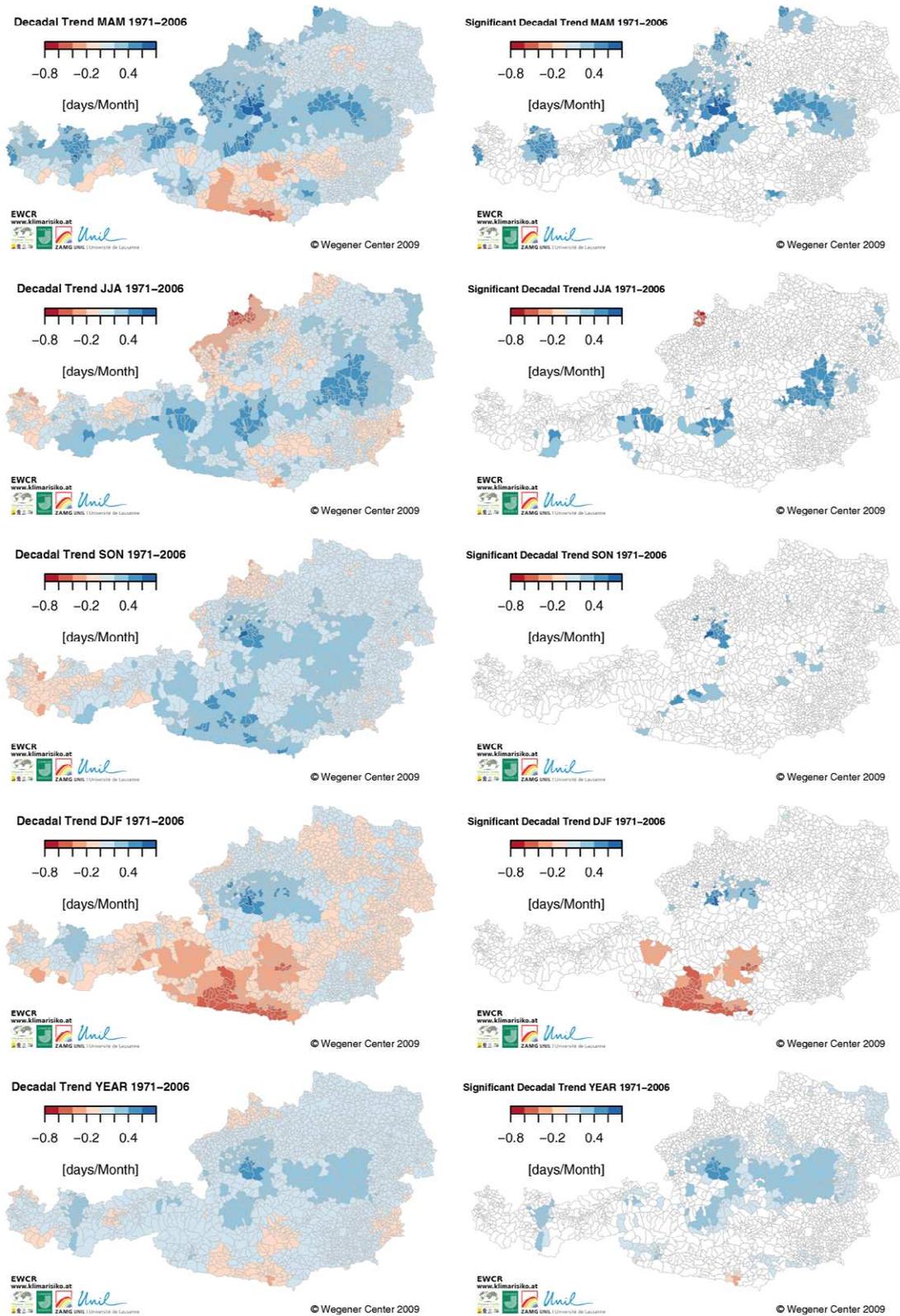


Abbildung 37: Saisonale und jährliche Trends pro Dekade der Starkniederschlagstage [Tage/Monat pro Dekade] in Österreich zwischen 1971 und 2006. Die linke Spalte zeigt alle dekadischen Trendwerte, die rechte nur die signifikanten Gemeinden.

3.2.6 Erkenntnisse

Bezüglich der mittleren Temperaturverhältnisse in Österreich ergibt sich eine positiv ansteigende Verteilung von West nach Ost durch alle Saisonen hindurch mit den wärmsten Regionen von der Oststeiermark bis in den Wienerwald und vereinzelt inneralpinen Wärmeinseln. Die Verteilung der Trends zeigt vor allem in der Südoststeiermark, Nordostkärnten und Obersteiermark sowie die Region um Linz, Enns und Steyr und Teilen Vorarlbergs und Tirols sehr hohe Werte von bis zu 1°C pro Dekade in den letzten 30 Jahren. Im Vergleich dazu beträgt der Mittlere Trend im gesamten Alpenraum zwischen 1975 und 2000 etwa 0.5°C pro Dekade [Auer et al., 2007]. Interessant sind auch die fehlenden signifikanten Trends im Winter (siehe die Diskussion der Wintertemperaturen in den Schigebieten in Abschnitt 3.1.6).

Die Heizgradtage weisen durchwegs negative Trends auf. Eine Ausnahme bildet wiederum (in Übereinstimmung mit den Temperaturtrends) die Wintersaison Dezember bis Februar.

Die mittleren Niederschlagsbedingungen in Österreich zeigen zwei markante Staugebiete, jenes des Nordstaus entlang des Alpenhauptkammes (v.a. im Dachsteingebiet, Ausseerland, in großen Teilen Salzburgs und Vorarlbergs), sowie jenes an den Südalpen im Bereich der Karawanken. Vor allem das Alpenvorland und das Flachland Ostösterreichs weisen deutlich weniger Niederschlag das gesamte Jahr hindurch auf. Das Niederschlagsmaximum fällt im Sommer im Zuge von wärmebedingten konvektiven Niederschlagsereignissen. Die Niederschlagstrends sind nur in einigen Regionen signifikant: Zunehmende Niederschläge sind vor allem im Frühjahr entlang des Alpenhauptkamms zu finden und abnehmende Niederschläge im Winter entlang der Südalpen.

Ähnlich der Situation bei den mittleren Niederschlagssummen verhält sich die räumliche und zeitliche Verteilung der mittleren Anzahl von Niederschlags- und Starkniederschlagstagen. Dieser Zusammenhang setzt sich auch in mit den mittleren Niederschlagsverhältnissen übereinstimmenden kleinräumig signifikanten saisonalen Trendmustern fort. Es ist in diesen Daten im Vergleich zum mittleren Niederschlag keine überproportionale Zunahme von extremen Tagesniederschlägen zu beobachten.

4 Literatur

- Alexandrov, V. J. Eitzinger, V. Cajic, M. Oberforster, 2002: Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria, *Global Change Biology*, 8, 372-389.
- Auer, I. et al., 2007: HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region, *International Journal of Climatology*, 27, 17-46.
- Beck, A., Hiebl, J., Koch, E., Potzmann, R., & Schöner, W. (2009). Institutionelle und regulatorische Fragestellungen der Bereitstellung von Wetterdaten, Working paper. Wien: ZAMG.
- Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation, U.S. Geological Survey, 524 Seiten.
- Heinrich, G., 2008: Klimawandel und Trockengefährdung in der Landwirtschaft: Eine Analyse für die Steiermark, Wissenschaftlicher Bericht Nr. 20-2008, Jänner 2008, Wegener Center Verlag Graz, ISBN-13 978-3-9502308-8-8
- Helsel, D.R., R.M. Hirsch, 2002: Statistical Methods in Water Resources, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey,
- Prettenthaler, F. E., C. Töglhofer, A. Türk, M. Zarnhofer, 2008: Water Cycle Risk Management, für: Internationale Fachtagung: Wasserressourcen und deren Bewirtschaftung - Die Bedeutung von Netzwerken, Kompetenznetzwerk Wasserressourcen, Graz.
- Prettenthaler, F. E., C. Töglhofer, C. Habsburg-Lothringen, A. Türk: Klimabedingte Änderungen des Heiz- und Kühlenergiebedarfes, in: Prettenthaler F., A. Gobiet (Hrsg): Heizen und Kühlen im Klimawandel. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften 2008.
- Rapp, J., 2000: Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 212, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, 125 Seiten.
- Steiger, R., & Mayer, M., 2008: Snowmaking and climate change: Future options for snow production in tyrolean ski resorts. *Mountain Research and Development*, 28(3-4), 292-298.
- Toeglhofer, C., & Prettenthaler, F., 2009: Estimating climatic and economic impacts on tourism demand in Austrian ski areas. Wegener Center for Climate and Global Change, Univ. of Graz.
- Töglhofer, C., 2007: Einsatzpotentiale von Wetterderivaten im Bereich Erneuerbarer Energien. Wissenschaftlicher Bericht No 14-2007, Wegener Center for Climate and Global Change, Univ. of Graz.