

Kapitel 3

Temperatur



Foto: Konventionelle Temperaturmessung. (Foto: A. Podesser)

Autor:
Andreas Gobiet

Inhaltsverzeichnis

- 3 Temperatur35**
 - 3.1 Einleitung 37
 - 3.1.1 Einflüsse auf die Temperatur 37
 - 3.1.2 Anwendungsorientierte Temperaturindikatoren..... 37
 - 3.1.3 Räumliche und zeitliche Ausprägungen 37
 - 3.2 Durchschnittliche Jahres-, Saison- und Monatstemperaturen38
 - 3.2.1 Jährliche Durchschnittstemperatur.....38
 - 3.2.2 Saisonale Durchschnittstemperaturen.....42
 - 3.2.3 Monatliche Durchschnittstemperaturen46
 - 3.3 Hitze und Kälte 47
 - 3.3.1 Zahl der Sommertage und heißen Tage 47
 - 3.3.2 Zahl der Frost- und Eistage52
 - 3.4 Heizen und Kühlen.....60
 - 3.4.1 Heizgradtage und Heizgradtagzahl.....60
 - 3.4.2 Kühlgradtage und Kühlgradtagzahl 67
 - 3.5 Vegetationsperiode und Frost 74
 - 3.5.1 Beginn, Ende und Länge der Vegetationsperiode..... 74
 - 3.5.2 Spät- und Frühfrost80

3.1 Einleitung

Unter Temperatur verstehen wir hier die Lufttemperatur zwei Meter über dem Erdboden. Es ist wichtig, sie von anderen Temperaturen, wie der Erd- und Wasseroberflächentemperatur, zu unterscheiden, weil sie andere Eigenschaften hat. Die Lufttemperatur bestimmt gemeinsam mit dem Wasserdampfgehalt den Energieinhalt der Atmosphäre und ist daher eine ihrer fundamentalen Zustandsgrößen. Die Temperatur ist neben dem Niederschlag das wichtigste Element, um das Klima und seine Änderung an einem Standort oder in einer Region zu charakterisieren. Sie hat sowohl global als auch regional große Auswirkungen auf Ökosysteme und die menschliche Gesellschaft.

3.1.1 Einflüsse auf die Temperatur

Die räumliche Verteilung der Temperatur in der Steiermark ist von zahlreichen Faktoren abhängig, welche im Detail bei den einzelnen Karten noch einmal angesprochen werden. Ein Überblick über diese Faktoren wird hier vorausgestellt:

Seehöhe. Aufgrund der im Mittel positiven Strahlungsbilanz des Erdbodens und der negativen Strahlungsbilanz der Atmosphäre sowie der adiabatischen Temperaturänderung bei vertikal bewegter Luft (Abkühlung beim Aufsteigen und Erwärmung beim Absinken) nimmt die Durchschnittstemperatur in der freien Atmosphäre nach oben hin ab. Da aber die Einflussfaktoren räumlich und vor allem zeitlich variabel sind, ist auch die vertikale Temperaturänderung (Vertikalgradient) nicht konstant. Der in der internationalen Standardatmosphäre (ISO, 1975) definierte Wert von $-0,65^{\circ}\text{C}$ pro 100 m Höhenzunahme ist ein Durchschnittswert, wohingegen der tatsächliche Temperaturgradient variiert. Aufgrund der tages- und jahreszeitabhängigen Erwärmung der Erdoberfläche und infolge der bodennahen Luftschichten muss die Temperaturabnahme mit der Höhe nachts kleiner als tagsüber und im Winter kleiner als im Sommer sein. Darüber hinaus sind zeitlich und regional begrenzt oft Inversionen, also die Umkehr des Vorzeichens des Temperaturgradienten und andere Modifikationen zu beobachten. Bei starker Einstrahlung oder guter vertikaler Durchmischung durch Wind werden die Werte von bis zu -1°C pro 100 m („trockenadiabatischer Temperaturgradient“) erreicht. Bei Inversionen kann der Temperaturgradient auch hohe positive Werte annehmen.

Gelände. Der wichtigste Effekt der Geländeform auf die bodennahe Lufttemperatur ist die Neigung zur Ausbildung von „Kaltluftseen“ (Temperaturinversionen) in Becken und ähnlichen Hohlformen, was insbesondere bei Nacht und im Winter, also bei geringer oder ganz fehlender Einstrahlung, vorkommt.

Luftmasse. Je nach Wetterlage und Jahreszeit wird durch die Zufuhr von Luftmassen aus unterschiedlichen Regionen die Temperatur des „Herkunftsgebietes“ dem „Ankunftsgebiet“ übermittelt. Beispielsweise führen atlantisch-maritime Luftmassen im Winter zu markanter Erwärmung, im Sommer dagegen zu auffällender Abkühlung. Andererseits führt kontinentale Polarluft insbesondere im Winter zu starker Abkühlung.

Stau und Föhn. Stau- und Föhneffekte führen zu Modifikationen der Zufuhr fremder Luftmassen. Diese fällt regional sehr unterschiedlich aus. Beispielsweise führt Südanströmung oft nicht etwa in der Südsteiermark, sondern im unteren Ennstal und Salztal zu den höchsten steirischen Temperaturen, was ohne Föhneffekt nicht möglich wäre.

Geographische Breite. Sie hat global gesehen den größten Einfluss auf die Temperatur, kann aber bei dem geringen Breitenunterschied der Steiermark von insgesamt nur $1^{\circ} 10'$ hier als weitgehend vernachlässigbar eingeschätzt werden.

Weitere Faktoren sind die Exposition (Ausrichtung), die Inklination (Hangneigung) und die Eigenschaften des Untergrundes, letztere insbesondere hinsichtlich Versiegelungsgrad, Bodenfeuchte, Bewuchs und verschiedener Oberflächenfaktoren wie Wärmeleitung, Farbe oder Vorhandensein einer Schneedecke. Diese Faktoren beeinflussen hauptsächlich das Lokalklima und führen zum Beispiel in Städten im Sommer im Vergleich zum Umland zu einer Überhitzung. In der regionalen Skala sind solche Effekte meist nicht erkennbar.

3.1.2 Anwendungsorientierte Temperaturindikatoren

Da die große Bedeutung der Temperatur auf Ökosysteme und die menschliche Gesellschaft oft besser durch maßgeschneiderte Temperaturindikatoren als durch Temperaturmittelwerte dargestellt werden kann, wird im

Klimaatlas Steiermark, zusätzlich zu Temperaturmittelwerten, eine Vielzahl solcher Indikatoren dargestellt. Als Grundlage aller hier dargestellten Indikatoren dienen die maximale, die minimale und die mittlere tägliche Temperatur (für eine genauere Beschreibung der zugrundeliegenden Daten siehe auch Kapitel 1.3). Nach einer Beschreibung der mittleren Temperaturen zu unterschiedlichen Jahreszeiten in Abschnitt 3.2 befasst sich Abschnitt 3.3 mit Hitze- und Kälteindikatoren, Abschnitt 3.4 mit Indikatoren, die für den Energieverbrauch in der Steiermark wichtig sind (Heizen und Kühlen) und 3.5 mit landwirtschaftlich relevanten Indikatoren.

3.1.3 Räumliche und zeitliche Ausprägungen

Für räumliche Ausprägungen der Temperaturindikatoren stellen wir 30-jährige Mittelwerte in Karten der Steiermark dar. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der neuesten Klimanormalperiode (Arguez und Vose, 2011) 1991 – 2020, für die ein spezieller Datensatz für den Klimaatlas Steiermark entwickelt wurde, dem ein verdichtetes Stationsnetz zugrunde liegt (siehe Kapitel 1.3).

Die zeitliche Dimension, also der Wandel des Klimas mit der Zeit, wird durch den Vergleich zweier unterschiedlicher Klimanormalperioden dargestellt: 1961 bis 1990 („Vergangenheit“) und 1991 bis 2020 („Gegenwart“), wobei diesen Datensätzen ein etwas weniger dichtes, aber zeitlich homogenes Stationsnetz zugrunde liegt. Der Klimawandel wird aber nicht nur für die Vergangenheit, sondern anhand von Klimaszenarien (siehe Kapitel 1.4) auch für zukünftige Perioden untersucht. Die zeitliche Entwicklung wird anschaulich in Form von Differenzen-Karten (Differenz zweier 30-jähriger Mittelwerte) und Zeitreihen räumlicher Mittelwerte dargestellt. Um bei den räumlichen Mittelwerten die deutlich unterschiedlichen regionalen Klimacharakteristika innerhalb der Steiermark nicht zu vernachlässigen, wurden neun möglichst homogene Klimaregionen definiert (siehe Kapitel 2), innerhalb derer die Mittelwerte gebildet werden.

3.2 Durchschnittliche Jahres-, Saison- und Monats-temperaturen

3.2.1 Jährliche Durchschnittstemperatur

Definition. Die jährliche Durchschnittstemperatur ist der Mittelwert aller Tagesmitteltemperaturen eines Kalenderjahres. Die Tagesmitteltemperatur ist dabei der Durchschnitt der maximalen und minimalen täglichen Temperaturen. Als Maßeinheit wird Grad Celsius [°C] verwendet.

Aussagekraft. Die jährliche Durchschnittstemperatur ist die am stärksten verallgemeinerte Aussage über die Temperatur. Sowohl der Tagesgang als auch der Jahresgang sind nicht ersichtlich. Im 30-jährigen Mittelwert ist zusätzlich auch die Variabilität von Jahr zu Jahr entfernt, welche aber in den Zeitreihen der Jahresmittelwerte weiterhin ablesbar ist (Abbildung 3.5). Solcherart erlaubt sie eine erste orientierende Information über die allgemeinen thermischen Verhältnisse einer Region. Beispielsweise wird die Charakterisierung bestimmter Klimate oder landwirtschaftlicher Klima-Eignungen oft (auch) auf die jährliche Durchschnittstemperatur bezogen (z.B. wird im Weinbau als Faustregel ein Grenzwert von mindestens 9°C verwendet). Darüber hinaus ist die jährliche Durchschnittstemperatur ein guter Indikator für Temperaturen an Orten, wo starke Verzögerungseffekte die Schwankungen innerhalb eines Jahres weitgehend aufheben, also in tiefen Kellern, im Grundwasser, in Höhlen oder Stollen, wobei die jeweiligen Abweichungen von der obertägigen jährlichen Durchschnittstemperatur ein gutes Signal für die unterschiedliche Bewetterung von Höhlen oder die Wirkung der Erdwärme darstellen.

Mittelwert. Der langjährige Temperaturmittelwert der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 beträgt 7,4°C. Dies ist ein flächengewichteter Mittelwert über alle Höhenlagen.

Räumliche Verteilung. Die räumliche Verteilung der jährlichen Durchschnittstemperatur in der Steiermark ist wegen des beträchtlichen Höhenunterschiedes von fast 2800 Metern zwischen dem Dachsteingipfel (2995 m) und dem tiefsten Punkt des Bundeslandes (südöstlich von Bad Radkersburg, 200 m) primär von der Seehöhe abhängig. In der diesem Klimaatlas zugrundeliegenden räumlichen Auflösung (1 km x 1 km Gitter) beträgt der maximale Höhenunterschied 2361 m und der entsprechende Temperaturunterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Punkt 12,4°C. Daraus ergibt sich ein mittlerer Temperaturgradient von -0,52°C pro 100 m, was als die am stärksten vereinfachte, mittlere Beziehung zwischen Temperatur und Seehöhe in der Steiermark angesehen werden kann. Die jährlichen Durchschnittstemperaturen in den einzelnen Klimaregionen reichen von 3,3°C in den Hochlagen der Inneralpen bis zu 10,3°C im Vorland (Tabelle 3.1).

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist die jährliche Durchschnittstemperatur in der Steiermark um 1,3°C angestiegen. Das entspricht einer Erwärmung von 0,43°C pro Jahrzehnt. Dieser Temperaturanstieg ist im Vergleich zum weltweiten Mittelwert von 0,55°C innerhalb von 30 Jahren (Rohde und Hausfather, 2020) sehr hoch, entspricht aber genau dem österreichischen Mittelwert (Hiebl, 2021) und ist auch im Vergleich zu anderen Regionen im Alpenraum durchschnittlich. Das liegt daran, dass sich die Luft über Landgebieten generell stärker erwärmt als über Ozeanen und an der zunehmenden bodennahen Sonneneinstrahlung in der Steiermark (siehe auch Kapitel 4 „Strahlung“) durch geringere Luftverschmutzung und durch längere Schönwetterphasen (z.B. Chimani et al., 2020).

In einzelnen Klimaregionen ist die Temperaturzunahme sehr ähnlich und reicht von 1,2°C im Vorland, Randgebirge und in den Hochlagen im Nordstaugebiet bis zu 1,4°C in den Talbecken des oberen Murtales (Tabelle 3.1). Eine Systematik bezüglich Höhenlage oder Hauptanströmungsrichtung ist dabei nicht zu erkennen. Insbesondere kann die immer wieder formulierte Hypothese der stärkeren Erwärmung in höheren Lagen in der Steiermark nicht bestätigt werden. Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien im günstigsten Fall eine weitere Erwärmung um 0,7°C voraus. Dies gilt für das Szenario „2-Grad-Ziel“ (Abbildung 3.4, links oben), welches sich bis 2050 von anderen Szenarien kaum unterscheidet (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann sich die Temperatur in der Steiermark etwa auf diesem Niveau stabilisieren (0,8°C Temperaturzunahme), wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildung 3.4, rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde die Temperatur ungebremst weiter auf 3,4°C über jene der aktuellen Klimanormalperiode steigen (Abbildung 3.4, rechts unten). Die Temperaturzeitreihen der Steiermark zeigen, dass die jährlichen Durchschnittstemperaturen in allen Klimaregionen nahezu parallel verlaufen, allerdings sind bei genauerer Betrachtung Unterschiede in der Jahr-zu-Jahr-Variabilität zu erkennen. Die Spannweite zwischen dem wärmsten und kältesten Jahr in der Klimanormalperiode 1991 – 2020 ist mit 2,5 bis 2,7°C in den hoch gelegenen Regionen am geringsten und im Vorland mit 3,2°C am größten (Abbildung 3.5).

Tabelle 3.1: Jährliche Durchschnittstemperaturen in den verschiedenen Klimaregionen und der gesamten Steiermark für die Vergangenheit (1961 – 1990) und Gegenwart (1991 – 2020) sowie Änderung der Temperatur unter der Annahme verschiedener RCPs für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) im Vergleich zur Gegenwart.

Region	1961 – 1990	1991 – 2020	RCP2.6 Änderung bis 2021 – 2050	RCP2.6 Änderung bis 2071 – 2100	RCP4.5 Änderung bis 2071 – 2100	RCP8.5 Änderung bis 2071 – 2100
Tallagen im Nordstaugebiet	6,3	7,6	0,7	0,9	1,7	3,4
Hochlagen im Nordstaugebiet	3,8	5,0	0,7	0,9	1,7	3,5
Talbecken des oberen Ennstales	5,8	7,1	0,7	0,9	1,7	3,5
Nordseite der Niederen Tauern	2,6	3,7	0,7	0,8	1,7	3,5
Talbecken des oberen Murtales	5,4	6,6	0,7	0,9	1,7	3,5
Hochlagen der Inneralpen	2,4	3,3	0,7	0,9	1,7	3,5
Talbecken des Mur- und Mürztales	6,2	7,4	0,7	0,9	1,7	3,4
Steirisches Randgebirge	6,8	8,0	0,7	0,8	1,7	3,3
Vorland	9,0	10,3	0,7	0,8	1,7	3,2
Steiermark	6,2	7,4	0,7	0,8	1,7	3,4

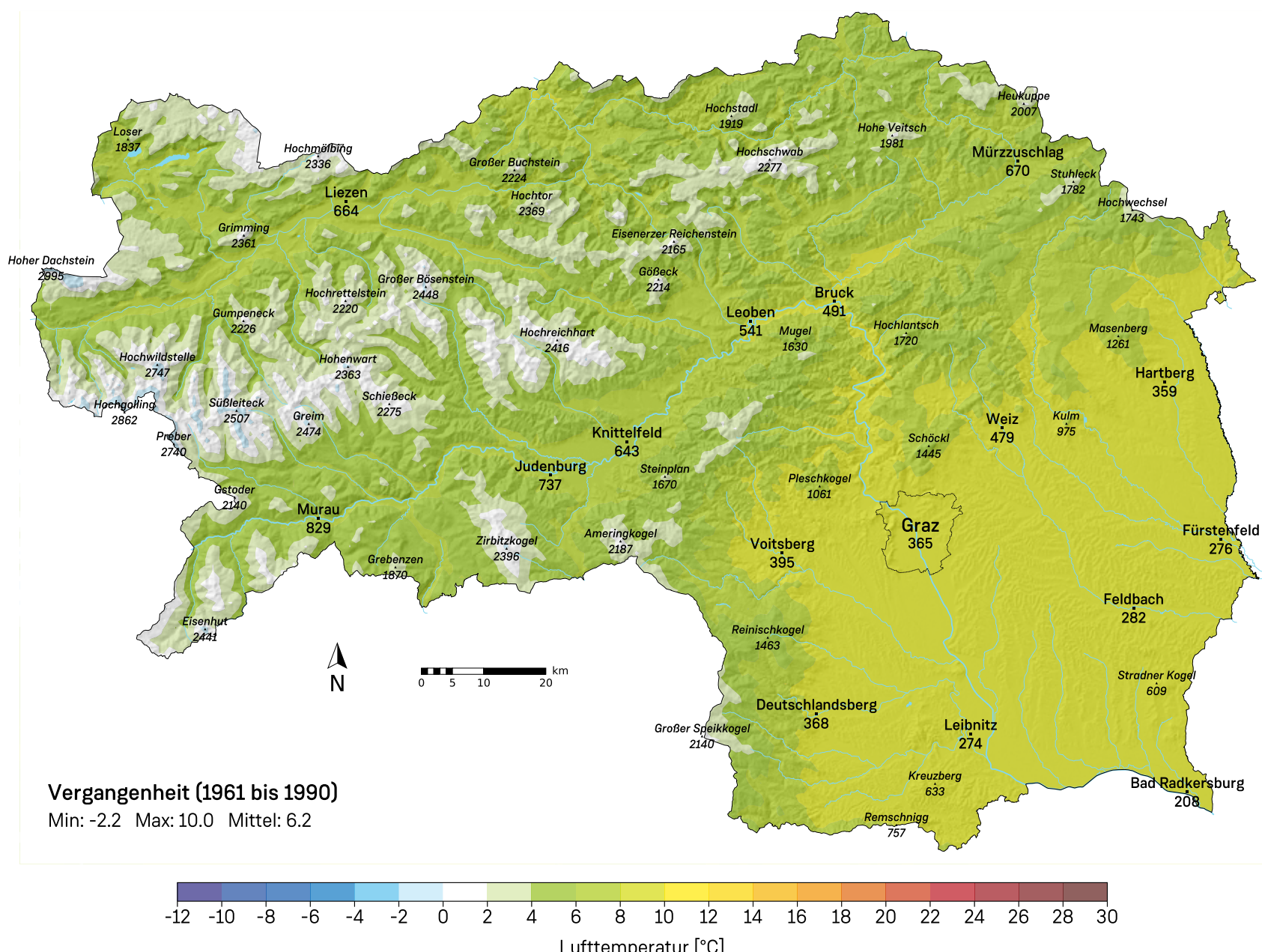


Abbildung 3.1: Jährliche Durchschnittstemperatur für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

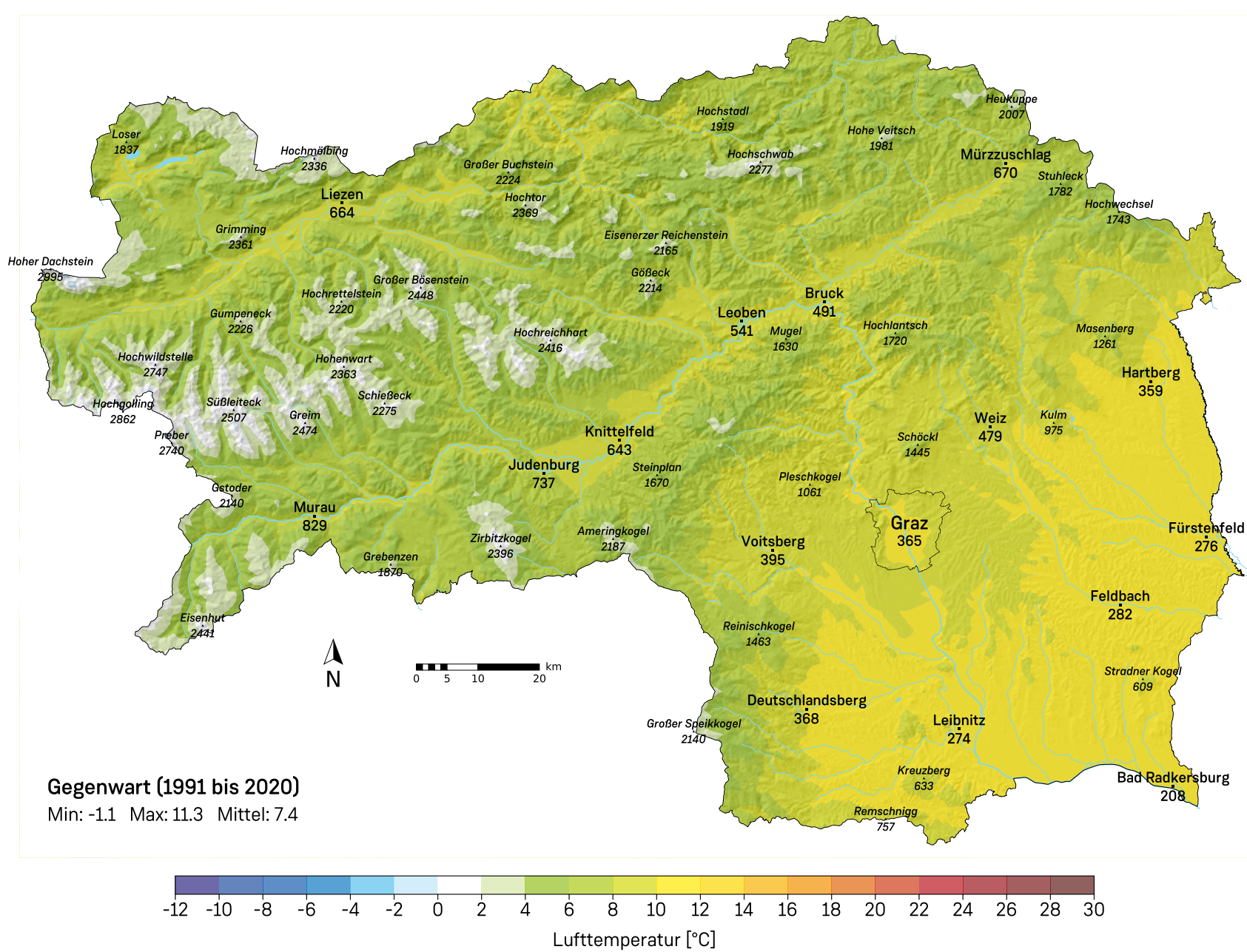


Abbildung 3.2: Jährliche Durchschnittstemperatur für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

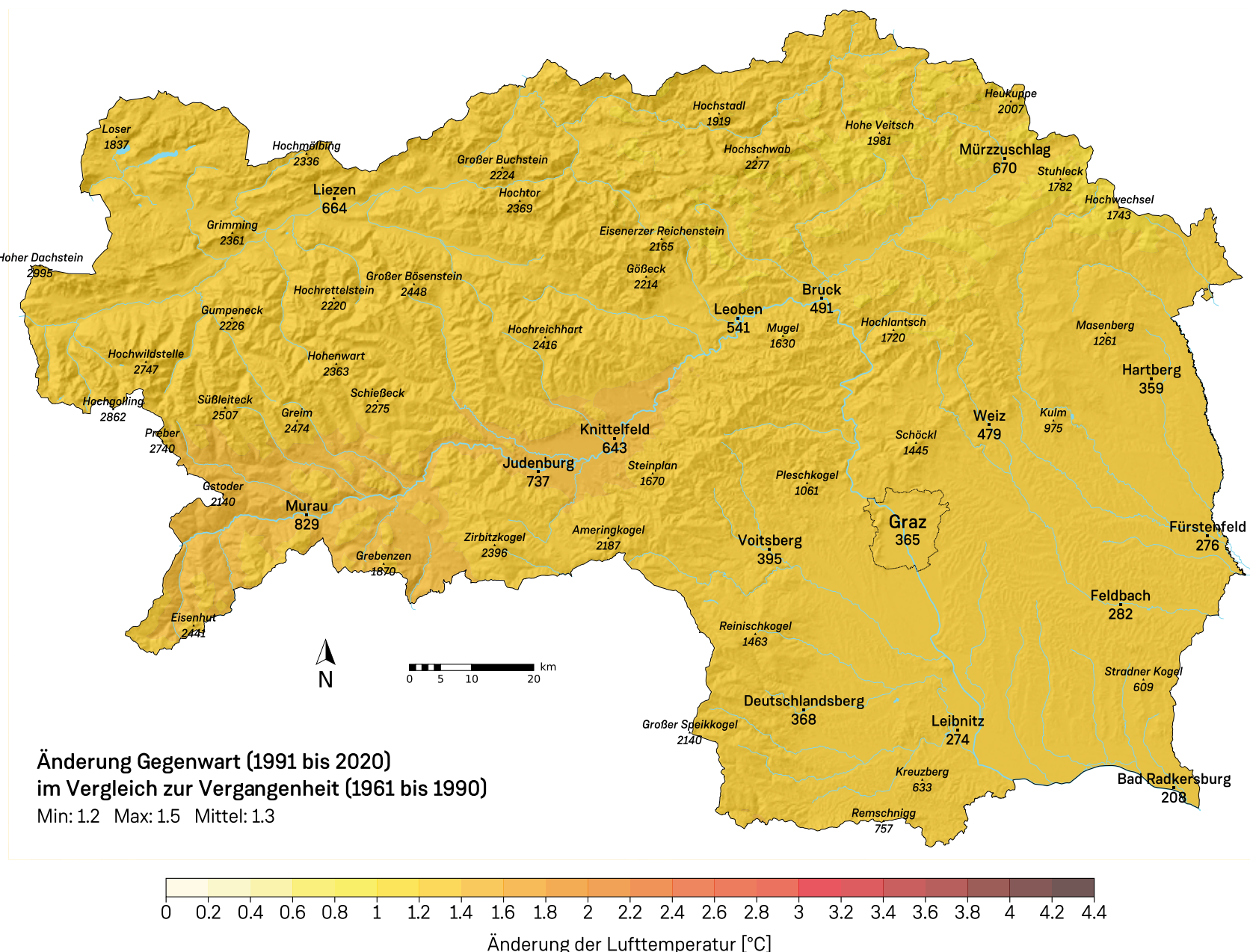


Abbildung 3.3: Änderung der jährlichen Durchschnittstemperatur im Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990).

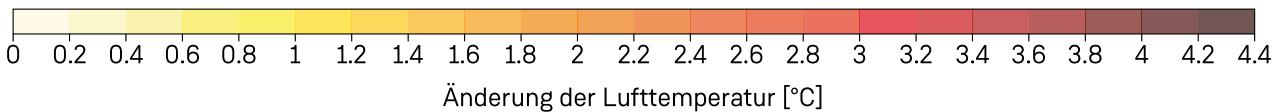
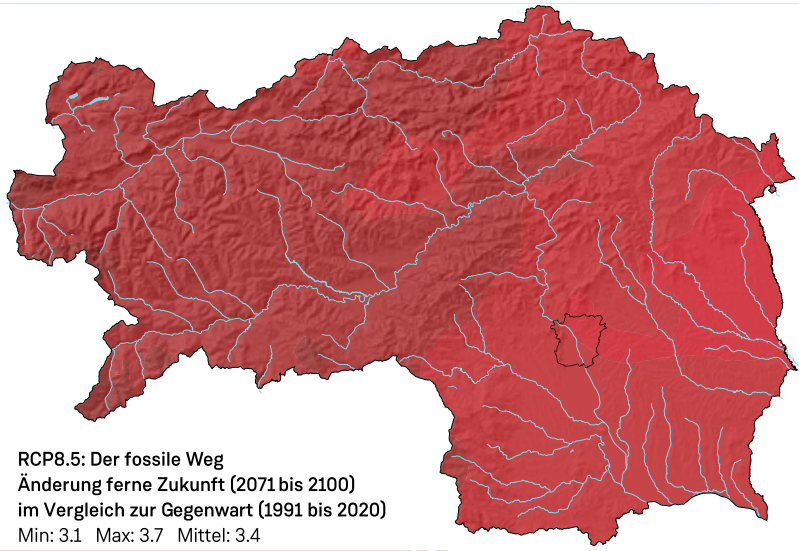
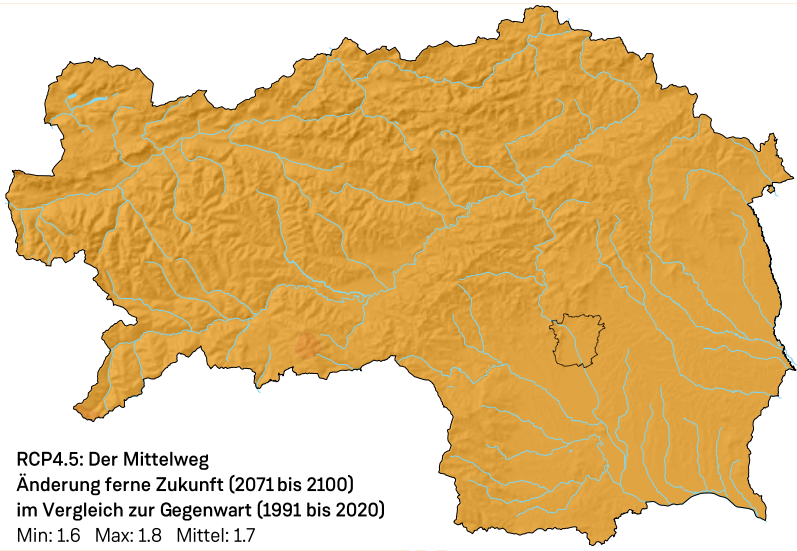
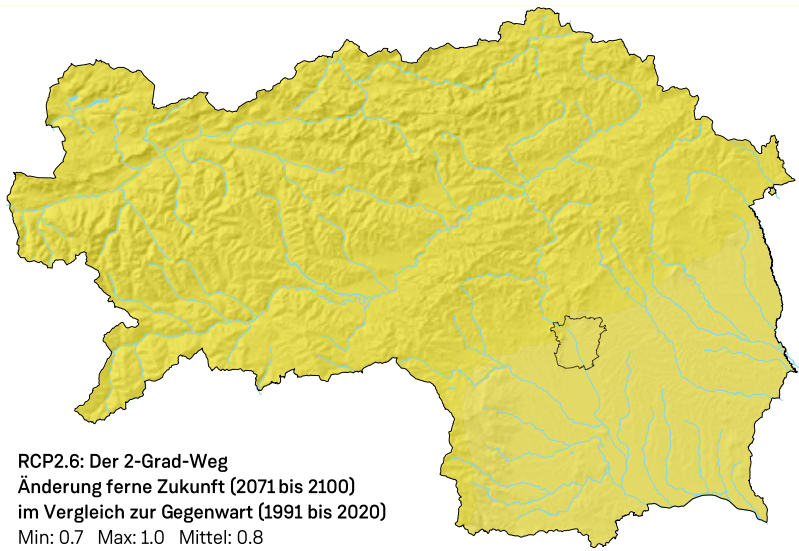
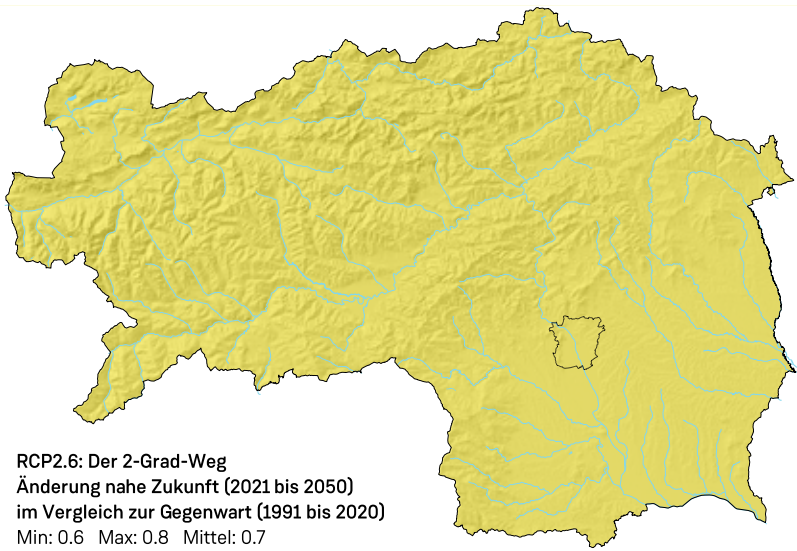


Abbildung 3.4: Änderung der jährlichen Durchschnittstemperatur für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

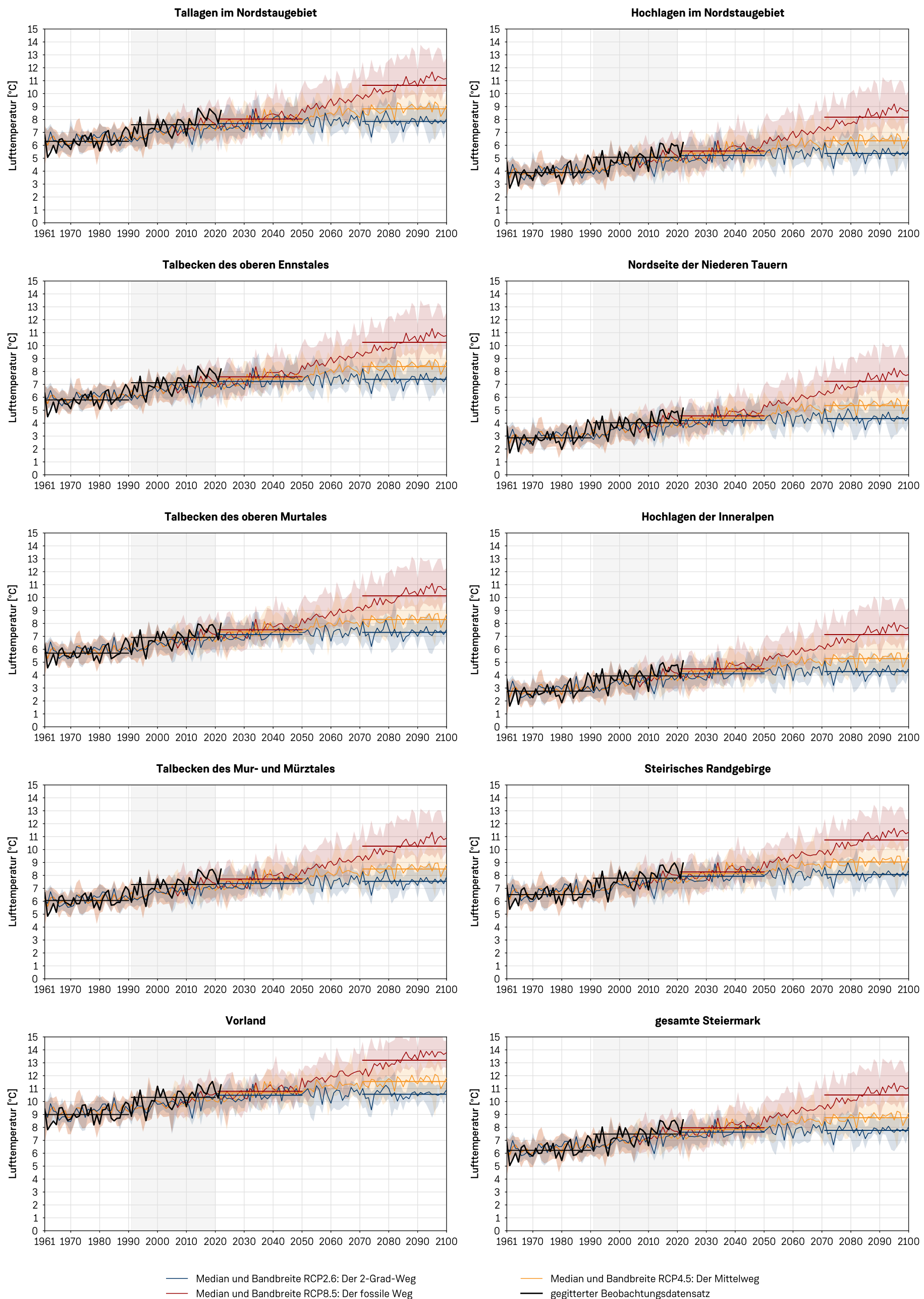


Abbildung 3.5: Zeitlicher Verlauf der jährlichen Durchschnittstemperatur von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

3.2.2 Saisonale Durchschnittstemperaturen

Definition. Die saisonale Durchschnittstemperatur ist der Mittelwert aller Tagesmitteltemperaturen einer meteorologischen Jahreszeit. Die meteorologischen Jahreszeiten sind folgendermaßen definiert: Winter: 1. Dezember bis 28. (in Schaltjahren 29.) Februar; Frühling: 1. März bis 31. Mai; Sommer: 1. Juni bis 31. August; Herbst: 1. September bis 30. November.

Aussagekraft. Die saisonalen Durchschnittstemperaturen geben eine vereinfachte, geglättete Auskunft über den Jahresgang der Temperatur in einer Region und über saisonale Unterschiede der räumlichen Temperaturverteilungen, insbesondere der Höhenabhängigkeit. Solcherart erlauben sie eine orientierende Information über die saisonalen thermischen Verhältnisse. Für einen detaillierteren Blick auf den Jahresgang und für die klimatologische Einordnung, etwa nach Köppen-Geiger (z. B. Kottek et al., 2006), betrachtet man besser monatliche Durchschnittstemperaturen (siehe Abschnitt 3.2.3).

Mittelwerte 1991 – 2020. Die langjährigen saisonalen Temperaturmittelwerte der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 betragen 7,0°C im Frühling, 16,2°C im Sommer, 7,8°C im Herbst und -1,4°C im Winter (siehe Abbildungen 3.6 bis 3.9). Dies sind flächengewichtete Mittelwerte über allen Höhenlagen.

Räumliche Verteilung. Die räumliche Verteilung der saisonalen Durchschnittstemperaturen in der Steiermark ist wegen des beträchtlichen Höhenunterschiedes in der Steiermark primär von der Seehöhe abhängig. Die saisonalen Mitteltemperaturen reichen von -7,9°C in den höchsten Lagen im Winter bis 21,0°C im Südosten der Steiermark im Sommer. Interessant sind vor allem auch saisonale Unterschiede der vertikalen Temperaturgradienten. Diese betragen im Winter -0,40°C pro 100 m, im Frühling -0,61°C pro 100 m, im Sommer -0,61°C pro 100 m und im Herbst -0,48°C pro 100 m. Die Ursache dieser geringeren Abnahme der Temperatur mit der Höhe im Herbst und im Winter ist die geringere Aufheizung der Erdoberfläche, dadurch schlechtere vertikale Durchmischung, höhere Stabilität der Atmosphäre und häufigere Bildung von bodennahen Temperaturinversionen in diesen Jahreszeiten. Ein besonderes Charakteristikum des Winterklimas in der Steiermark ist die Ausbildung von lokalen Kaltluftseen in abgeschlossenen Talbecken, wie dem Mitterndorfer, Trofaia-cher, Aflenzer, Knittelfelder und Passailer Becken, den kleinen Becken rund um Graz und dem Ennstal bei Admont. Demgegenüber sind die umgebenden mittleren Lagen oft thermisch begünstigt. Diese besondere Eigenheit des Winterklimas wird in den Karten aufgrund der unzureichenden Anzahl an verfügbaren Dauer-Messstationen nur unvollständig wiedergegeben, wurde aber durch zahlreiche

Sondermesskampagnen und Untersuchungen mehrfach dokumentiert. Eine ausführlichere Diskussion dieser Thematik ist im Klimaatlas Steiermark, Periode 1971 – 2000 (Wakonigg, Podesser, 2012), zu finden. In den Jahreszeiten mit stärkerer Sonneneinstrahlung (Frühling und Sommer) bewirkt die stärkere Erwärmung der Erdoberfläche mehr vertikale Durchmischung, was Temperaturinversionen entgegenwirkt, den Temperaturgradienten stärker in Richtung des adiabatischen Gradienten – also zu stärkerer Temperaturabnahme mit der Höhe – drängt und in Zusammenhang mit dem Auftreten von konvektiven Wetterlagen und Gewittern steht. **Zeitliche Änderung.** Die Temperatur in der Steiermark hat sich im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990, siehe Abbildung 3.10) in allen Saisons signifikant erhöht. Die Erwärmung verläuft im Winter (1,3°C) und Frühling (1,4°C) sehr ähnlich wie im Jahresmittel. Im Sommer wurde mit 1,8°C aber eine deutlich stärkere und im Herbst mit 0,7°C eine deutlich geringere Erwärmung registriert. Diese über den Jahresverlauf gesehen ungleichmäßig verteilte Erwärmung wird in der monatlichen Betrachtung noch deutlicher und wird dort diskutiert (siehe Abschnitt 3.2.3). Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien eine weitere Erwärmung um 0,5°C bis 0,7°C voraus, wobei die Klimasimula-

Tabelle 3.2: Durchschnittstemperaturen im Frühling (März, April, Mai) in den verschiedenen Klimaregionen und der gesamten Steiermark für die Vergangenheit (1961 – 1990) und Gegenwart (1991 – 2020) sowie Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) im Vergleich zur Gegenwart.

Region	1961 – 1990	1991 – 2020	RCP2.6 Änderung bis 2021 – 2050	RCP2.6 Änderung bis 2071 – 2100	RCP4.5 Änderung bis 2071 – 2100	RCP8.5 Änderung bis 2071 – 2100
Tallagen im Nordstaugebiet	5,9	7,3	0,7	1,2	1,7	3,3
Hochlagen im Nordstaugebiet	2,5	4,0	0,7	1,2	1,7	3,3
Talbecken des oberen Ennstales	5,5	6,9	0,7	1,1	1,7	3,3
Nordseite der Niederen Tauern	1,1	2,4	0,7	1,1	1,7	3,3
Talbecken des oberen Murtales	4,9	6,3	0,7	1,1	1,7	3,2
Hochlagen der Inneralpen	0,9	2,2	0,7	1,1	1,8	3,3
Talbecken des Mur- und Mürztales	5,7	7,0	0,8	1,1	1,7	3,1
Steirisches Randgebirge	6,3	7,6	0,8	1,0	1,6	2,9
Vorland	9,1	10,5	0,7	0,8	1,4	2,7
Steiermark	5,7	7,0	0,7	1,0	1,6	3,1

Tabelle 3.3: Durchschnittstemperaturen im Sommer (Juni, Juli, August) in den verschiedenen Klimaregionen und der gesamten Steiermark für die Vergangenheit (1961 – 1990) und Gegenwart (1991 – 2020) sowie Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) im Vergleich zur Gegenwart.

Region	1961 – 1990	1991 – 2020	RCP2.6 Änderung bis 2021 – 2050	RCP2.6 Änderung bis 2071 – 2100	RCP4.5 Änderung bis 2071 – 2100	RCP8.5 Änderung bis 2071 – 2100
Tallagen im Nordstaugebiet	14,6	16,4	0,5	0,6	1,6	3,4
Hochlagen im Nordstaugebiet	11,2	13,1	0,5	0,6	1,6	3,5
Talbecken des oberen Ennstales	14,1	16,0	0,6	0,6	1,7	3,6
Nordseite der Niederen Tauern	9,9	11,6	0,6	0,6	1,7	3,6
Talbecken des oberen Murtales	13,7	15,5	0,6	0,6	1,6	3,6
Hochlagen der Inneralpen	9,9	11,4	0,6	0,6	1,7	3,7
Talbecken des Mur- und Mürztales	14,4	16,1	0,5	0,5	1,5	3,4
Steirisches Randgebirge	15,0	16,8	0,5	0,5	1,5	3,4
Vorland	17,9	19,7	0,5	0,5	1,5	3,4
Steiermark	14,4	16,2	0,5	0,5	1,6	3,5

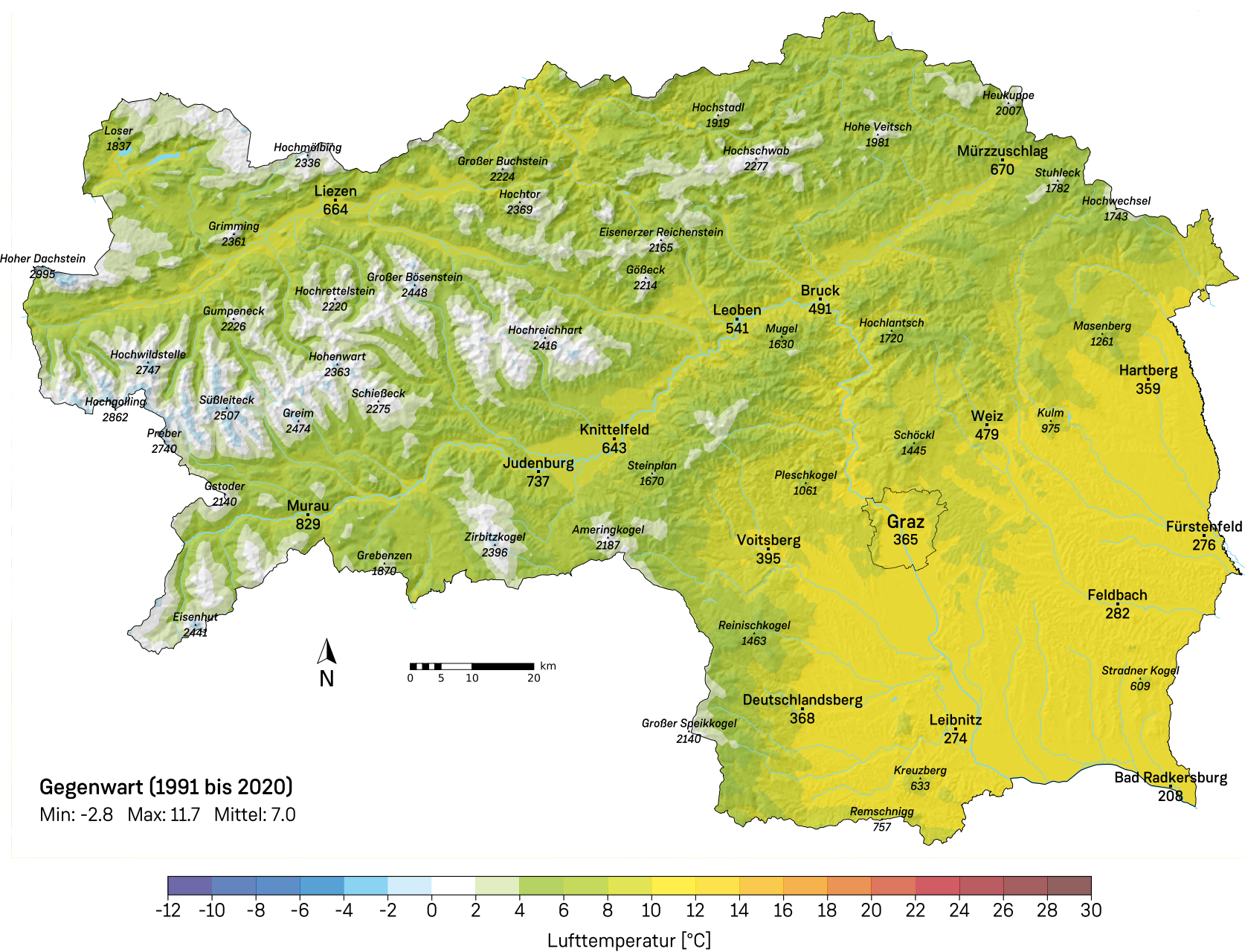


Abbildung 3.6: Jahreszeitliche Durchschnittstemperatur für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020) für den Frühling.

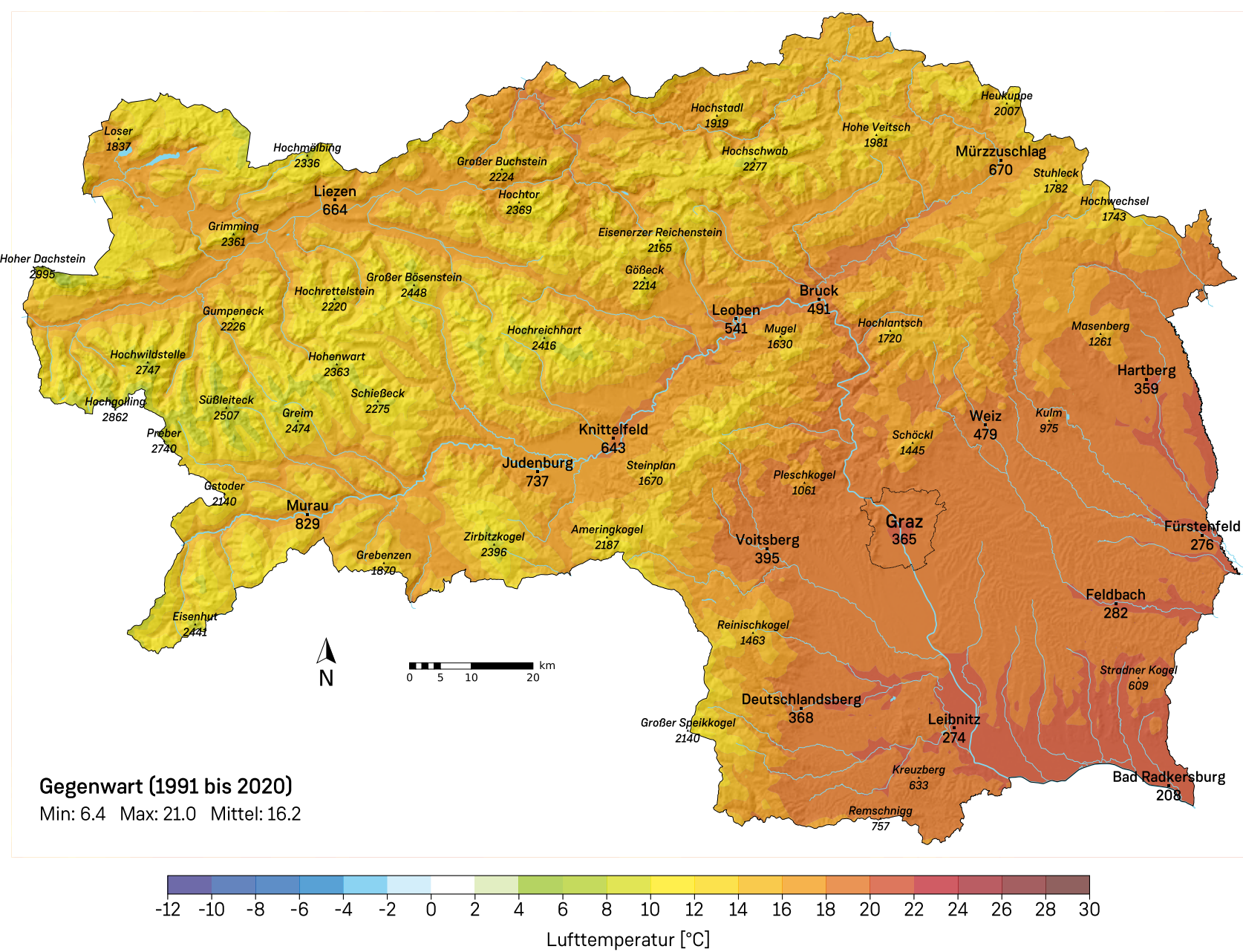


Abbildung 3.7: Jahreszeitliche Durchschnittstemperatur für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020) für den Sommer.

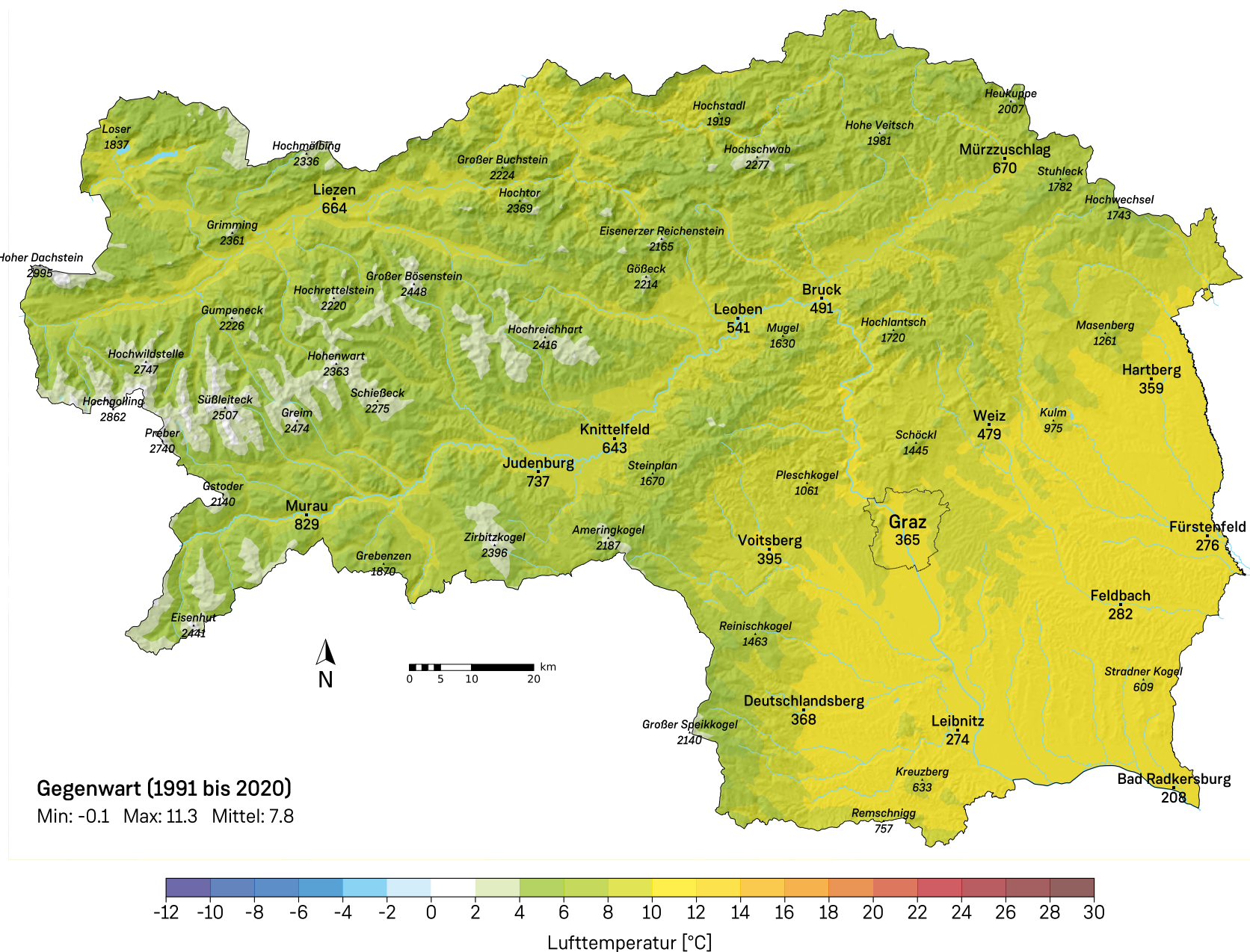


Abbildung 3.8: Jahreszeitliche Durchschnittstemperatur für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020) für den Herbst.

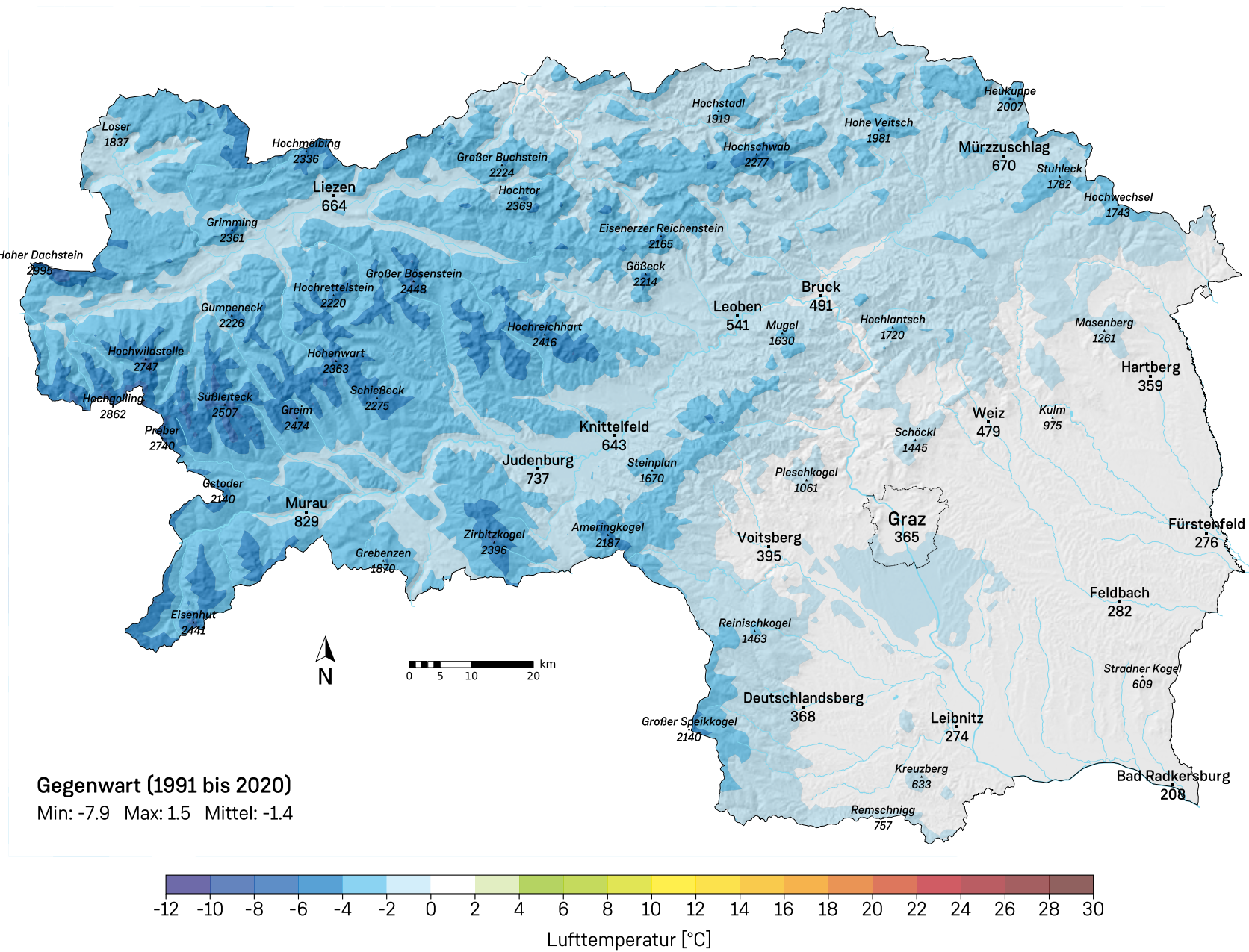


Abbildung 3.9: Jahreszeitliche Durchschnittstemperatur für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020) für den Winter.

Tabelle 3.4: Durchschnittstemperaturen im Herbst (September, Oktober, November) in den verschiedenen Klimaregionen und der gesamten Steiermark für die Vergangenheit (1961 – 1990) und Gegenwart (1991 – 2020) sowie Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) im Vergleich zur Gegenwart.

Region	1961 – 1990	1991 – 2020	RCP2.6 Änderung bis 2021 – 2050	RCP2.6 Änderung bis 2071 – 2100	RCP4.5 Änderung bis 2071 – 2100	RCP8.5 Änderung bis 2071 – 2100
Tallagen im Nordstaugebiet	7,4	8,1	0,7	0,6	1,5	3,5
Hochlagen im Nordstaugebiet	5,2	5,7	0,7	0,6	1,5	3,5
Talbecken des oberen Ennstales	6,8	7,6	0,8	0,7	1,6	3,6
Nordseite der Niederen Tauern	4,0	4,3	0,8	0,7	1,6	3,6
Talbecken des oberen Murtales	6,4	7,0	0,7	0,5	1,5	3,5
Hochlagen der Inneralpen	3,8	3,9	0,7	0,6	1,6	3,6
Talbecken des Mur- und Mürztales	7,2	7,7	0,6	0,5	1,4	3,3
Steirisches Randgebirge	7,7	8,2	0,5	0,4	1,4	3,3
Vorland	9,6	10,3	0,5	0,4	1,5	3,3
Steiermark	7,2	7,8	0,6	0,5	1,5	3,4

Tabelle 3.5: Durchschnittstemperaturen im Winter (Dezember, Jänner, Februar) in den verschiedenen Klimaregionen und der gesamten Steiermark für die Vergangenheit (1961 – 1990) und Gegenwart (1991 – 2020) sowie Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) im Vergleich zur Gegenwart.

Region	1961 – 1990	1991 – 2020	RCP2.6 Änderung bis 2021 – 2050	RCP2.6 Änderung bis 2071 – 2100	RCP4.5 Änderung bis 2071 – 2100	RCP8.5 Änderung bis 2071 – 2100
Tallagen im Nordstaugebiet	-2,6	-1,4	0,8	0,9	1,7	3,7
Hochlagen im Nordstaugebiet	-3,9	-2,8	0,8	0,9	1,7	3,7
Talbecken des oberen Ennstales	-3,5	-2,0	0,8	0,9	1,7	3,7
Nordseite der Niederen Tauern	-4,8	-3,9	0,8	0,9	1,7	3,8
Talbecken des oberen Murtales	-3,7	-2,3	0,8	1,1	1,9	3,9
Hochlagen der Inneralpen	-5,1	-4,2	0,8	1,0	1,8	3,9
Talbecken des Mur- und Mürztales	-2,5	-1,4	0,8	1,0	1,8	3,8
Steirisches Randgebirge	-1,9	-0,7	0,7	1,0	1,8	3,7
Vorland	-0,9	0,4	0,6	0,9	1,7	3,5
Steiermark	-2,6	-1,4	0,7	1,0	1,8	3,7

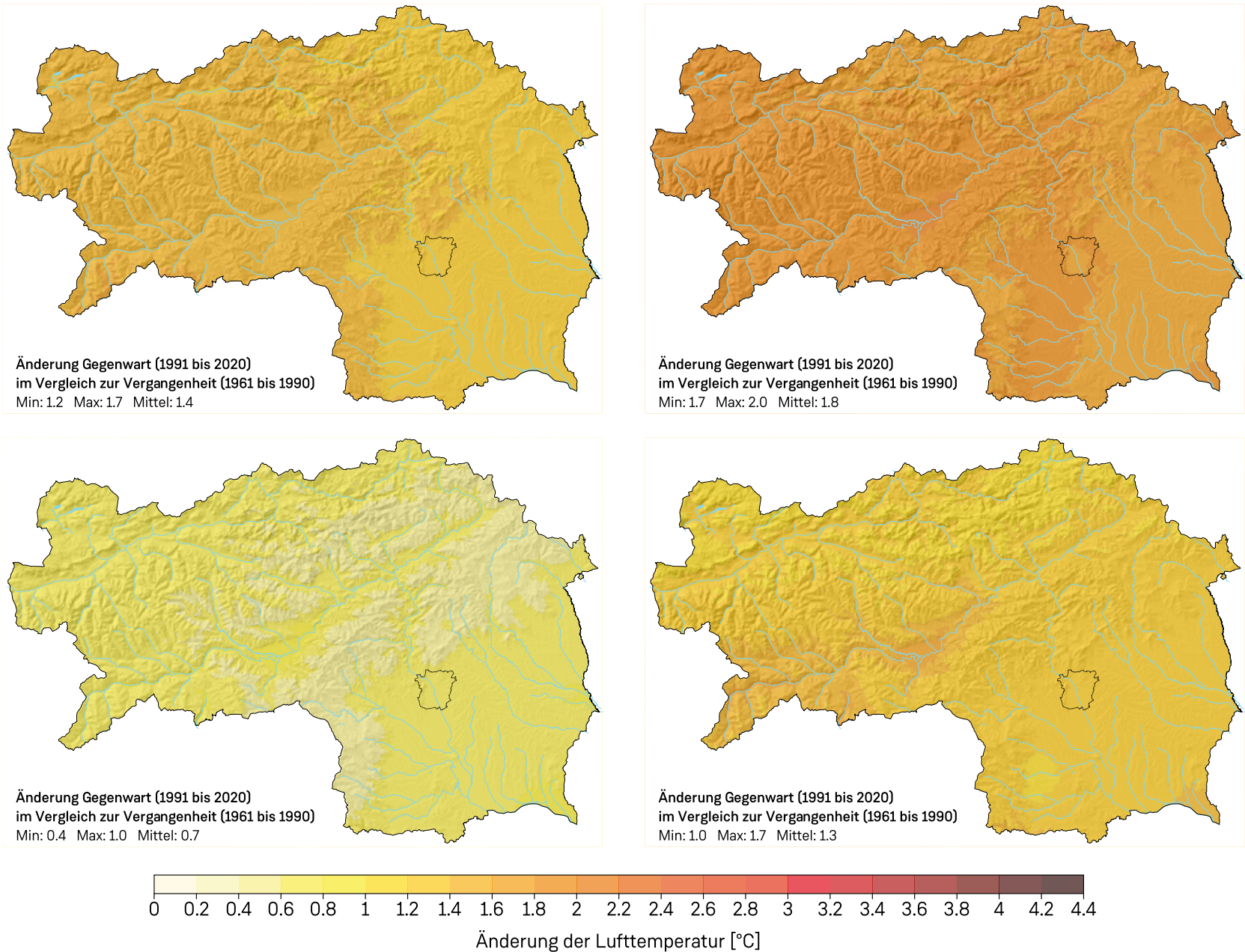


Abbildung 3.10: Änderung der jahreszeitlichen Durchschnittstemperatur. Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990) für den Frühling (links oben), den Sommer (rechts oben), den Herbst (links unten) und den Winter (rechts unten).

tionen für die Zukunft weder auf eine stärkere Erwärmung im Sommer noch auf eine schwächere Erwärmung im Herbst hinweisen. Dies gilt für das Szenario „2-Grad-Ziel“, welches sich bis 2050 von anderen Szenarien kaum unterscheidet. Die detaillierten Werte für die unterschiedlichen Klimaregionen, Saisonen, Perioden und Szenarien sind in den Tabellen 3.2 bis 3.5 zu finden.

3.2.3 Monatliche Durchschnittstemperaturen

Definition. Die monatliche Durchschnittstemperatur ist der Mittelwert aller Tagesmitteltemperaturen eines Monats.

Aussagekraft. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen geben detailliert Auskunft über den Jahresgang der Temperatur und damit der thermischen Verhältnisse im Jahresverlauf und sind gemeinsam mit den monatlichen Niederschlagssummen Basis für ihre klimatologische Einordnung, etwa nach Köppen-Geiger (z. B. Kottek et al., 2006).

Mittelwerte 1991 – 2020. Die langjährigen monatlichen Temperaturmittelwerte der Steiermark reichen von -2,1°C im kältesten Monat (Jänner) bis 16,8°C im wärmsten Monat (Juli) (siehe Abbildung 3.11). Die recht große Schwankungsbreite zwischen kältestem und wärmstem Monat von 18,9°C und der daraus resultierende Kontinentalitätsindex von etwa 25% ordnet die Steiermark zwar knapp in die

Gruppe der maritimen Übergangsklimate ein (Gorczyński, 1922), dennoch sind kontinentale Klimacharakteristika (d.h. große jährliche Temperaturschwankungsbreite, moderate Niederschlagssummen, ausgeprägtes sommerliches Niederschlagsmaximum) in der Steiermark wesentlich stärker ausgeprägt als in weiter westlich gelegenen Regionen Europas, in denen deutlich ausgeglichene Jahresverläufe der Klimatelemente vorherrschen.

Räumliche Verteilung. Die Betrachtung der Temperaturjahresgänge der unterschiedlichen Klimaregionen (Abbildung 3.11) macht die klimatologische Vielfalt der Steiermark deutlich. Gemäß Köppen-Geiger gibt es weltweit fünf Hauptklimazonen, von denen zwei in der Steiermark zu finden sind: Während die meisten Klimaregionen der Steiermark, genau wie die gesamte Steiermark im Mittelwert, zur warm-temperierten Zone gehören (Hauptklimazone C, d.h. die mittlere Temperatur des kältesten Monats liegt zwischen -3°C und 18°C), sind die Hochlagen im Nordstaugebiet, die Nordseite der Niederen Tauern, die Hochlagen der Inneralpen und selbst die Talbecken des oberen Murtales dem Schneeklima zuzuordnen (Hauptklimazone D, d.h. die Temperatur des kältesten Monats liegt unter -3°C). Eine genauere Einordnung, die zusätzlich Sommertemperaturen und Niederschlag berücksichtigt, wird in Kapitel 2 „Klimaregionen“ getroffen. Weiters ist auffallend, dass die Jahresschwankung der Temperatur, also die Differenz zwischen Juli- und Jännertemperatur, in den Hochlagen geringer als in den tiefen

Lagen ist (Abbildung 3.11). Beispielsweise beträgt die Jahresschwankung in den Hochlagen der Inneralpen gut 16°C, im Vorland aber über 20°C. Grund dafür sind die im vorigen Abschnitt beschriebenen bodennahen Temperaturinversionen in den Wintermonaten. Damit ist das Vorland deutlich stärker kontinental geprägt als die Hochlagen und Nordstaugebiete.

Zeitliche Änderung. Die Temperatur hat sich in der Steiermark in den vergangenen Jahrzehnten im Jahresmittel um 1,3°C erhöht. Auch in jedem der einzelnen Monate hat die Temperatur signifikant zugenommen, allerdings in sehr unterschiedlichem Ausmaß (siehe Abbildung 3.12). Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) reichen die Erwärmungsraten der gesamten Steiermark von nur 0,3°C im September bis 1,9°C im Juni und August. Besonders auffallend ist die „kühle“ Anomalie im September und Oktober. Wie in den Kapiteln 6 „Niederschlag“ und 4 „Strahlung“ gezeigt wird, hat in diesen Monaten parallel dazu der Niederschlag deutlich zu- und die Sonnenscheindauer abgenommen. Bemerkenswert ist auch, dass diese im Jahresverlauf sehr ungleichmäßige Erwärmung in den Klimaszenarien nicht widerspiegelt wird (ohne Abbildung). Nach heutigem Wissensstand ist es noch unklar, ob es sich bei der geringen Erwärmung im September und Oktober um einen systematischen Effekt oder um Schwankungen im Rahmen der natürlichen Variabilität des Klimas in der Steiermark handelt.

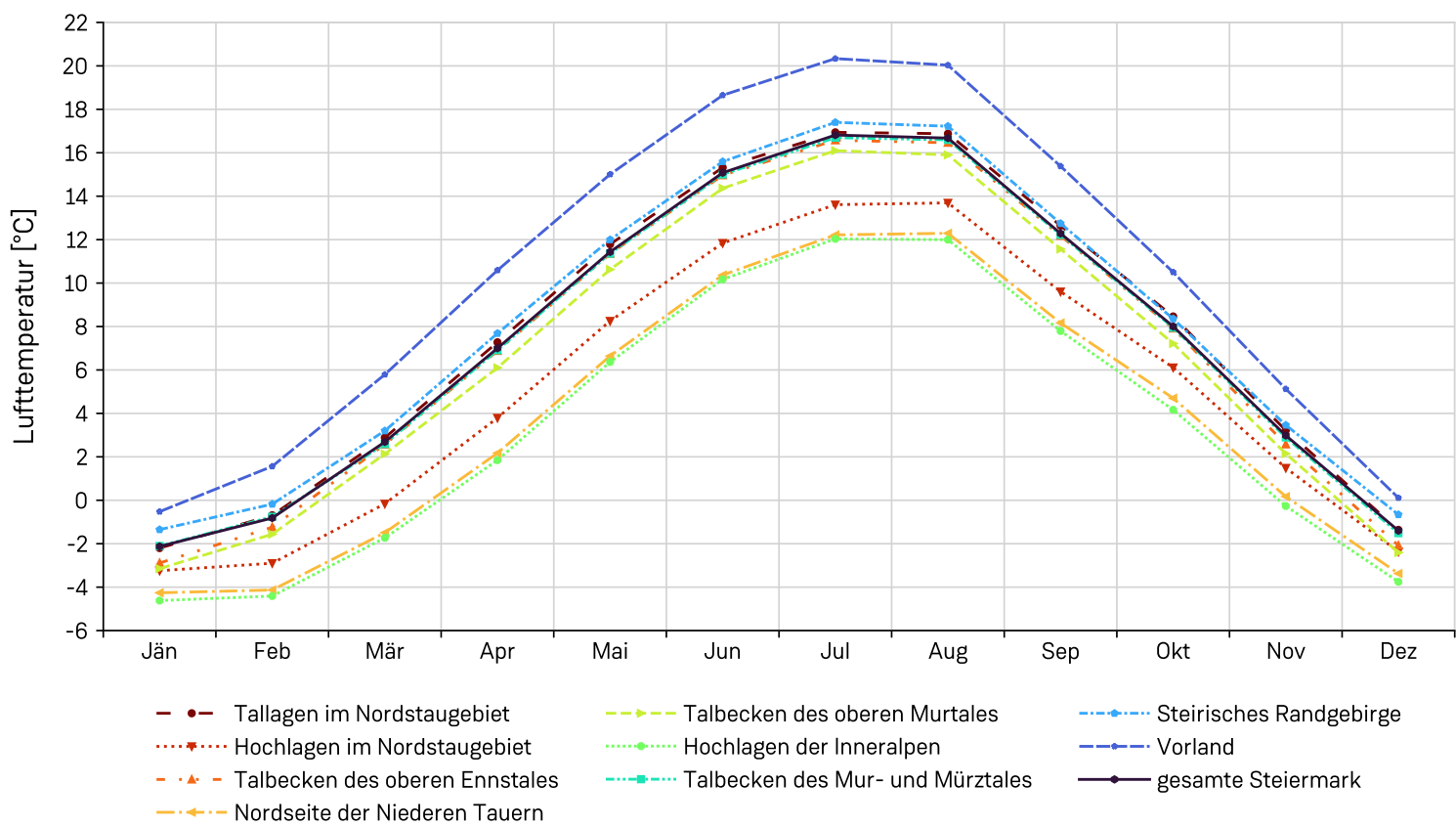


Abbildung 3.11: Mittlerer Jahresgang der monatlichen Durchschnittstemperaturen in den einzelnen Klimaregionen und der gesamten Steiermark für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020.

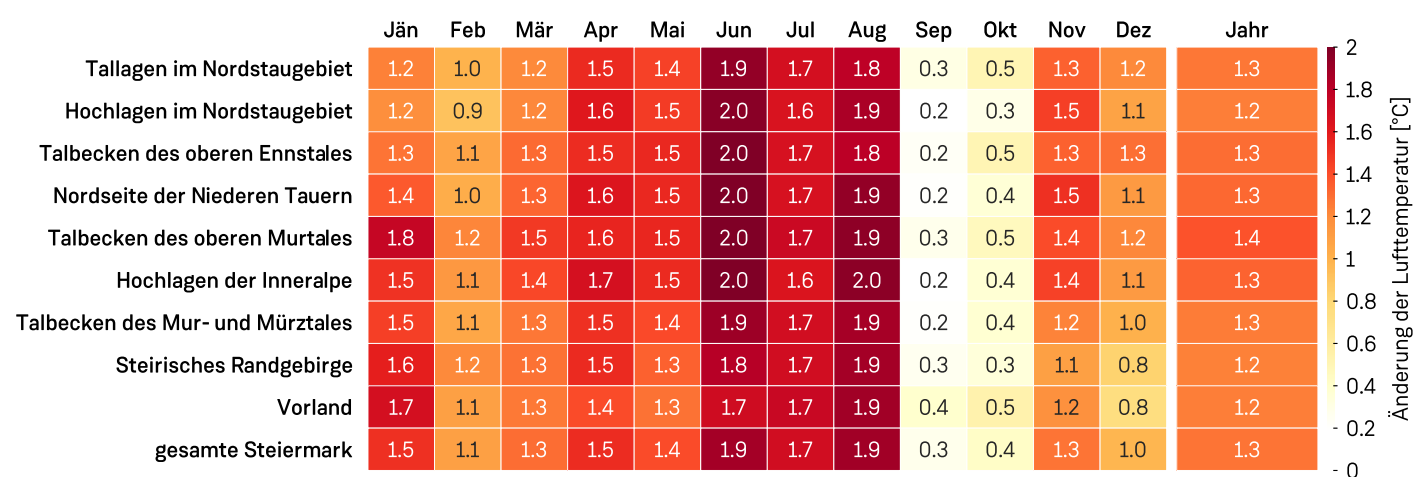


Abbildung 3.12: Änderung der monatlichen Durchschnittstemperaturen [°C] in den einzelnen Klimaregionen und der gesamten Steiermark. Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990).

3.3 Hitze und Kälte

3.3.1 Zahl der Sommertage und heißen Tage

Definition. Die Zahl der Sommertage ist definiert als die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die maximale Temperatur 25°C erreicht. Die Zahl der heißen Tage ist hingegen die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die maximale Temperatur 30°C erreicht.

Aussagekraft. Die Zahl der Sommertage wird in der Meteorologie, Klimatologie, Landwirtschaft und Stadtplanung verwendet, um den Sommer zu charakterisieren, warme Tage zu identifizieren und deren zeitliche Trends zu analysieren. Ganz ähnlich wird die Zahl der heißen Tage verwendet, allerdings in diesem Fall verstärkt, um Tage mit gesundheitlich belastenden Temperaturen und Hitzewellen zu charakterisieren. Eine wichtige Anwendung findet sie in der Meteorologie bei der Hitze-warnung. Da heiße Tage als gesundheitlich belastend gelten, werden sie im Kapitel 9 „Bio-

klima“ näher analysiert und hier nur kurz und ohne Abbildungen vergleichend zu den Som-mertagen behandelt.

Mittelwerte 1991 – 2020. Der langjährige Mit-telwert der Anzahl der Sommertage in der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 beträgt 31 (Abbildung 3.17). Der langjährige Mittelwert der Anzahl der heißen Tage beträgt 5. Diese Angaben sind Flächenmittelwerte über alle Höhenlagen der Steiermark und haben daher nur begrenzte Aussagekraft. Monatlich be-trachtet treten die meisten Sommertage und heißen Tage im Juli auf, während von Novem-ber bis März in der Regel gar keine Sommerta-ge (Abbildung 3.13, gesamte Steiermark) bzw. von Oktober bis April gar keine heißen Tage zu erwarten sind (ohne Abbildung).

Räumliche Verteilung. Die räumliche Vertei-lung der Anzahl der Sommertage und heißen Tage in der Steiermark ist sehr stark von der Höhenlage abhängig. In den unterschiedlichen

Klimaregionen der Steiermark weist das Vor-land mit Abstand die meisten Sommertage und heißen Tage auf, gefolgt von den Talla-gen des Nordstaugebietes und den Talbecken des oberen Ennstales (Abbildung 3.13). In den Hochlagen im Nordstaugebiet, der Nordseite der Niederen Tauern und den Hochlagen der Inneralpen treten üblicherweise gar keine hei-ßen Tage auf. Unterteilt man die Steiermark in Höhenlagen (Abbildung 3.14), zeigt sich, dass über 1500 m Seehöhe in den meisten Jahren gar keine Sommertage auftreten, während es in tiefen Lagen (unter 500 m) im Mittel 67 Tage sind. Das Maximum tritt dabei mit 82 Tagen in der Region um Bad Radkersburg auf. Heiße Tage wiederum fehlen oberhalb von 1000 m fast vollständig, während in tiefen Lagen unter 500 m im Mittel 14 Tage auftreten.

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vor-angegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist die Anzahl der Sommertage in der Steiermark im Mittel um 12 gestiegen (Abbil-



Foto 3.1: Der Sommer 2013 war nicht nur ausgesprochen trocken, sondern auch sehr heiß. Am 8. August wurden in Leibnitz 39,6°C, in Graz Straßgang (Bild) 38,7°C gemessen. (Foto: A. Podesser)

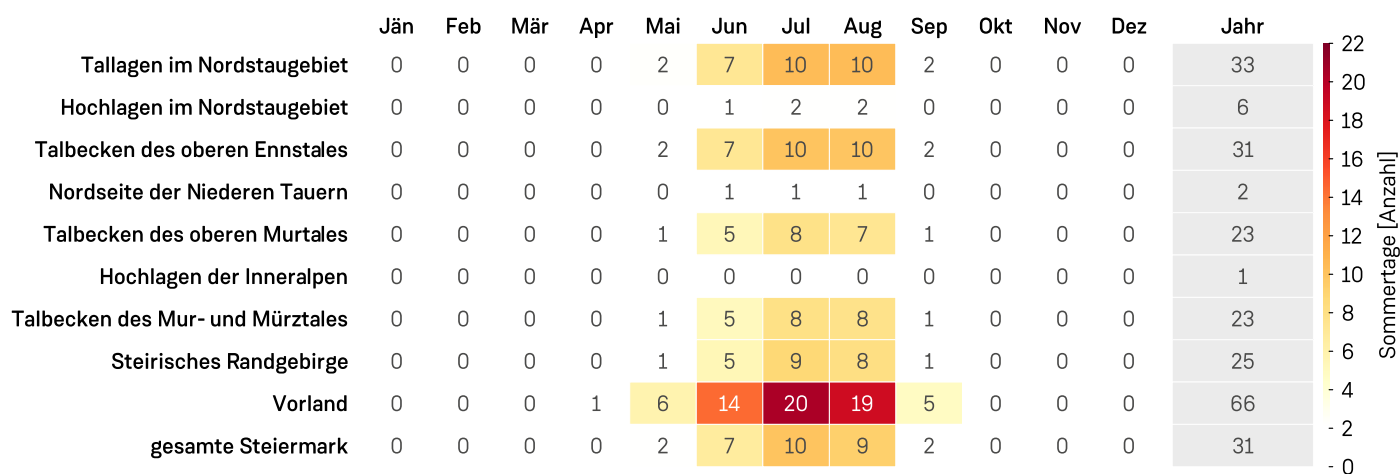


Abbildung 3.13: Anzahl der Sommertage pro Monat für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020 in den einzelnen Klimaregionen und der gesamten Steiermark.

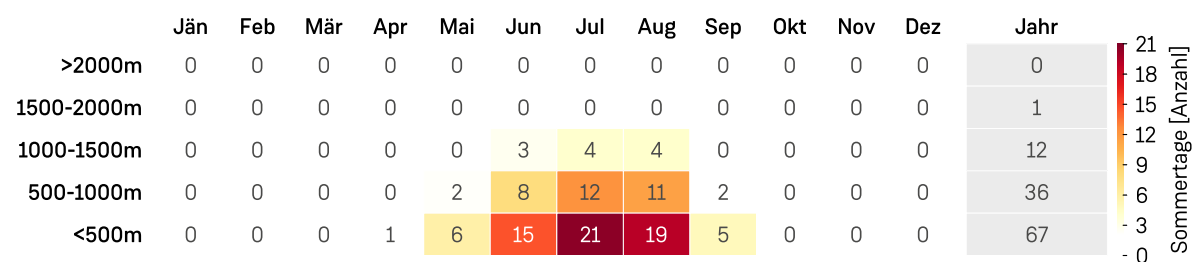


Abbildung 3.14: Anzahl der Sommertage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020 in unterschiedlichen Höhenstufen der Steiermark.

dung 3.18). Die Zunahme ist in tiefen Lagen größer (z.B. im Vorland im Mittel um 23 Tage im Jahr) und in den Hochlagen geringer bzw. nicht vorhanden (z.B. im Nordstaugebiet, den Niederen Tauern und den Hochlagen der Inneralpen weniger als 4 Tage pro Jahr). Betrachtet man die Änderungen in einzelnen Monaten und Höhenlagen (Abbildung 3.15), zeigt sich die größte Zunahme mit 7 Tagen pro Monat im August unter 500 m, während in den Monaten Oktober bis März und generell über 1500 m so gut wie keine Zunahme verzeichnet wurden. Die Anzahl der heißen Tage ist im gleichen Zeitraum im steiermarkweiten Mittelwert um 4 Tage gestiegen. Auch hier sind die Änderungen in tiefen Lagen am größten (bis zu +16 Tage pro Jahr). Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien eine weitere Zunahme von

zumindest 5 Sommertagen pro Jahr voraus (Mittelwert über die gesamte Steiermark). Dies gilt für das Szenario „2-Grad-Ziel“ (Abbildung 3.19, links oben), welches sich bis 2050 von anderen Szenarien kaum unterscheidet (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann sich die Anzahl der Sommertage etwa auf diesem Niveau stabilisieren, wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildung 3.19, rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde die Anzahl der Sommertage im Mittel um 31 zunehmen und sich damit fast verdreifachen. Die Zeitreihen der Anzahl der Sommertage (Abbildung 3.20) zeigen, dass in Regionen, in denen heute schon häufig Sommertage auftreten (also alle Regionen, in denen tiefe Lagen dominieren), in Zukunft starke Zunahmen zu erwarten sind. Hingegen nehmen die Sommertage in den Regionen, die

von Hochlagen dominiert sind, auch in näherer Zukunft nur wenig oder gar nicht zu. Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ sind allerdings gegen Ende des 21. Jahrhunderts deutliche Zunahmen auch in diesen Regionen zu erwarten. Die Zeitreihen der Anzahl der heißen Tage (Abbildung 9.7, Kapitel 9 „Bioklima“) zeigen diesen Sachverhalt noch verstärkt: In den von Hochlagen dominierten Regionen ist selbst unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ am Ende des Jahrhunderts nur sehr vereinzelt mit heißen Tagen zu rechnen, während im Vorland die größte Zunahme mit 30 Tagen zu erwarten ist.

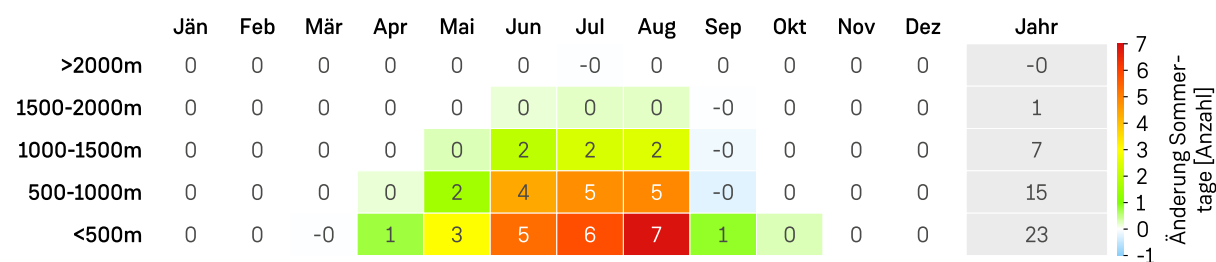


Abbildung 3.15: Änderung der Sommertage pro Monat im Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990) in unterschiedlichen Höhenstufen der Steiermark.

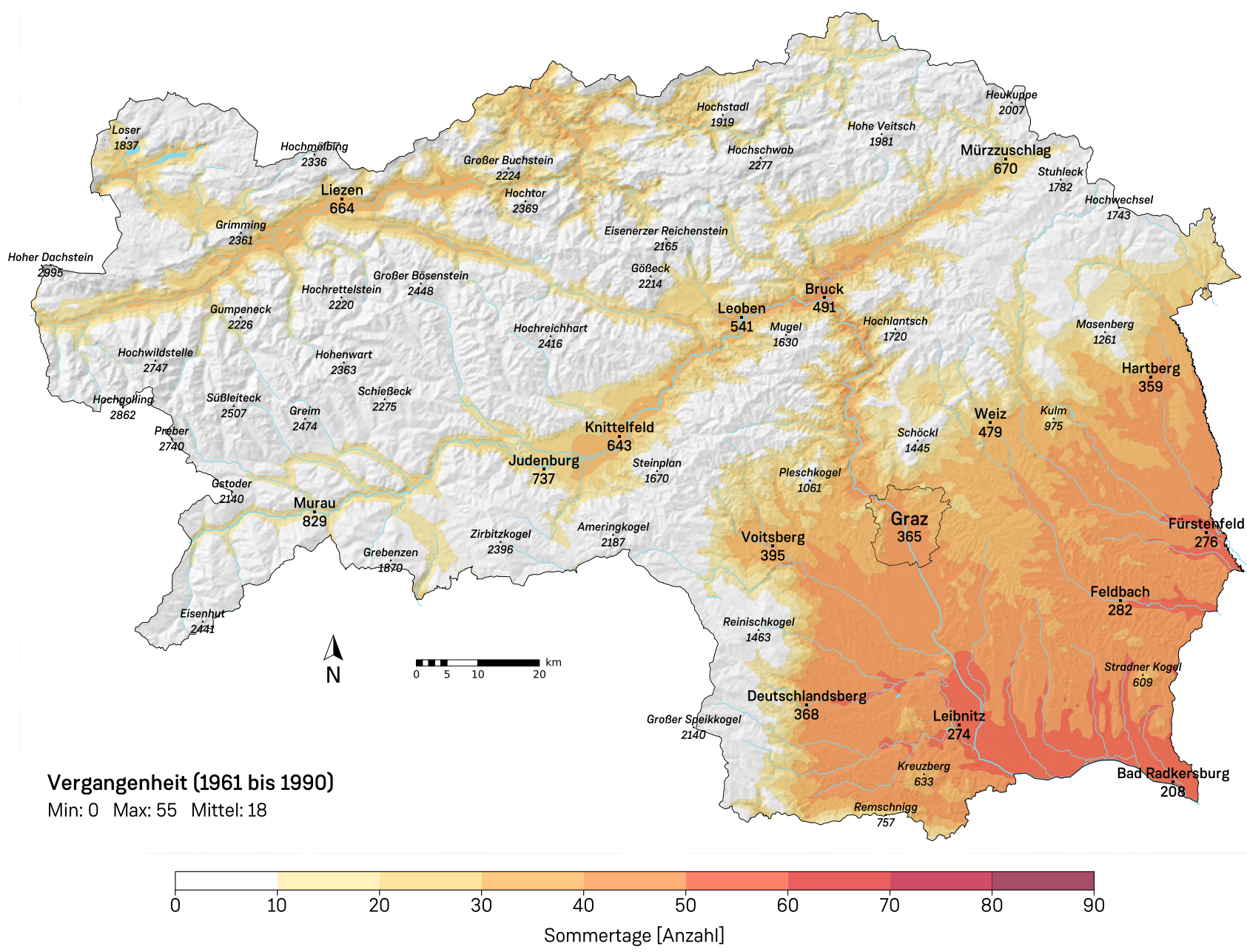


Abbildung 3.16: Anzahl der Sommertage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

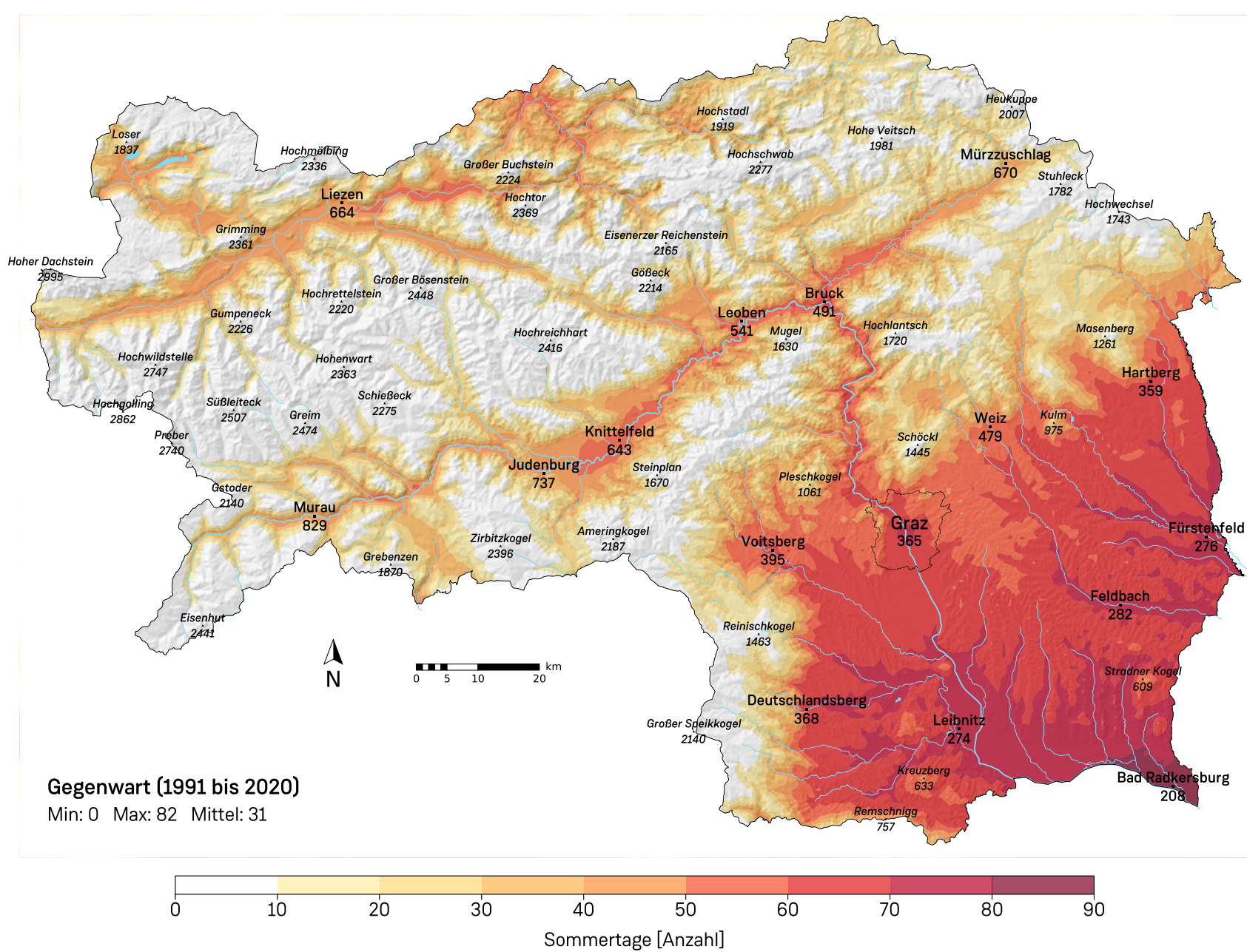


Abbildung 3.17: Anzahl der Sommertage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

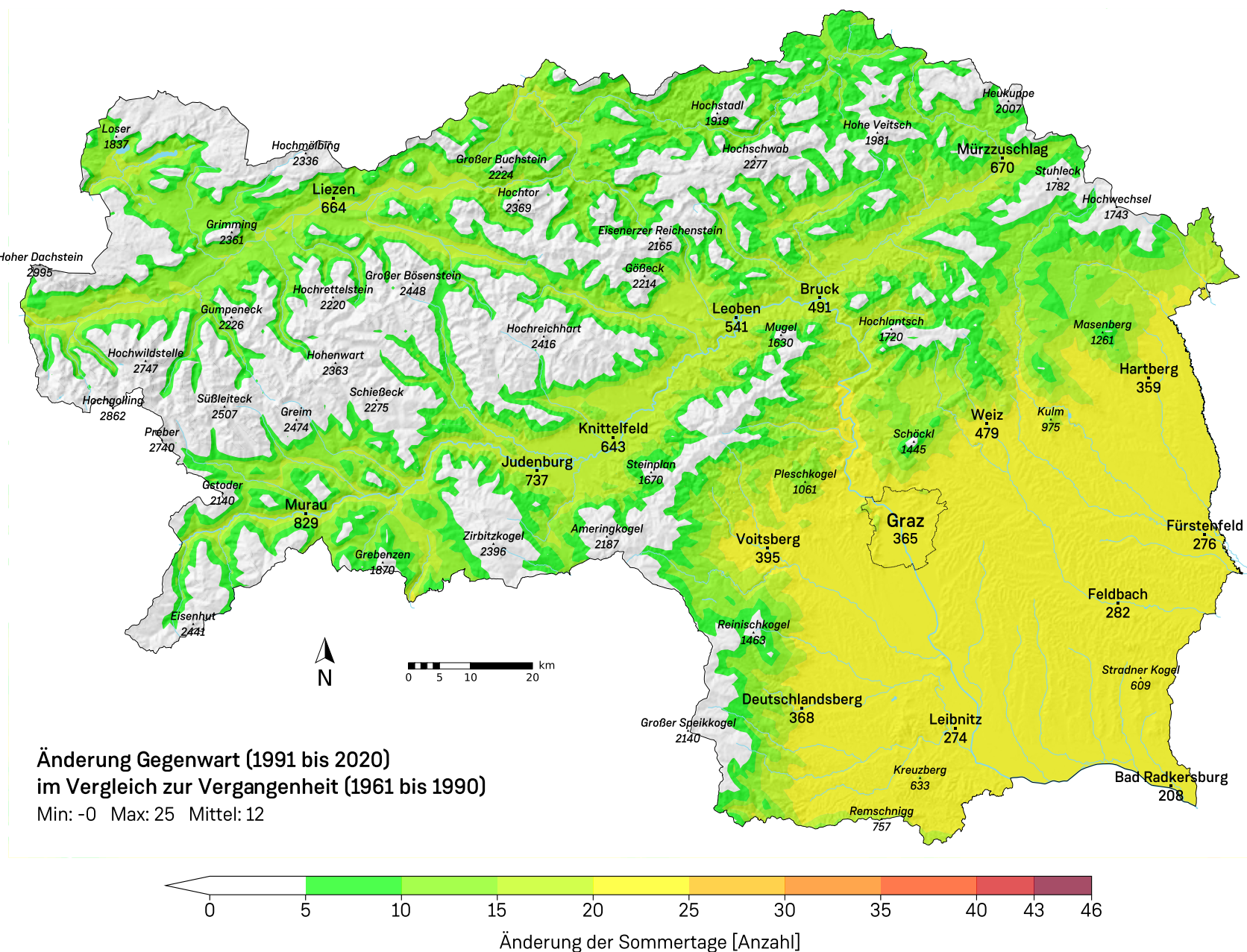


Abbildung 3.18: Änderung der Anzahl der Sommertage der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

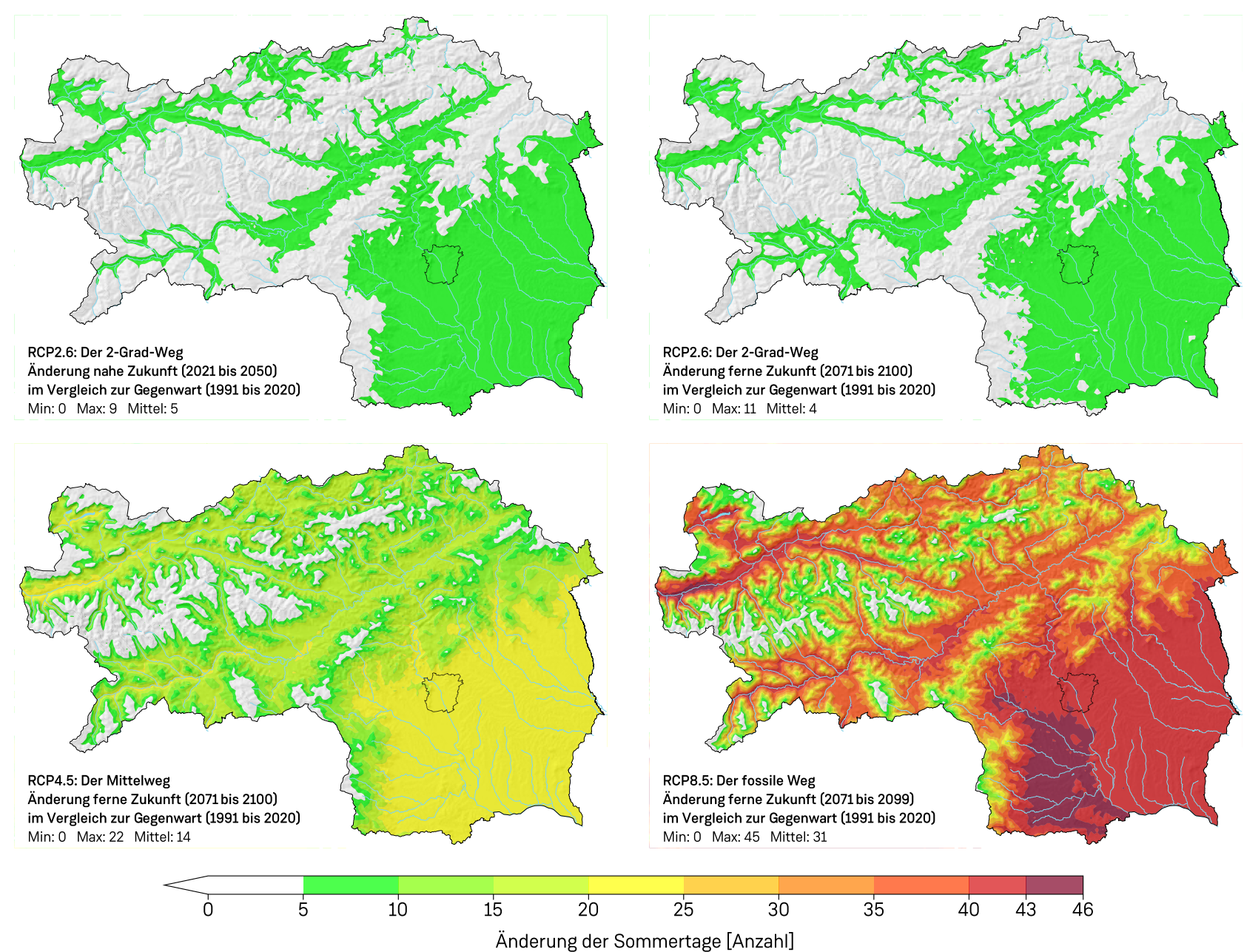


Abbildung 3.19: Änderung der Anzahl der Sommertage für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

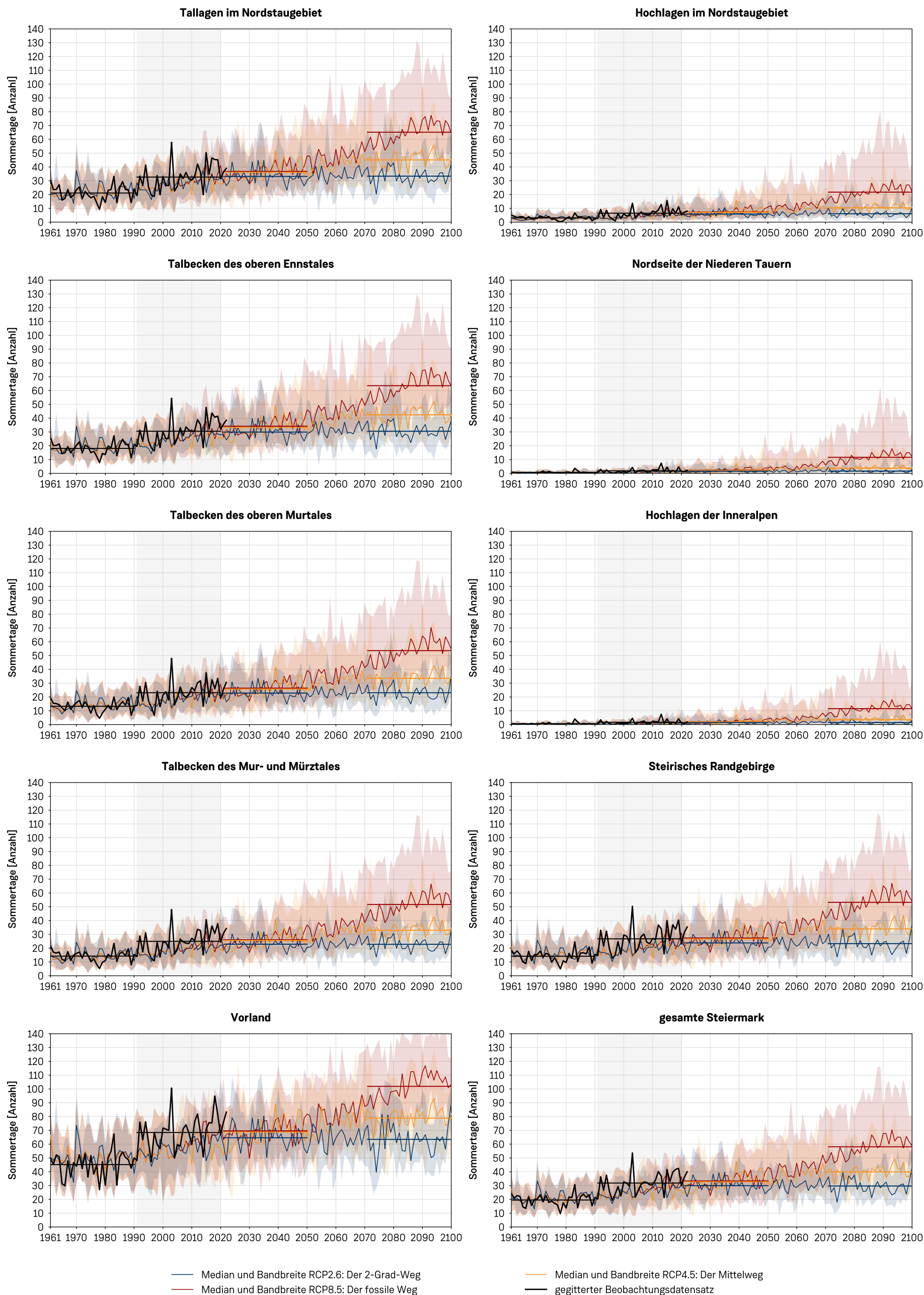


Abbildung 3.20: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der Sommertage von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

3.3.2 Zahl der Frost- und Eistage

Definition. Die Zahl der Frosttage ist definiert als die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die minimale Temperatur unter 0°C sinkt. Die Zahl der Eistage ist die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die maximale Temperatur unter 0°C bleibt.

Aussagekraft. Die Anzahl der Frosttage ist unabhängig davon, wie tief die Temperatur unter 0°C sinkt und gibt daher zwar über das Auftreten von Frost Auskunft, nicht aber über seine Intensität. Ähnlich verhält es sich mit der Anzahl der Eistage. Die Jahressumme gibt daher einen groben Überblick über die Häufigkeit von Frost in verschiedenen Regionen der Steiermark und ergänzt die Aussage über die „Strenge“ des Winters, die hauptsächlich anhand der Anzahl der Eistage getroffen wird. In der monatlichen Betrachtung (Abbildungen 3.21 und 3.22) ist die Anzahl der Frosttage insbesondere für die Landwirtschaft interessant, um das Risiko von Frostschäden für verschiedene Kulturen einzuschätzen.

Mittelwerte 1991 – 2020. Der langjährige Mittelwert der Anzahl der Frosttage in der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 beträgt 133 Tage (Abbildung 3.25). Der langjäh-

rige Mittelwert der Anzahl der Eistage beträgt 39 Tage (Abbildung 3.30). Diese Angaben sind Flächenmittelwerte über alle Höhenlagen der Steiermark. Monatlich betrachtet treten die meisten Frosttage im Dezember (27 Tage) und Jänner (28 Tage) auf (Abbildung 3.21, letzte Zeile).

Räumliche Verteilung. Die räumliche Verteilung der Anzahl der Frost- und Eistage in der Steiermark ist wegen der beträchtlichen Temperaturunterschiede in unterschiedlichen Höhenlagen sehr variabel und der Flächenmittelwert ist daher nur begrenzt aussagekräftig. Die Anzahl der Frosttage reicht von 84 Tagen in tiefen Lagen (diese Minima treten in der Innenstadt von Graz und in einer Region östlich von Hartberg auf) bis zu 245 Tagen in den höchsten Lagen der Schladminger Tauern und im Dachsteingebirge. Die Anzahl der Eistage reicht von 14 Tagen in tiefen Lagen bis zu 152 Tagen in den höchsten Lagen. Teilt man die Steiermark in Höhenstufen ein, zeigt sich die starke Höhenabhängigkeit deutlich (Abbildung 3.22): Während in tiefen Lagen (unter 500 m Seehöhe) von Mai bis September keine Frosttage auftreten, können sie über 1500 m vereinzelt selbst im Sommer vorkommen. In allen Klimaregionen treten typischerweise Frosttage bis in den April auf (Abbildung 3.21).

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist die Anzahl der Frosttage in der Steiermark im Mittel um 17 Tage gesunken (Abbildung 3.26). Die Rückgänge sind in den Klimaregionen, in denen tiefe Lagen dominieren, geringer (z.B. im Vorland im Mittel um 15 Tage) als in solchen, in denen Hochlagen dominieren (z.B. im Nordstaugebiet, den Niederen Tauern und den Hochlagen der Inneralpen im Mittel um 19 Tage). In den einzelnen Höhenlagen wurden unter 500 m um 13 Frosttage weniger, zwischen 500 m und 1000 m um 17 Tage weniger, zwischen 1000 m und 1500 m um 19 Tage weniger, zwischen 1500 m und 2000 m um 21 Tage weniger und über 2000 m um 23 Tage weniger registriert. Der stärkste Rückgang tritt im Frühling und Herbst auf (Abbildung 3.23). Die Anzahl der Eistage ist im gleichen Zeitraum steiermarkweit um 11 Tage gesunken. Auch hier sind die Änderungen in tiefen Lagen, wo es schon in der Vergangenheit nur wenige Eistage gegeben hat, am geringsten und in hohen Lagen am größten.

Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien eine weitere Abnahme um zumindest 12 Frosttage voraus (Mittelwert über die gesamte Steiermark). Dies gilt für das Szenario „2-Grad-Ziel“ (Abbildung 3.27, links

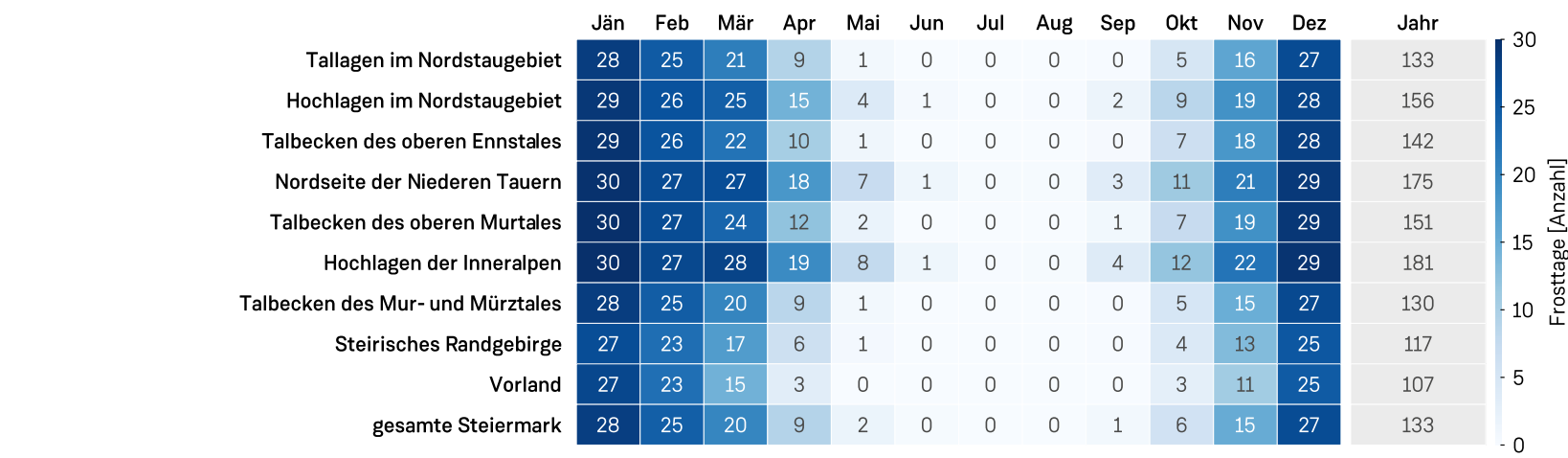


Abbildung 3.21: Anzahl der Frosttage pro Monat für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020 in unterschiedlichen Klimaregionen und der gesamten Steiermark.

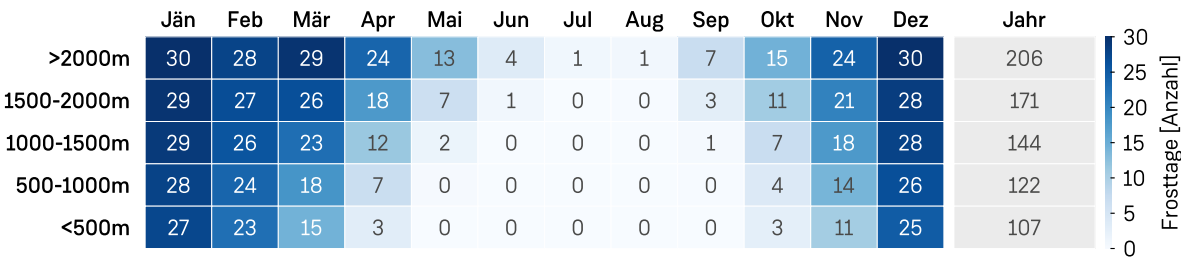


Abbildung 3.22: Anzahl der Frosttage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020 in unterschiedlichen Höhenstufen der Steiermark.

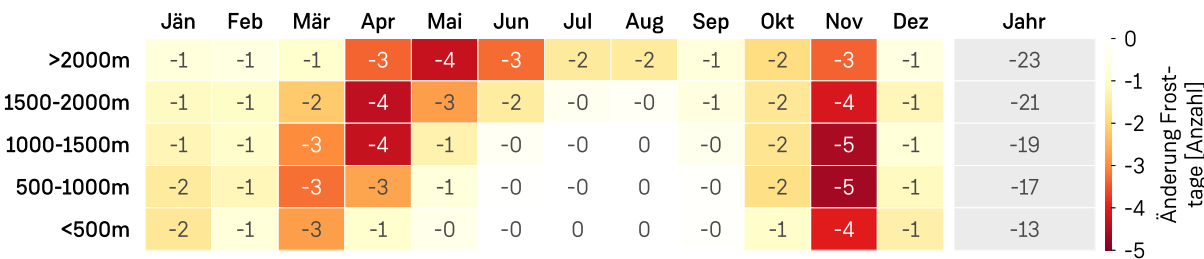


Abbildung 3.23: Änderung der Frosttage pro Jahr im Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990) in unterschiedlichen Höhenstufen der Steiermark.

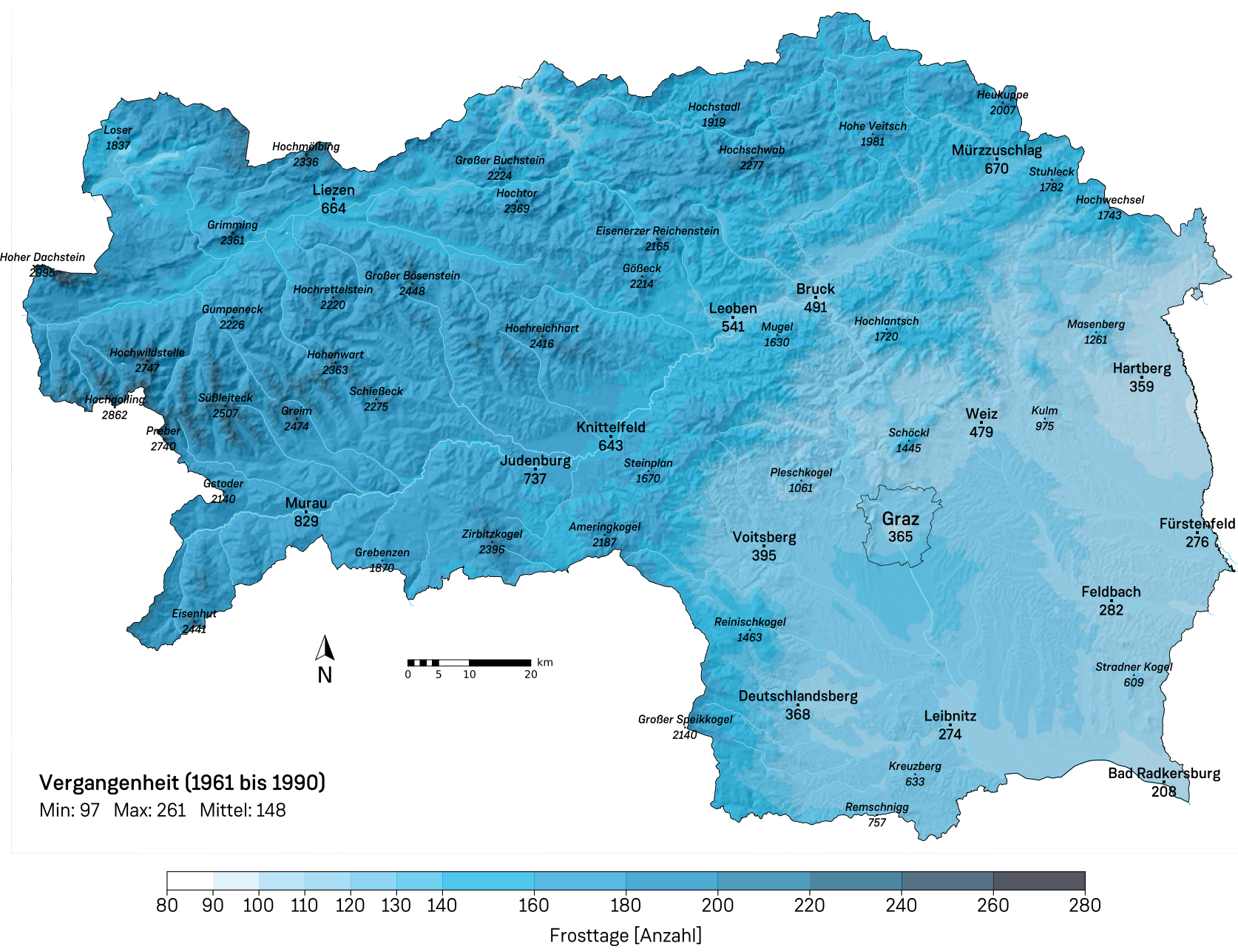


Abbildung 3.24: Anzahl der Frosttage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

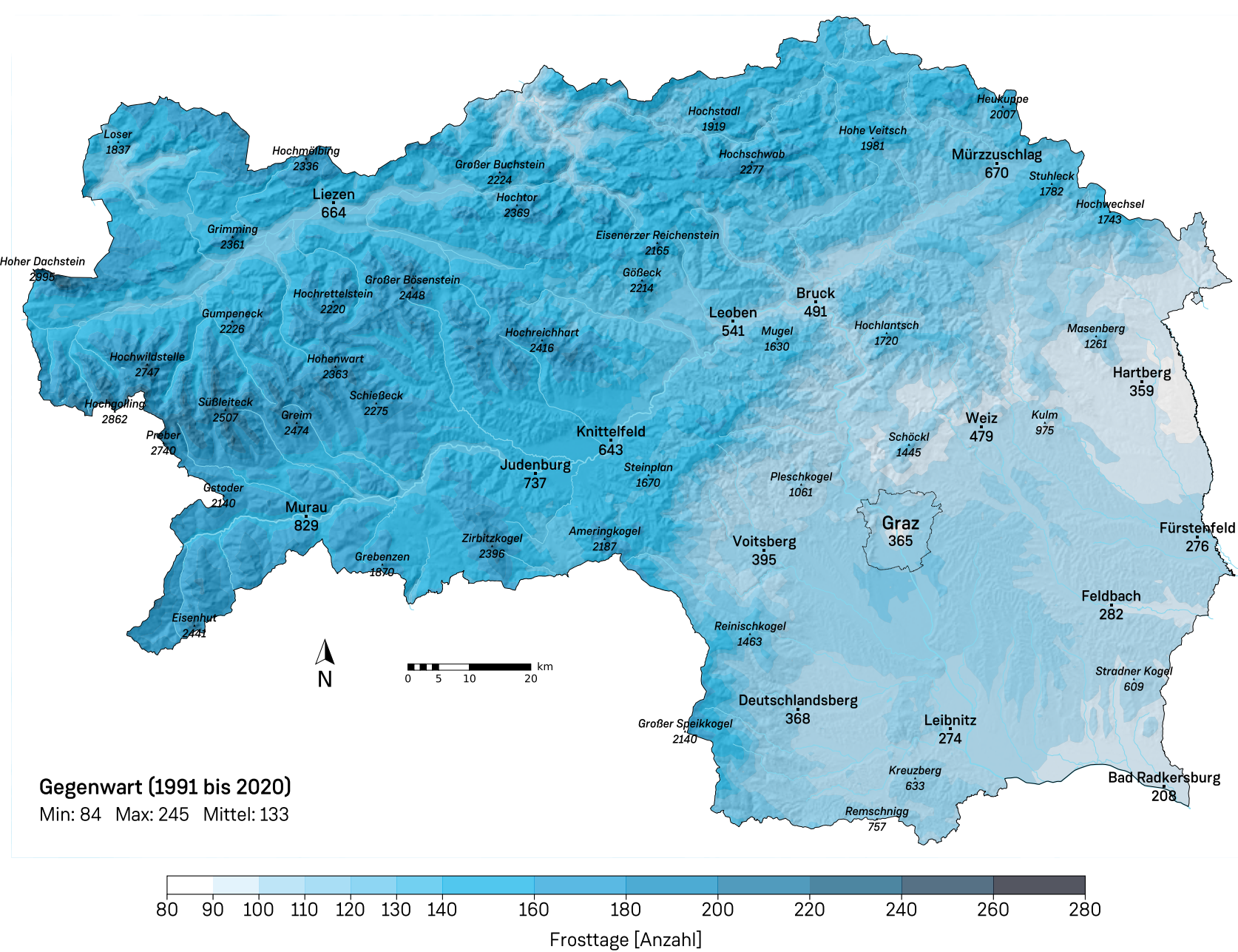


Abbildung 3.25: Anzahl der Frosttage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

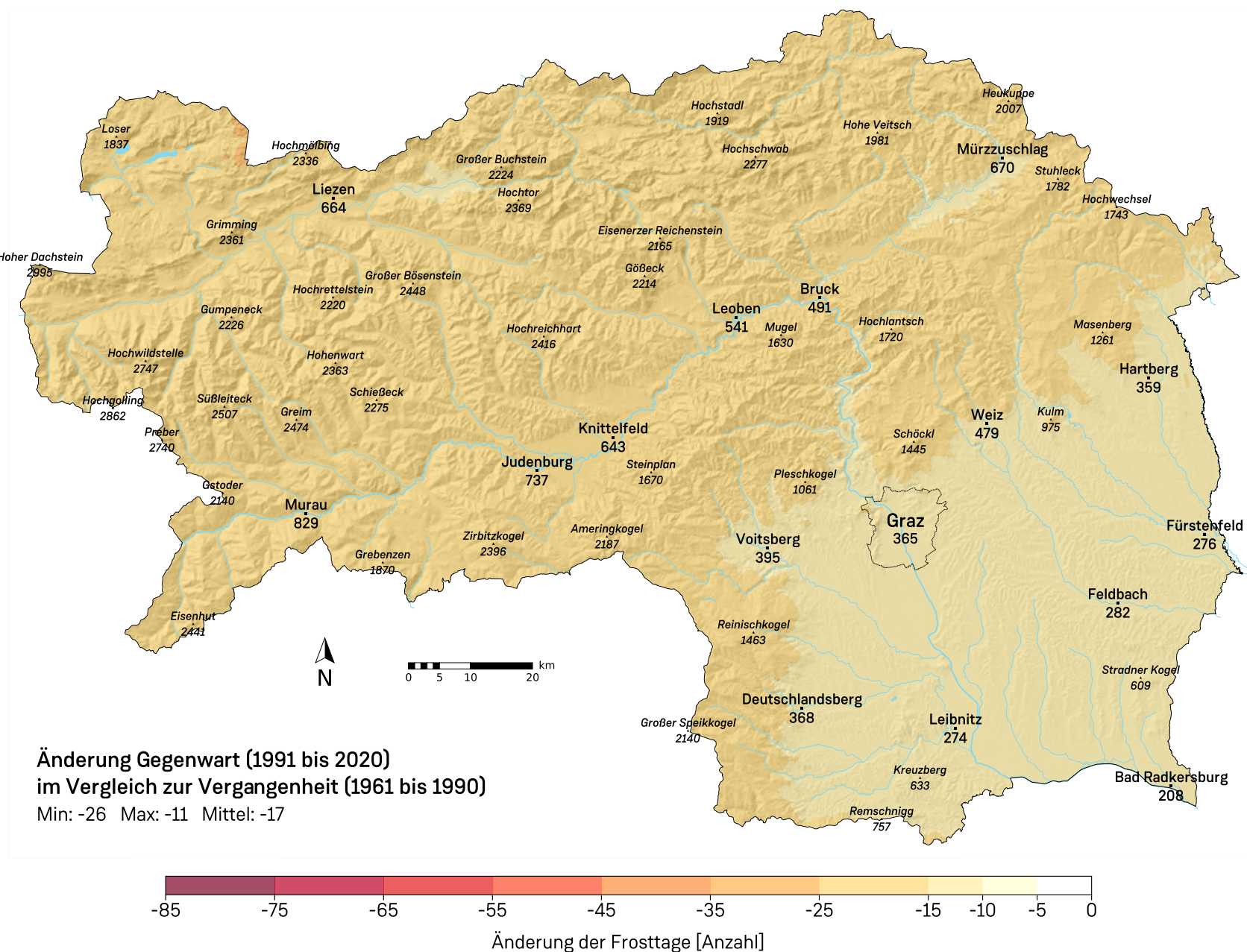


Abbildung 3.26: Änderung der Anzahl der Frosttage der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

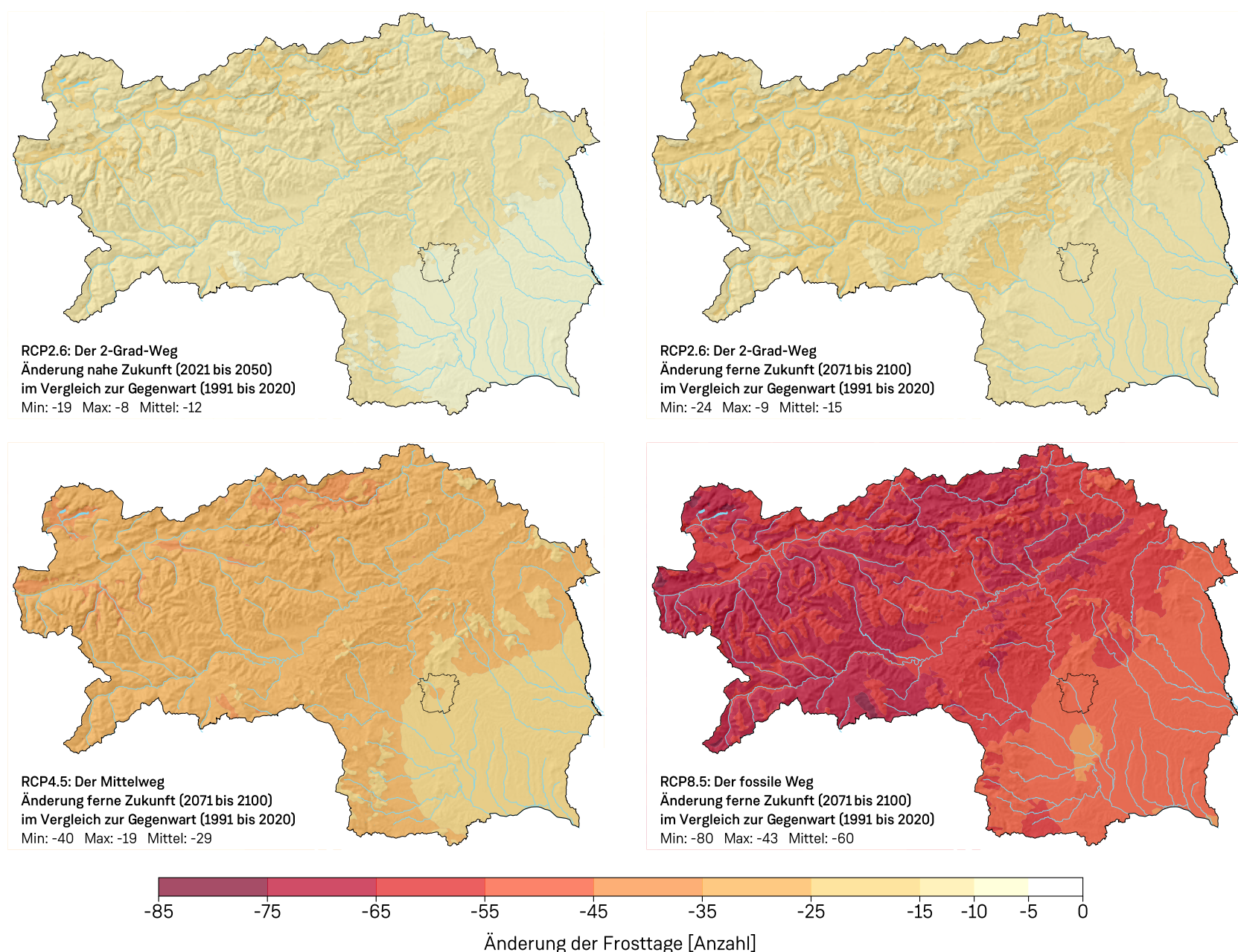


Abbildung 3.27: Änderung der Anzahl der Frosttage für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

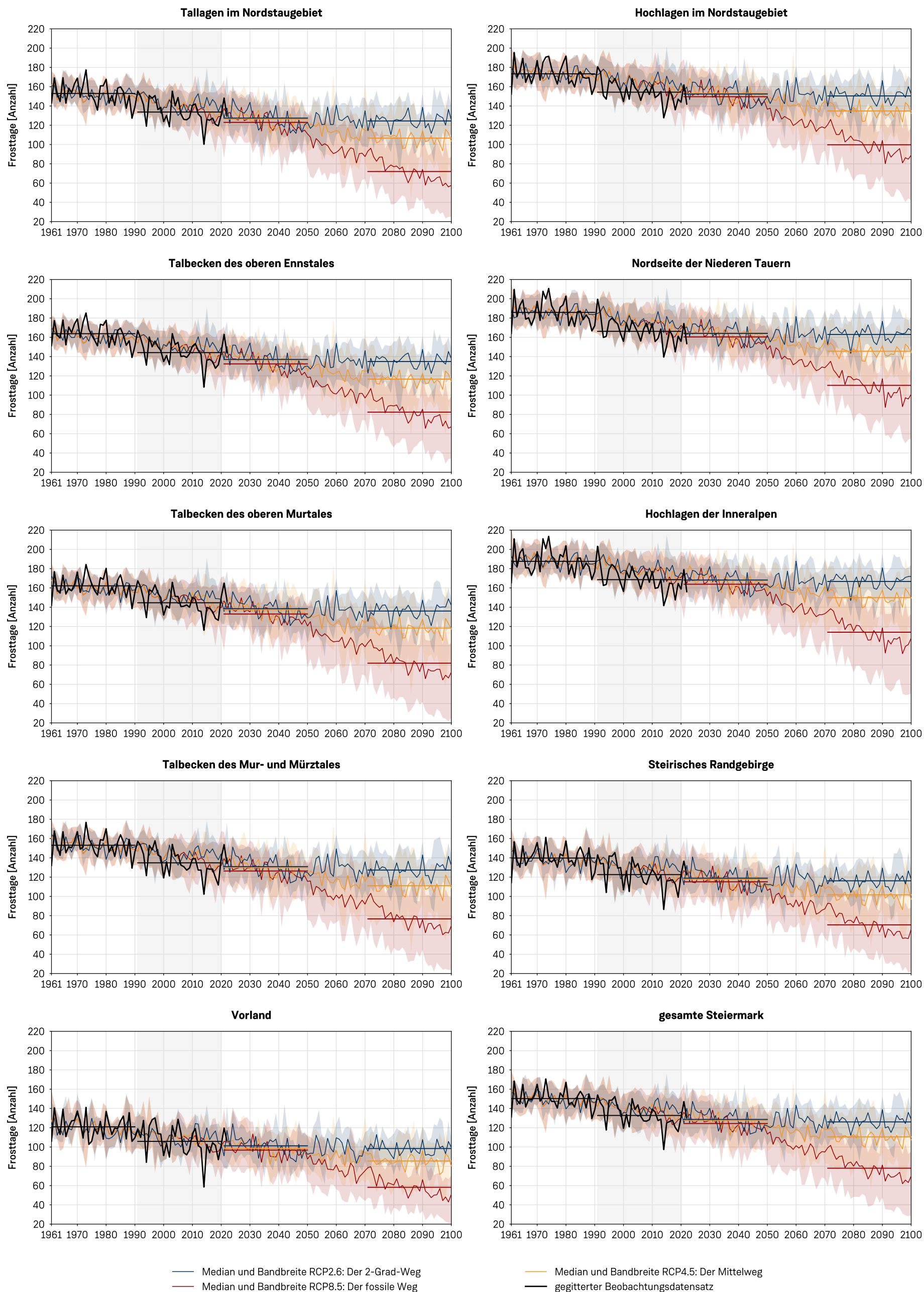


Abbildung 3.28: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der Frosttage von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.



Foto 3.2: Frosttag im Salzatal: Der Anraum am Wald markiert die Obergrenze der Bodeninversion. Im Bild die Prescenyklausen nahe Weichselboden. (Foto: A. Podesser)

oben), welches sich bis 2050 von anderen Szenarien kaum unterscheidet (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann sich die Anzahl der Frosttage etwa auf diesem Niveau stabilisieren (15 Tage Abnahme), wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildung 3.27, rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde die Anzahl der Frosttage im

Mittel um 60 Tage zurückgehen und sich damit fast halbieren. Die Zeitreihen der Anzahl der Frosttage (Abbildung 3.28) zeigen, dass die Verläufe in allen Klimaregionen eine sehr starke Korrelation aufweisen, allerdings die absoluten Änderungen in den hoch gelegenen Regionen größer sind. Die prozentuellen Änderungen sind wiederum in den tiefen Lagen größer. Die Zeitreihen der Anzahl der Eistage

(Abbildung 3.33) zeigen diesen Sachverhalt noch verstärkt: Im Vorland ist unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ am Ende des Jahrhunderts nur mehr mit vereinzelten Eistagen zu rechnen (also mit einer Abnahme um fast 100%), während in den Hochlagen die größten absoluten Abnahmen zu erwarten sind (z.B. -52 Tage an der Nordseite der Niederen Tauern).

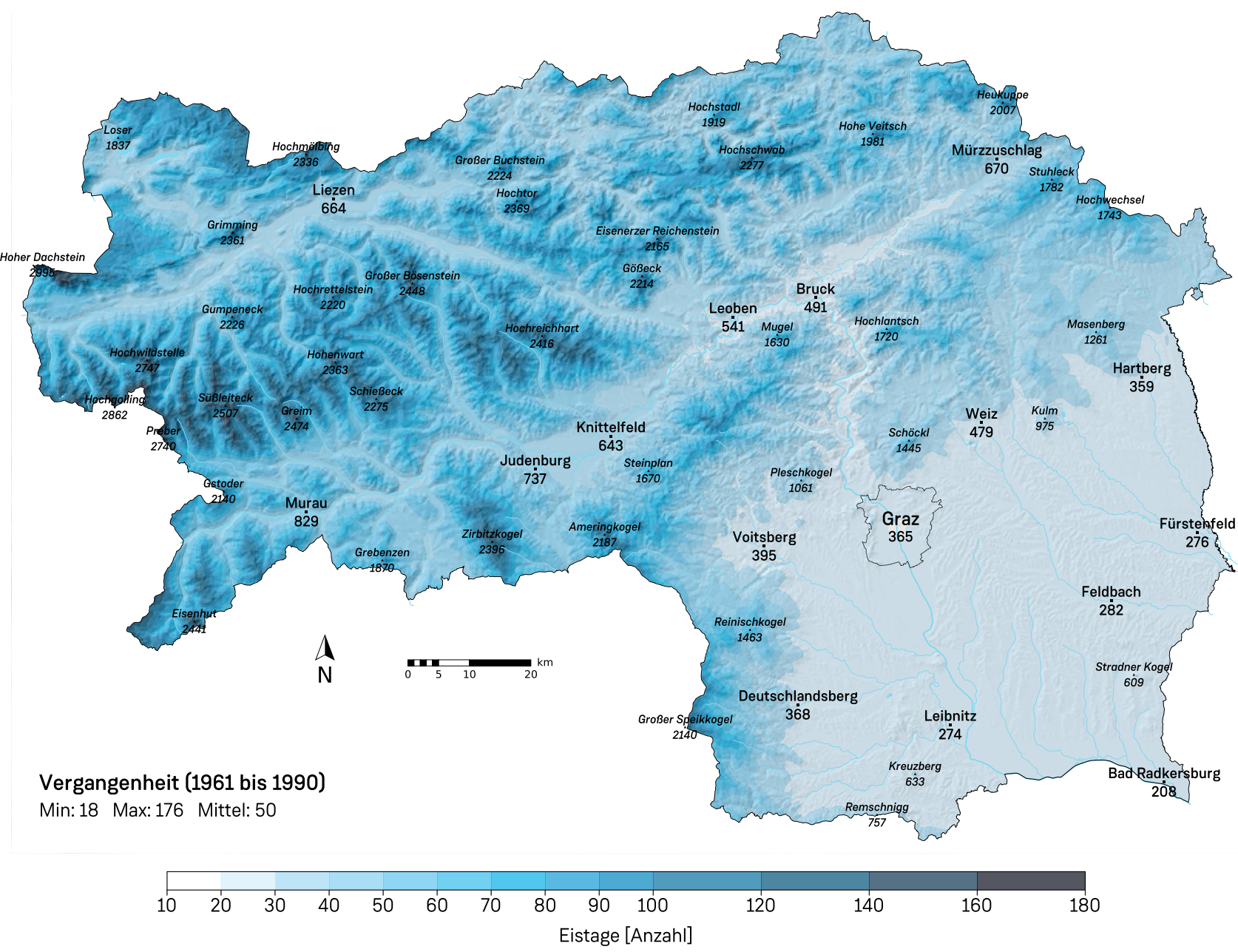


Abbildung 3.29: Anzahl der Eistage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

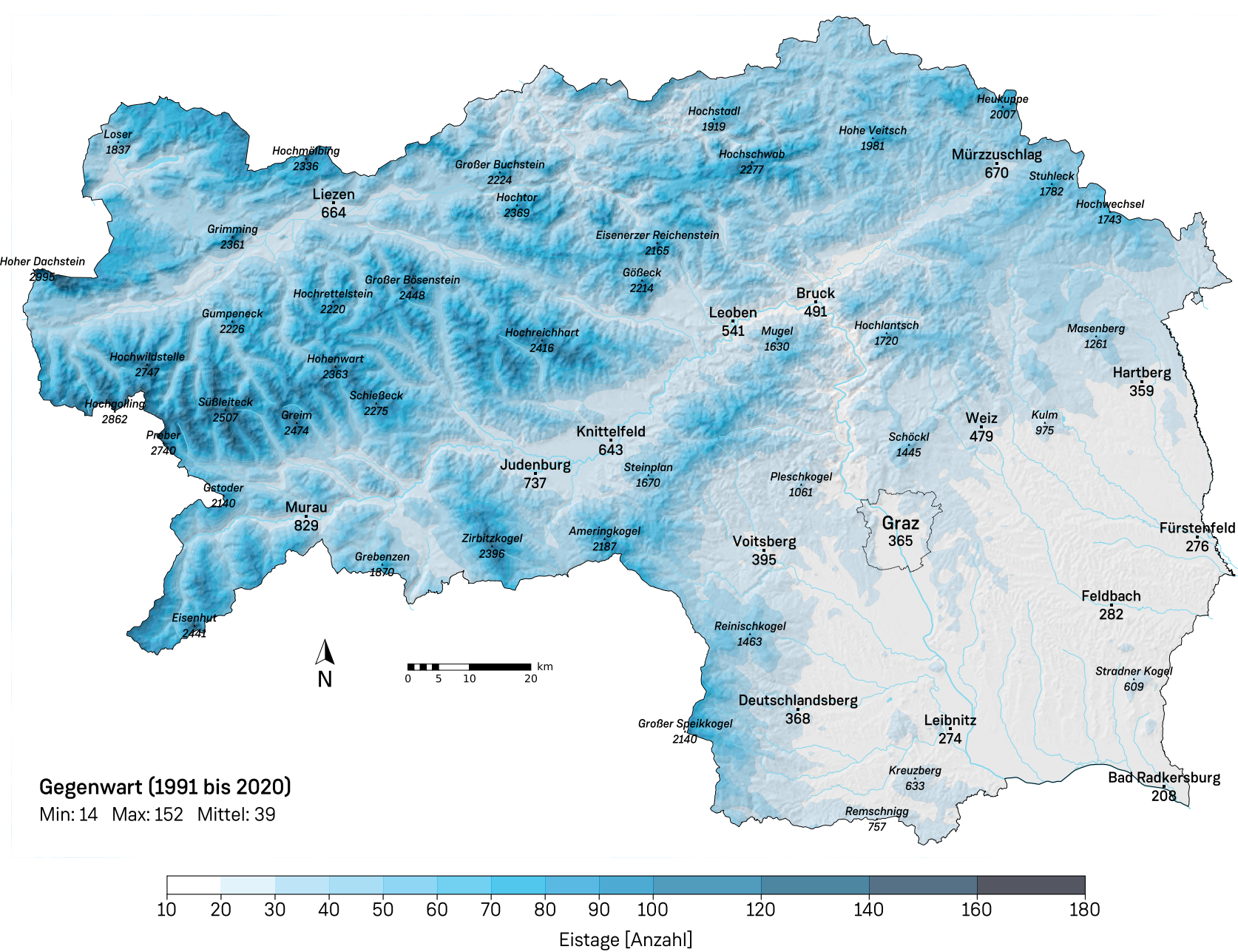


Abbildung 3.30: Anzahl der Eistage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

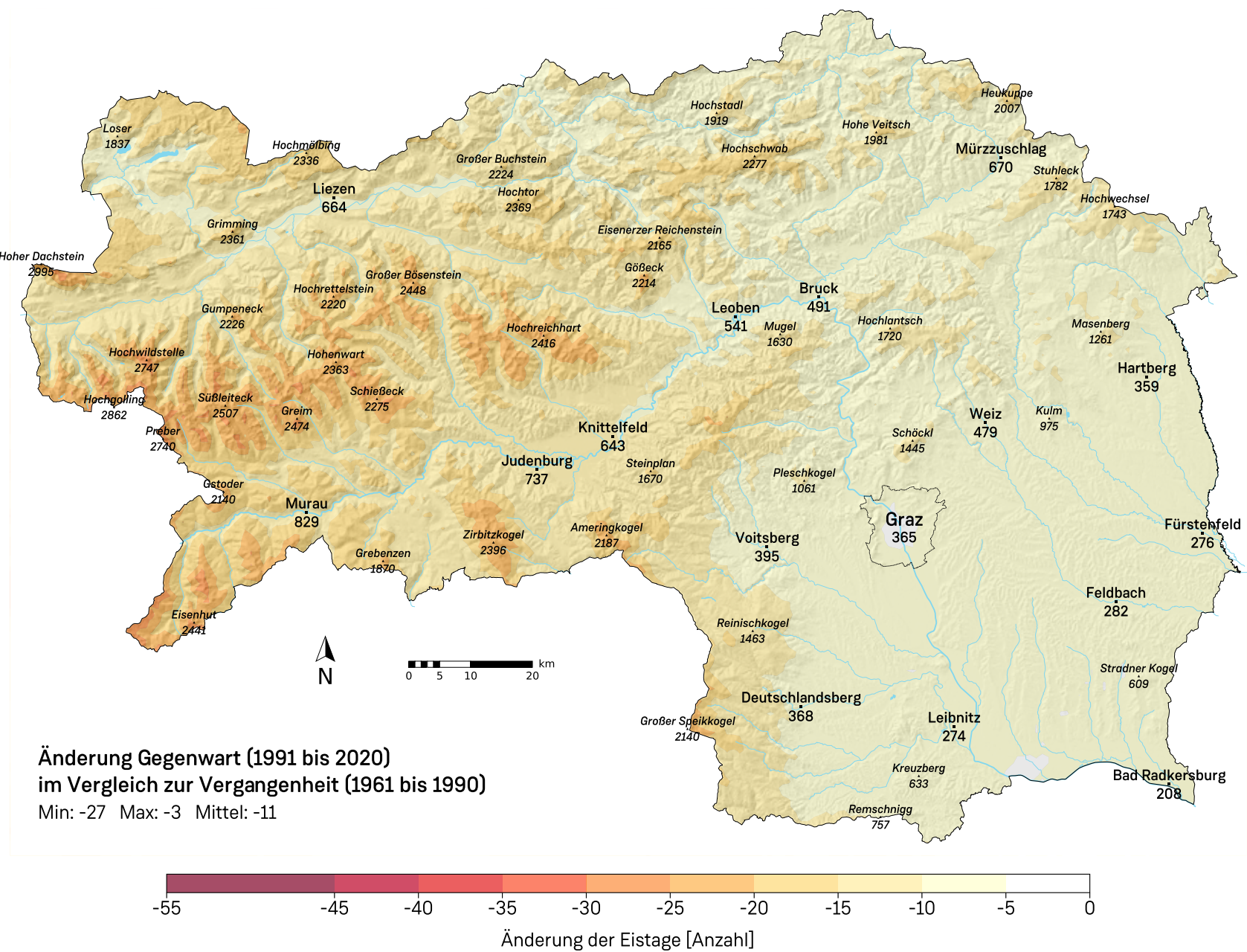


Abbildung 3.31: Änderung der Anzahl der Eistage der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

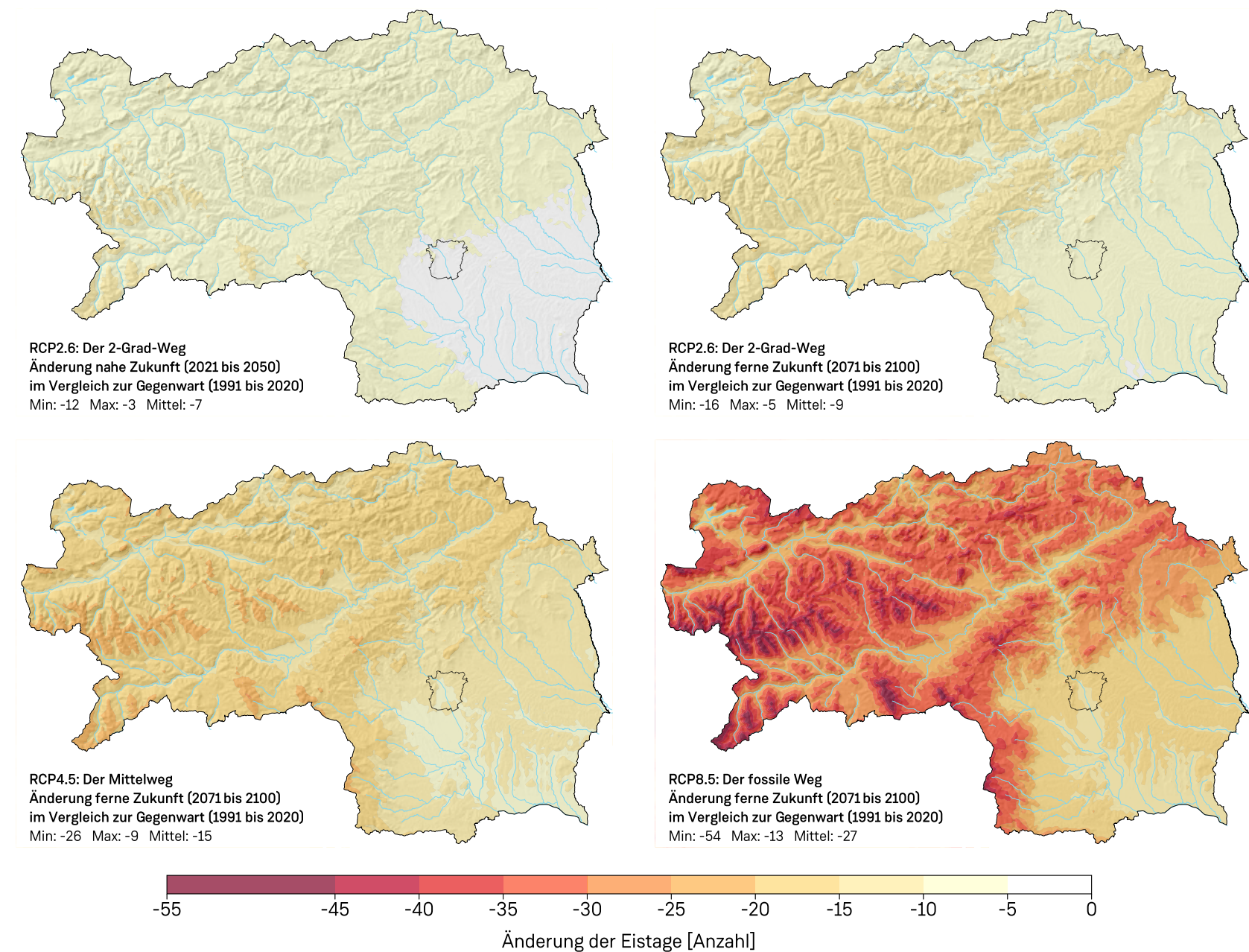


Abbildung 3.32: Änderung der Anzahl der Eistage für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

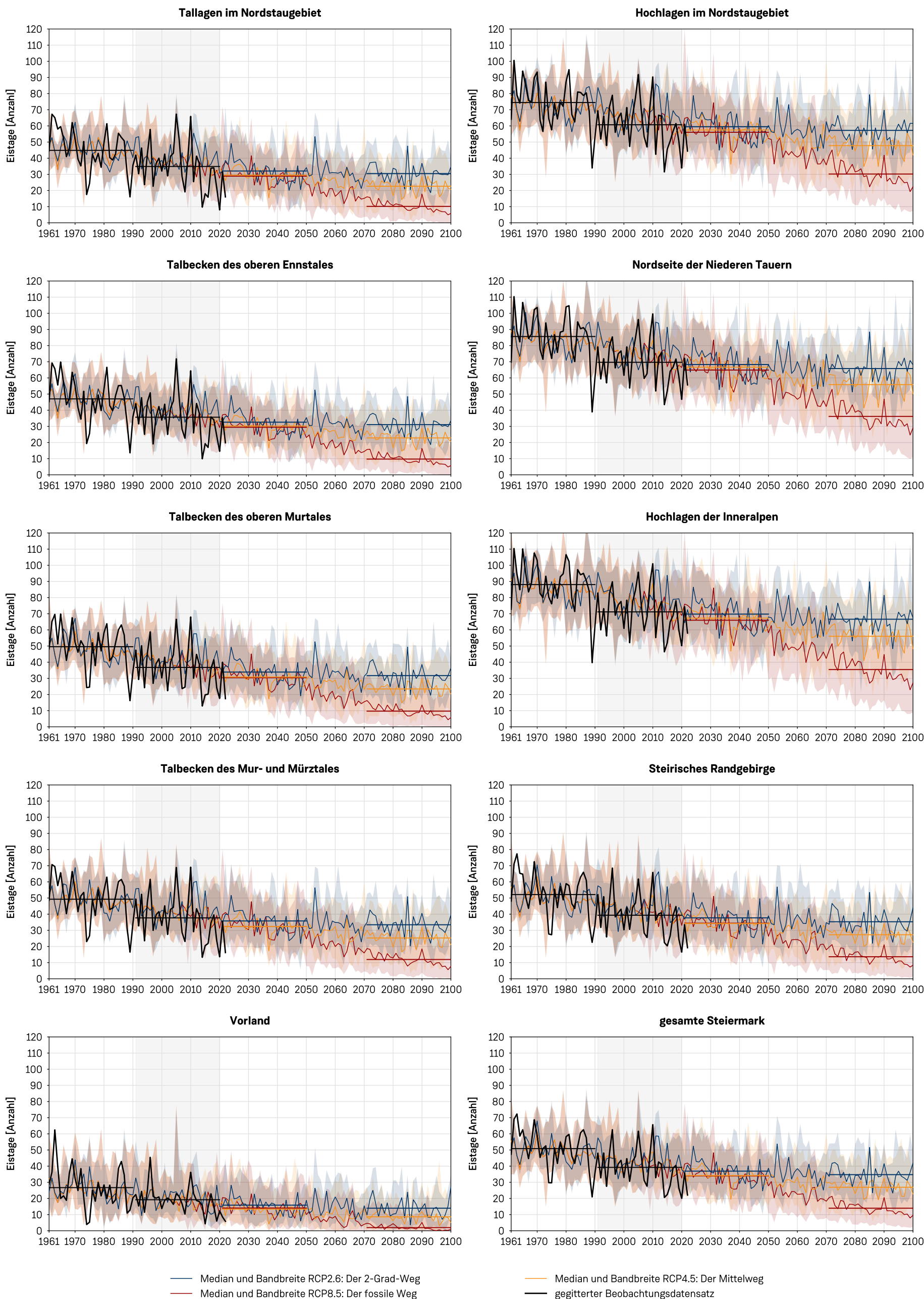


Abbildung 3.33: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der Eistage von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

3.4 Heizen und Kühlen

3.4.1 Heizgradtage und Heizgradtagzahl

Definition. Heizgradtage sind die Anzahl der Tage pro Jahr, Saison oder Monat, an denen die mittlere Temperatur kleiner oder gleich 12°C ist. Die Heizgradtagzahl ist hingegen eine Temperatursumme, für die an jedem Heizgradtag die Differenz zwischen der angenommenen Raumtemperatur von 20°C und der mittleren Außentemperatur aufsummiert wird. Diese Summe kann sowohl jährlich als auch in einzelnen Jahreszeiten oder Monaten berechnet werden.

Aussagekraft. Die Anzahl der Heizgradtage ist eine einfache Abschätzung für die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen typischerweise geheizt wird. Die Heizgradtagzahl ist hingegen zusätzlich von der Außentemperatur abhängig und wird größer, je weiter die Außentemperatur unter der gewünschten Raumtemperatur liegt. Damit ist sie etwa proportional zur aufgewendeten Heizenergie und wird oft in der Energiewirtschaft für die Abschätzung des Heizenergieaufwandes verwendet.

Mittelwerte 1991 – 2020. Im langjährigen Mittel gab es in der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 245 Heizgradtage (Abbildung 3.37). Der langjährige Mittelwert der Heizgradtagzahl beträgt 4193°C (Abbildung 3.42). Monatlich betrachtet zeigt sich, dass in den Monaten Dezember, Jänner und Februar ausschließlich Heizgradtage auftreten, während im November und März vereinzelt Tage vorkommen, die keine Heizgradtage sind. Die geringste Anzahl an Heizgradtagen weisen die Monate Juli und

August auf (Abbildung 3.34, letzte Zeile). Diese Angaben sind Flächenmittelwerte über alle Höhenlagen der Steiermark.

Räumliche Verteilung. Die räumliche Verteilung der Anzahl der Heizgradtage ist wegen der beträchtlichen Temperaturunterschiede in unterschiedlichen Höhenlagen sehr variabel und der Flächenmittelwert ist deswegen nur begrenzt aussagekräftig. Die Anzahl reicht von etwas weniger als 190 Tagen in der Region zwischen Leibnitz und Bad Radkersburg und dem unteren Raabtal im Süden und Osten des Vorlandes bis zu nahezu ganzjährig in den Gipfelregionen der Schladminger Tauern und des Dachsteingebirges (Abbildung 3.37). In den einzelnen Klimaregionen der Steiermark reichen die Werte von 196 Tagen im Vorland über etwa 250 in den Tallagen der Obersteiermark bis zu fast 310 Tagen in den Hochlagen der Inneralpen. Während im Vorland im Juni, Juli und August Heizgradtage fast vollständig ausbleiben, sind sie in den Hochlagen auch in den Sommermonaten durchaus häufig (Abbildung 3.34). Ganz ähnlich verhält es sich mit der räumlichen Verteilung der Heizgradtagzahl. Sie reicht von 2884°C in der Region um Bad Radkersburg bis 7659°C in den höchsten Lagen der Schladminger Tauern (Abbildung 3.42).

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist die Anzahl der Heizgradtage in der Steiermark im Mittel um 18 Tage gesunken (Abbildung 3.38). Die Rückgänge sind in mittleren Lagen (zwischen 1000 m und 1500 m) mit 21 Tagen am größten, während sie sowohl in

tiefen Lagen (wo im Sommer auch in der Vergangenheit schon kaum Heizgradtage auftraten) als auch in den Hochlagen über 2000 m (wo im Frühling und Herbst auch in der Gegenwart fast jeder Tag ein Heizgradtag ist) mit etwa 14 Tagen am geringsten sind (Abbildung 3.35).

Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien im Szenario mit der geringsten Erwärmung (Szenario „2-Grad-Ziel“, Abbildungen 3.39 und 3.44, jeweils links oben) eine weitere Abnahme von 9 Heizgradtagen und 253°C der Heizgradtagzahl voraus (Mittelwert über die gesamte Steiermark). Dieses Szenario unterscheidet sich bis 2050 kaum von anderen untersuchten Szenarien (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann sich die Anzahl der Heizgradtage und die Heizgradtagzahl etwa auf diesem Niveau stabilisieren (10 Tage bzw. 298°C Abnahme), wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildungen 3.39 und 3.44, jeweils rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde die Anzahl der Heizgradtage im Mittel um 45 Tage und die Heizgradtagzahl um 1111°C zurückgehen (Abbildungen 3.39 und 3.44, jeweils rechts unten). Die Zeitreihen (Abbildungen 3.40 und 3.45) zeigen, dass in Zukunft ein weiterer Rückgang sowohl bei der Anzahl der Heizgradtage als auch der Heizgradtagzahl in allen Klimaregionen der Steiermark zu erwarten ist. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Energieaufwand für das Beheizen eines Hauses in der Steiermark in der Vergangenheit schon deutlich gesunken ist und in Zukunft weiter sinken wird.

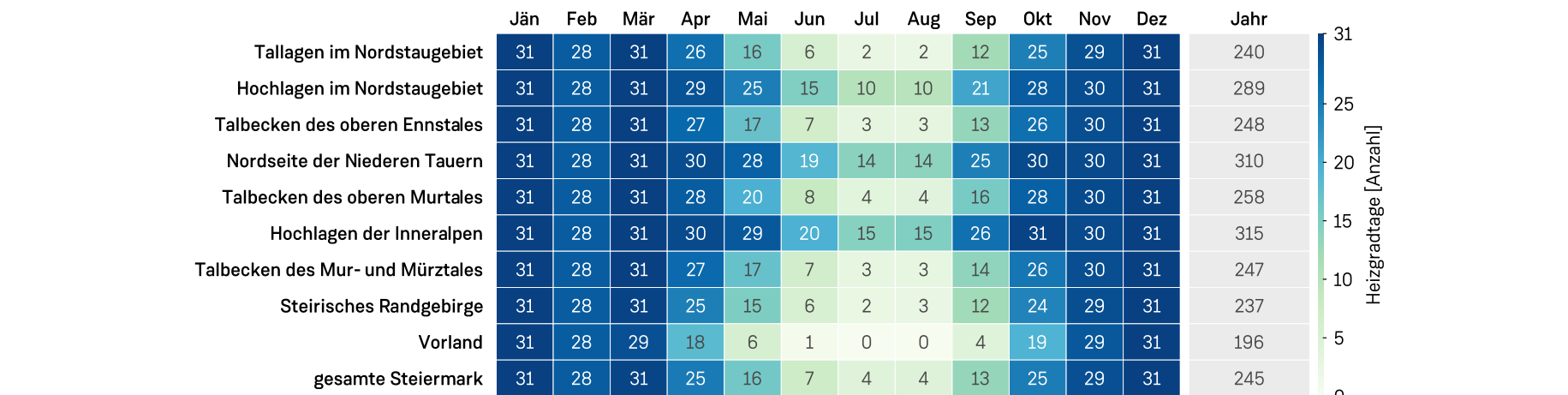


Abbildung 3.34: Mittlere Anzahl der Heizgradtage pro Monat für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020 in unterschiedlichen Klimaregionen und der gesamten Steiermark.

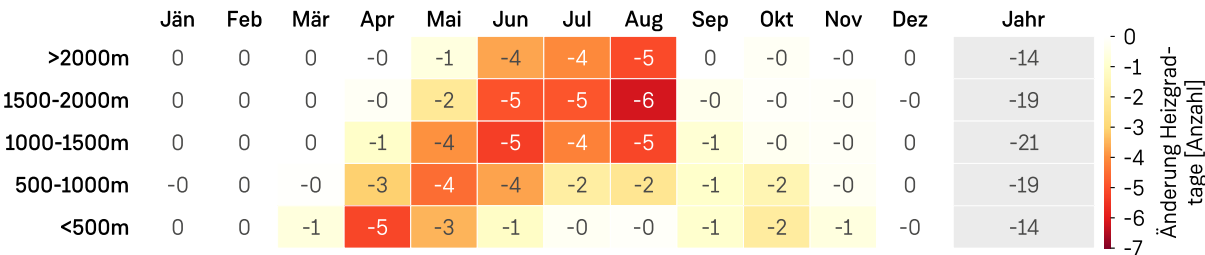


Abbildung 3.35: Änderung der Anzahl der Heizgradtage für einzelne Monate und Höhenlagen. Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990) in unterschiedlichen Höhenstufen der Steiermark.

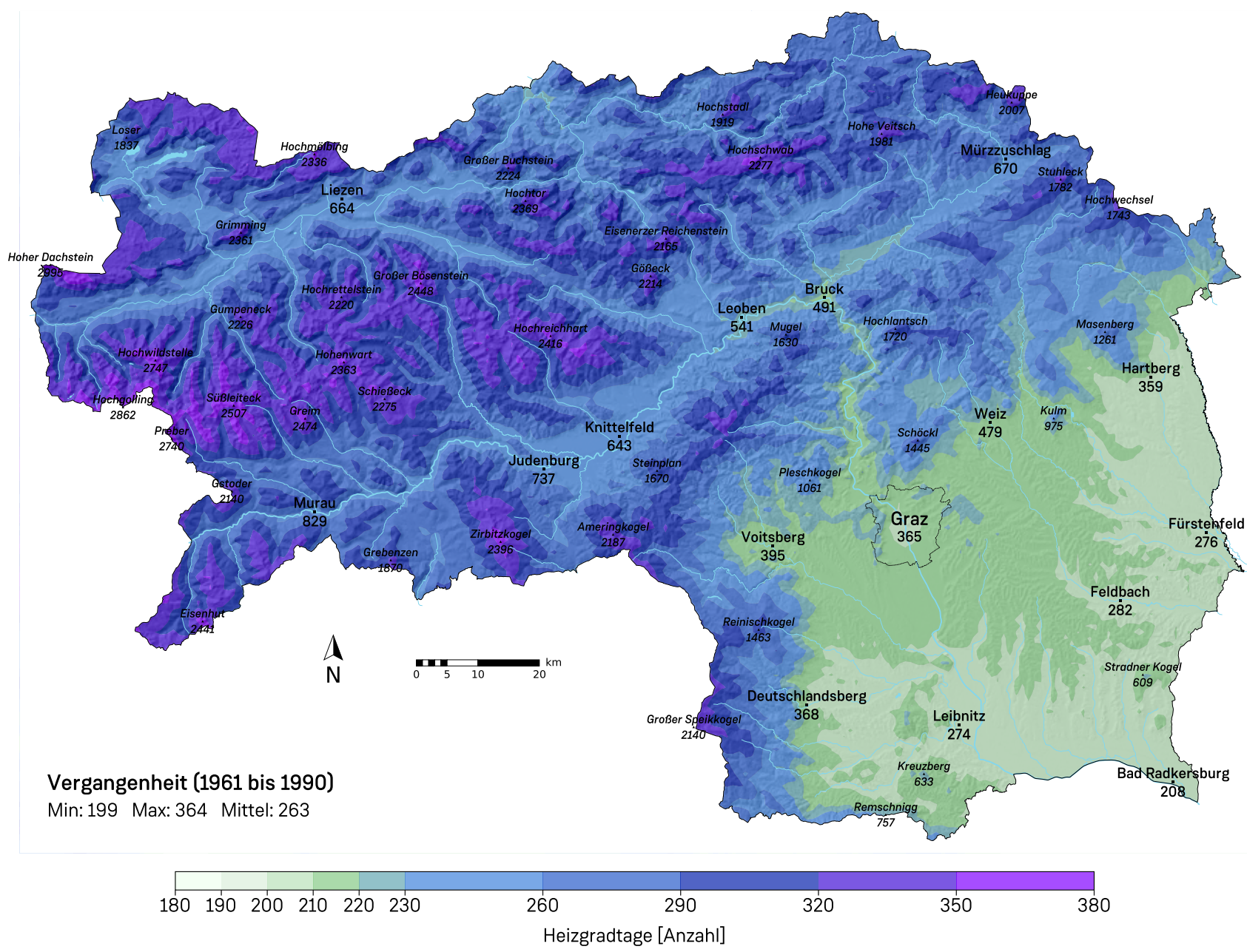


Abbildung 3.36: Anzahl der Heizgradtage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

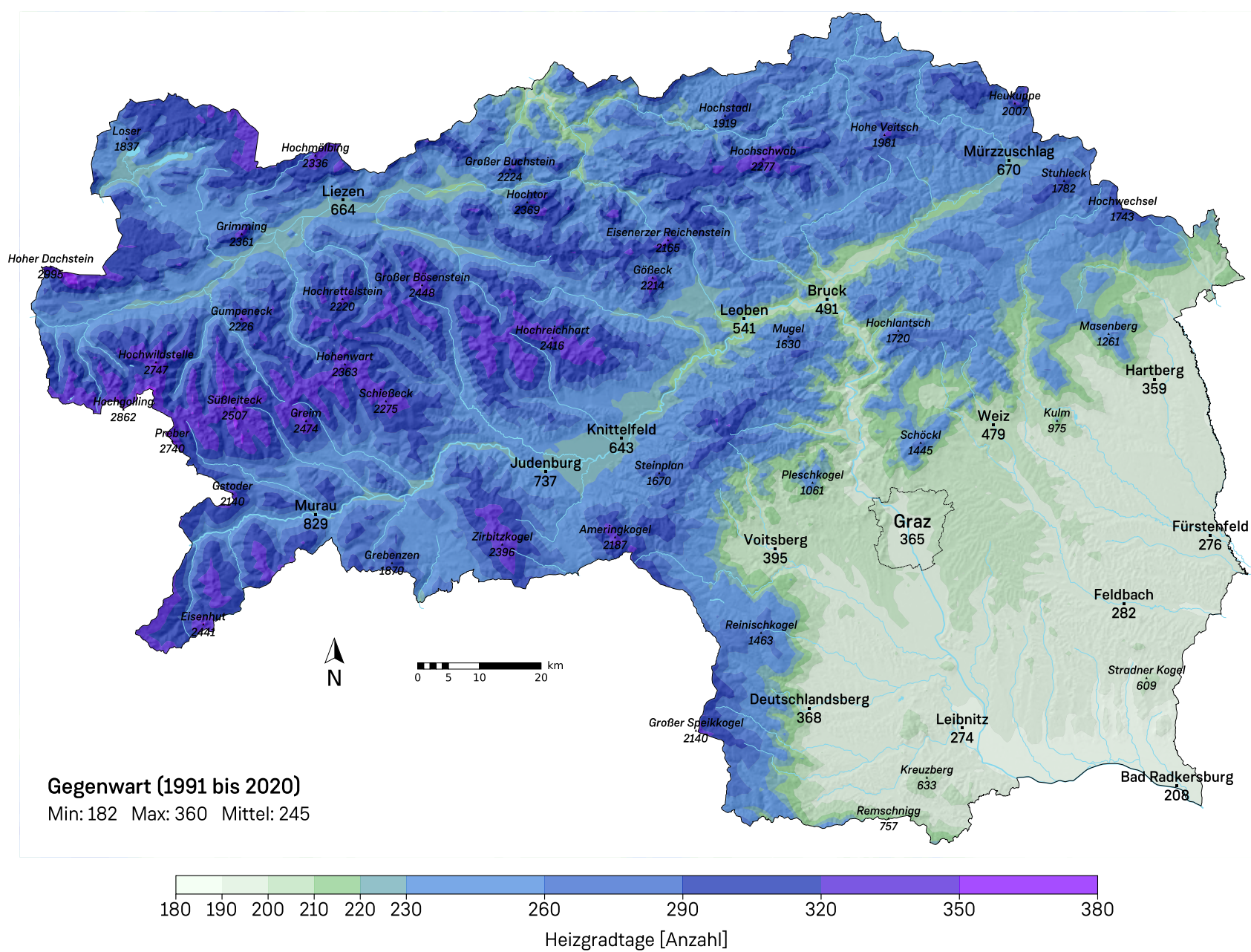


Abbildung 3.37: Anzahl der Heizgradtage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

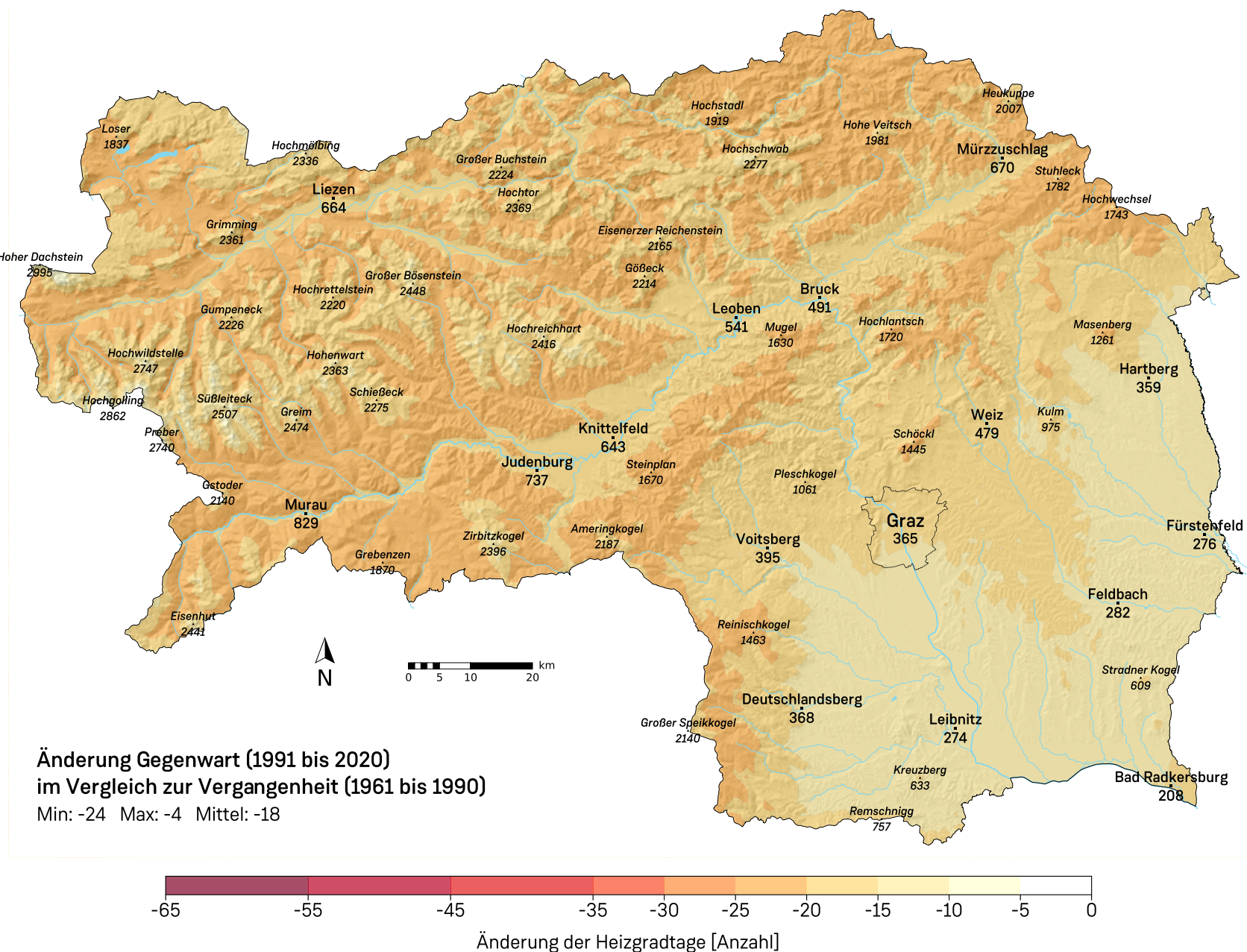


Abbildung 3.38: Änderung der Anzahl der Heizgradtage der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

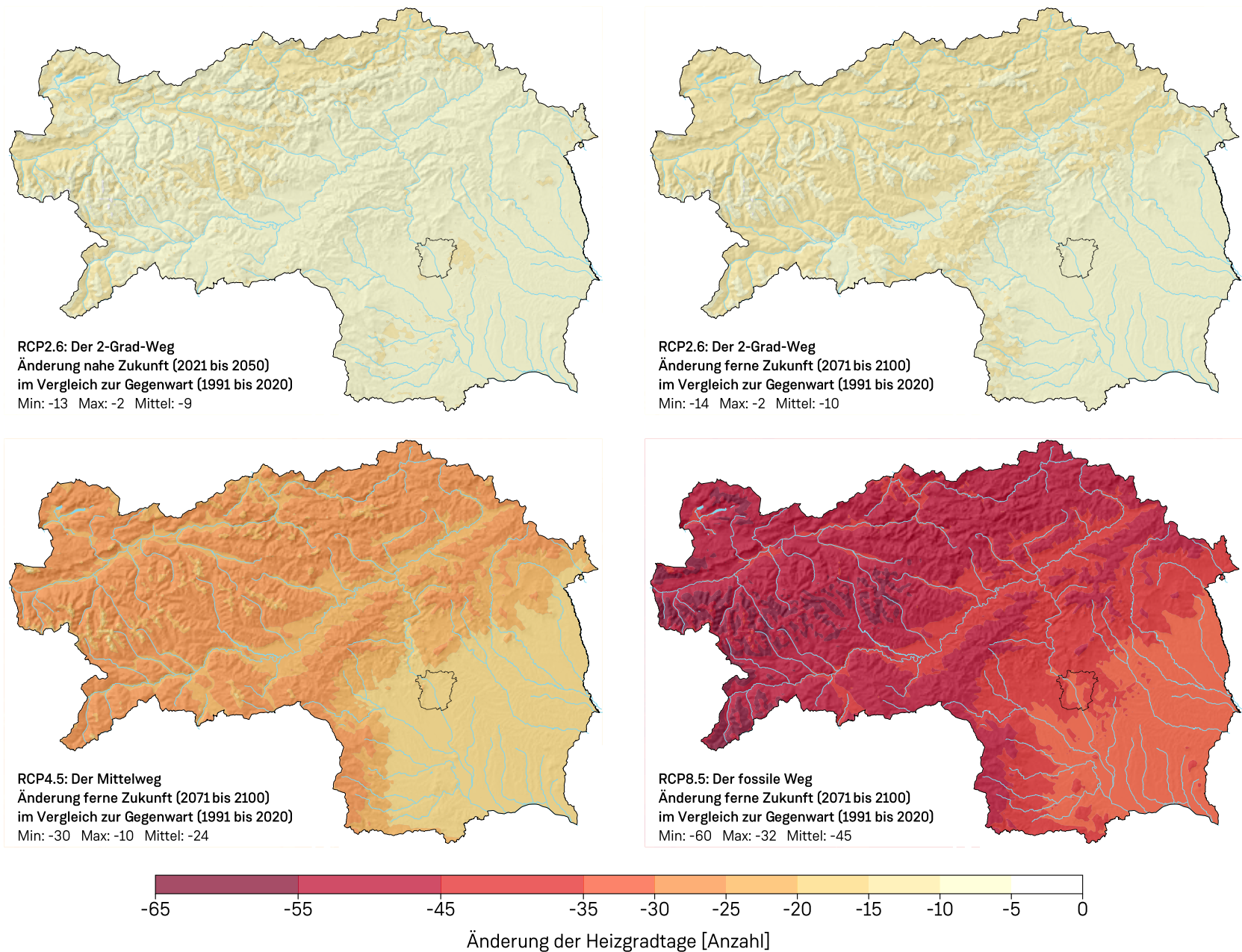


Abbildung 3.39: Änderung der Anzahl der Heizgradtage für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

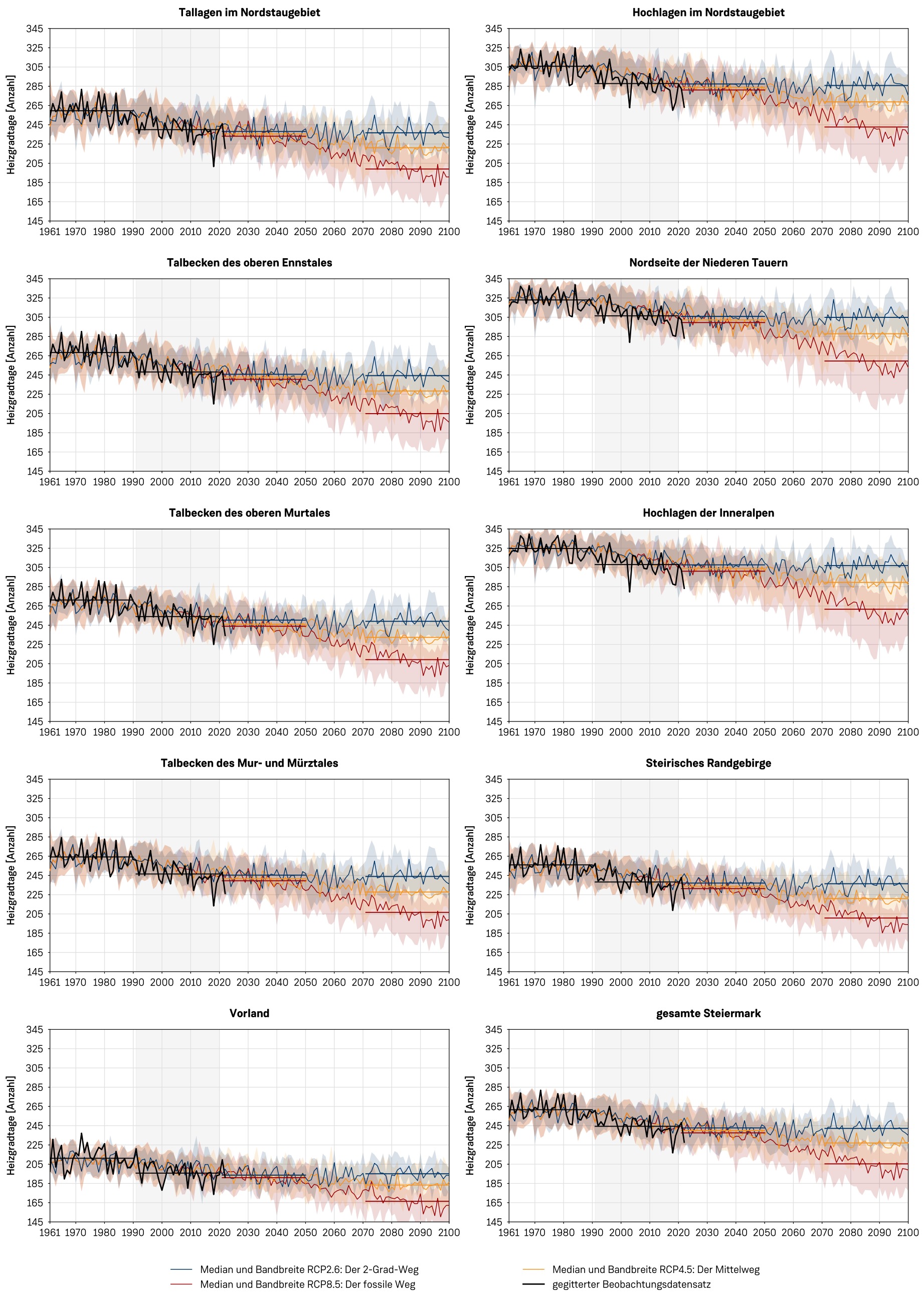
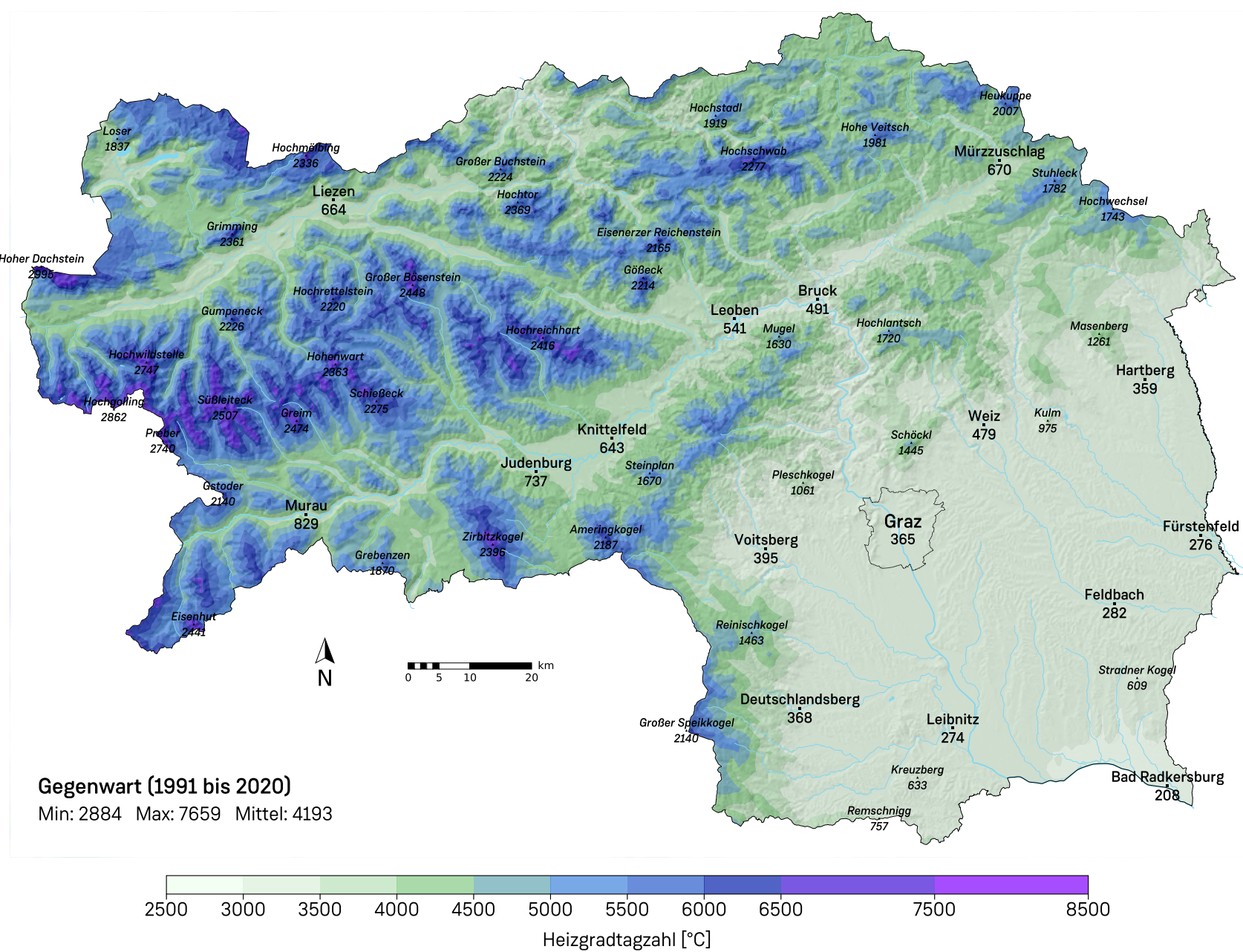
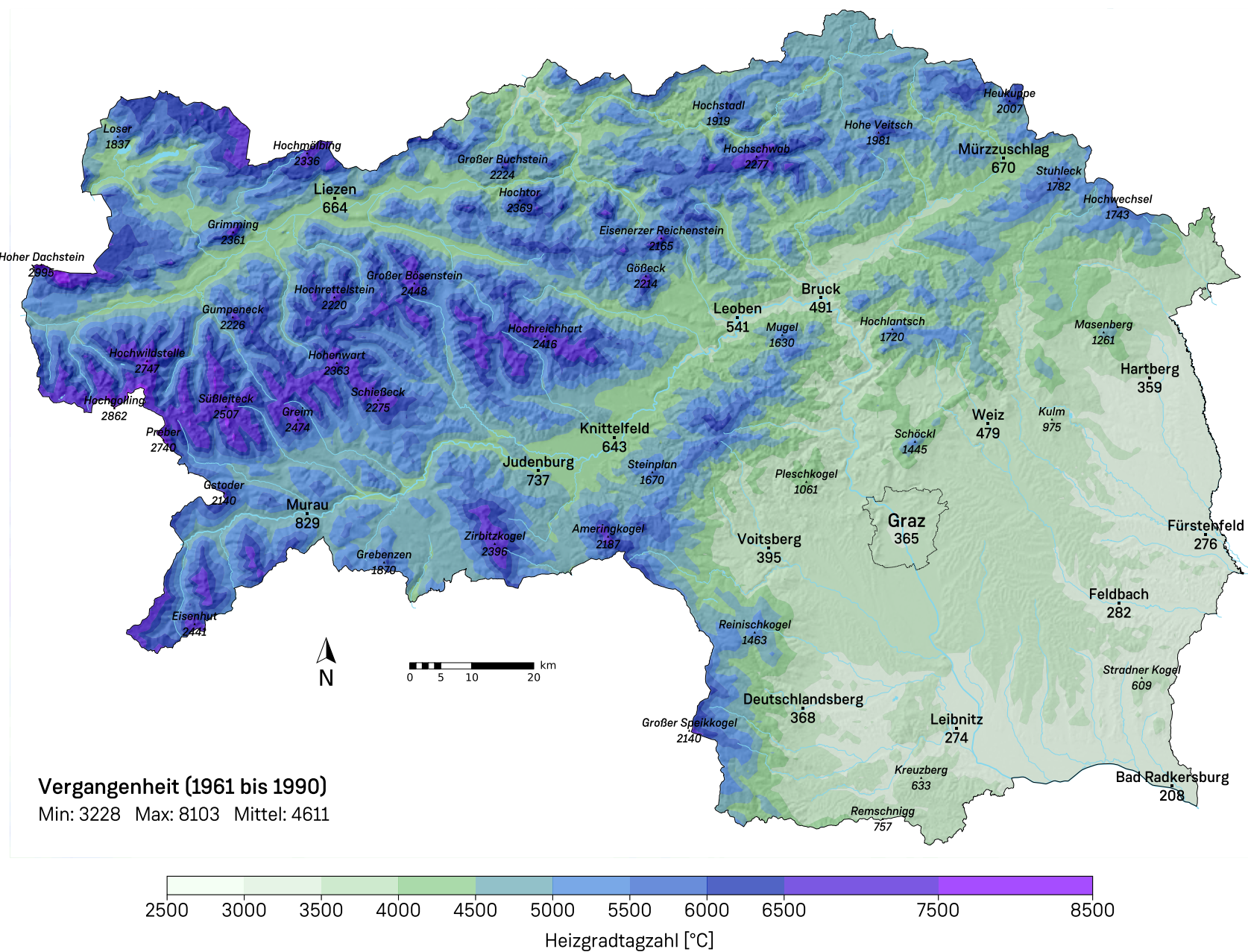


Abbildung 3.40: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der Heizgradtage von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.



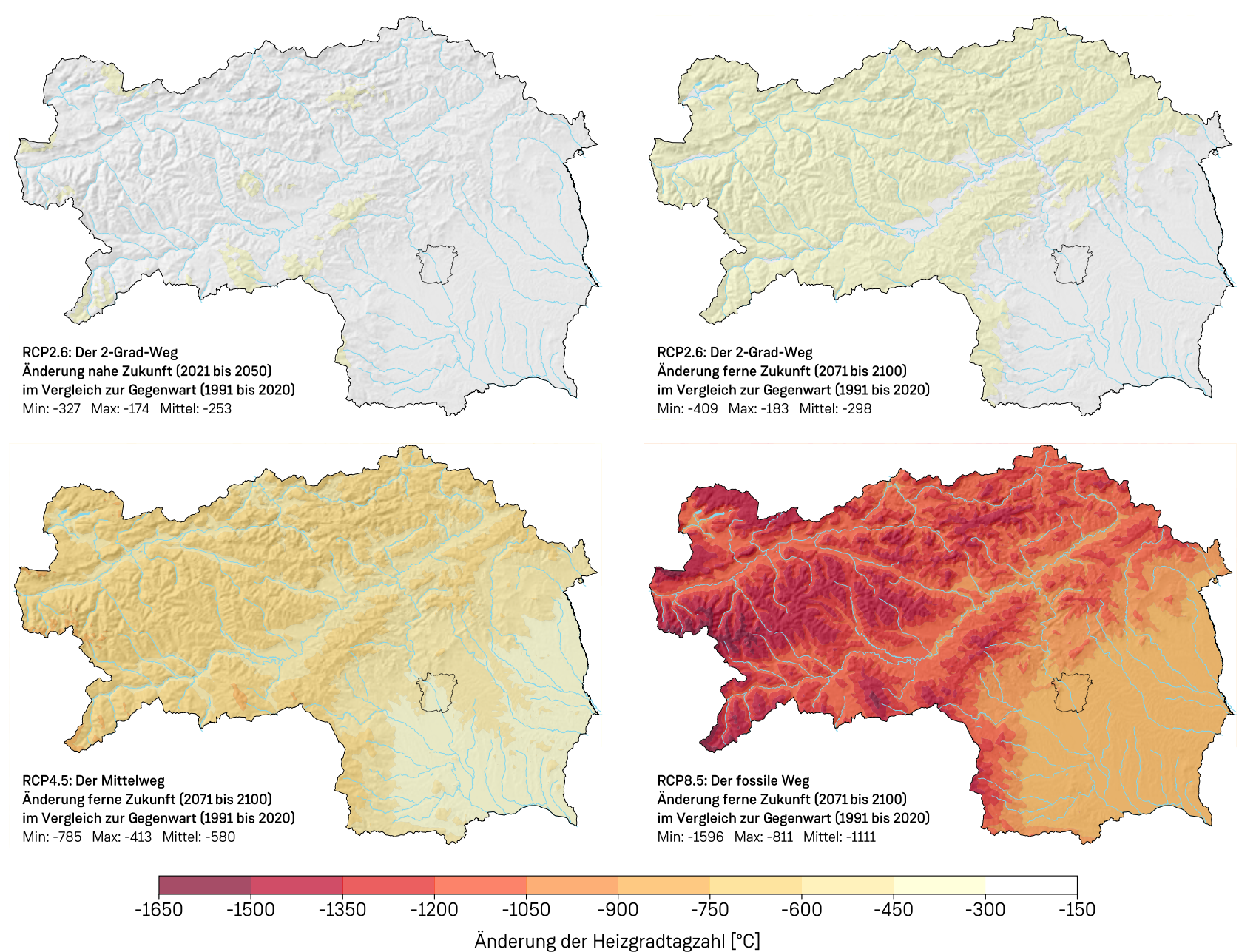
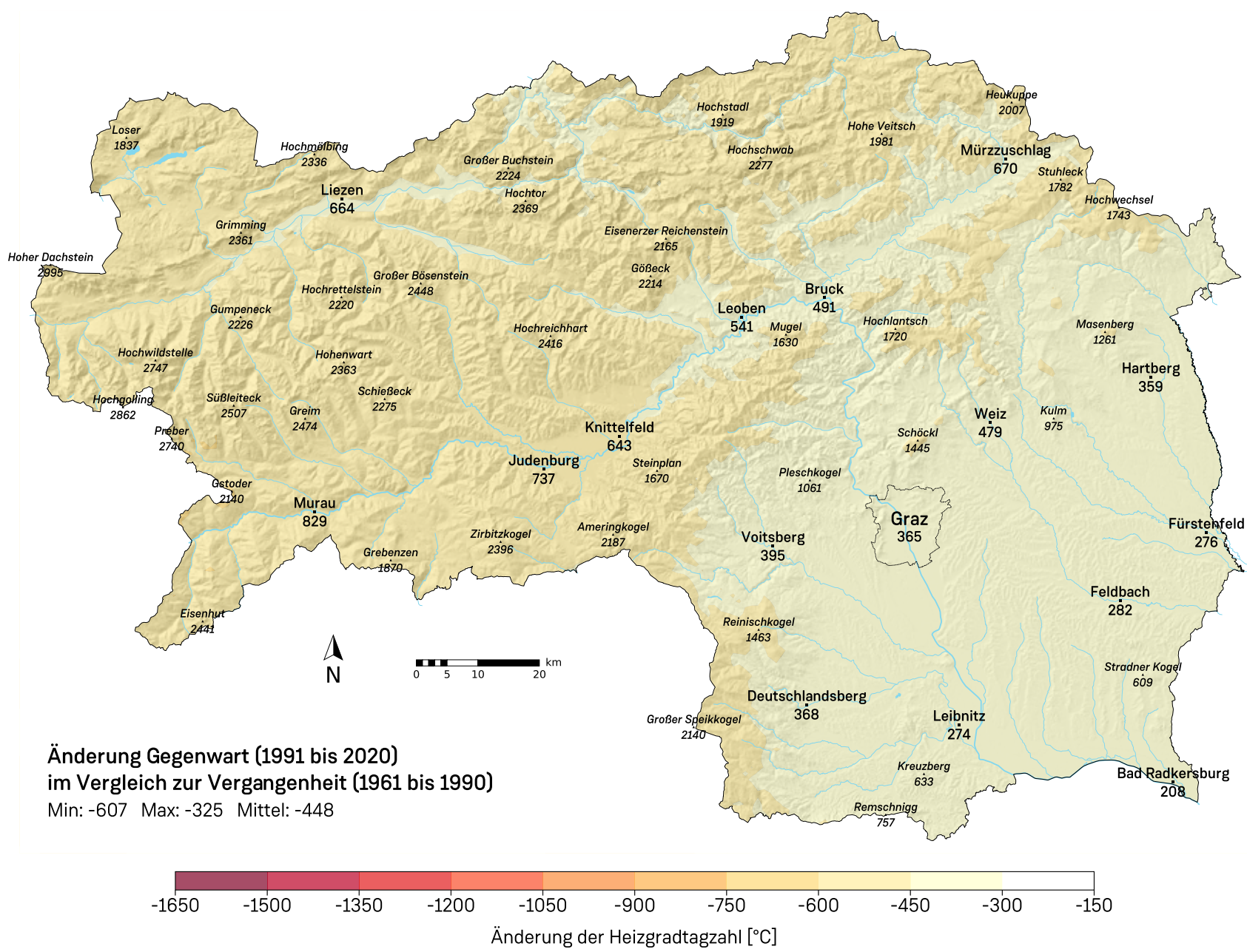


Abbildung 3.44: Änderung der Heizgradtagzahl für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

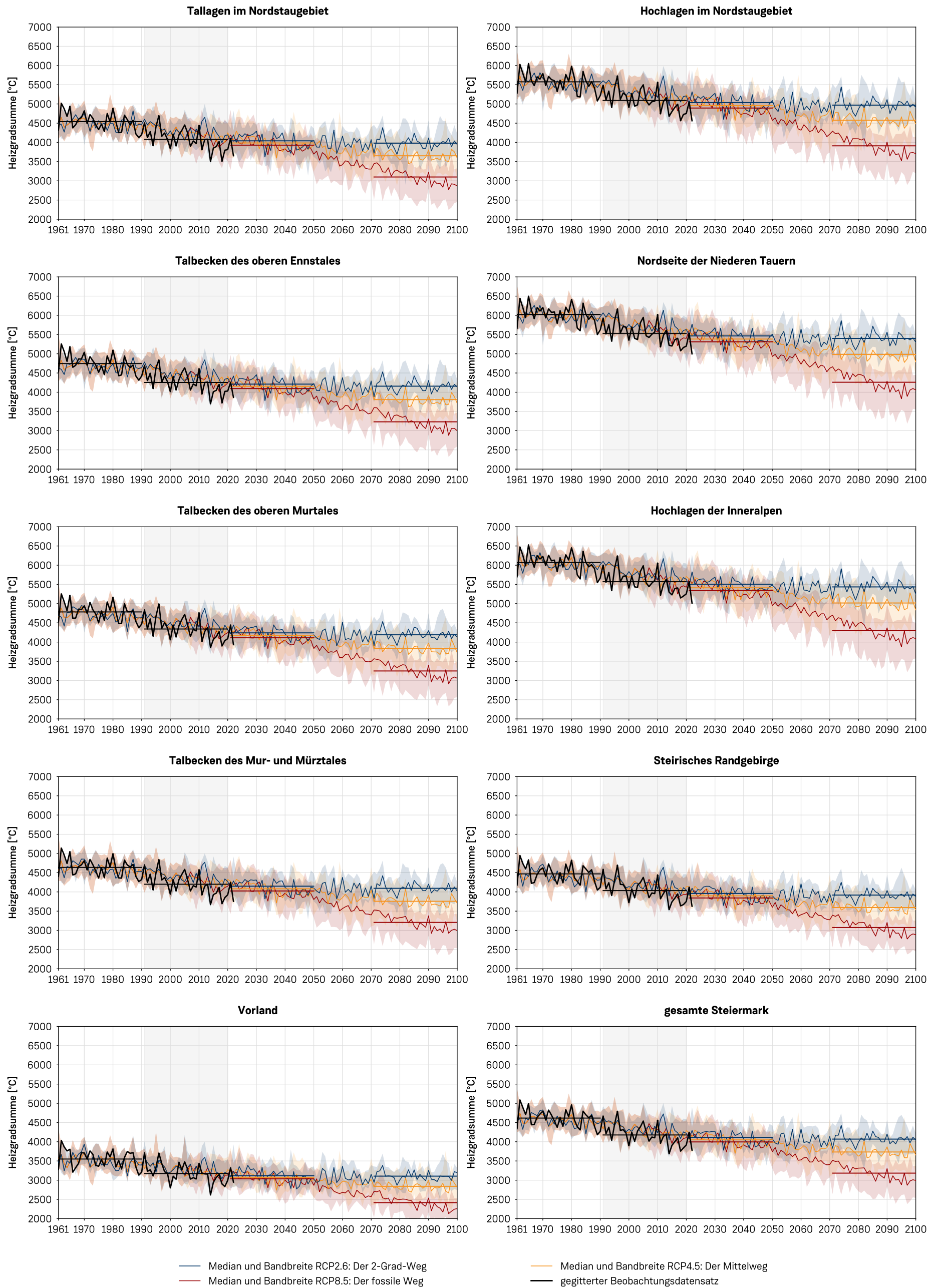


Abbildung 3.45: Zeitlicher Verlauf der Heizgradtagzahl von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

3.4.2 Kühlgradtage und Kühlgradtagzahl

Definition. Kühlgradtage sind die Anzahl der Tage pro Jahr, Saison oder Monat, an denen die mittlere Temperatur größer oder gleich 18,3°C ist. Die Kühlgradtagzahl ist eine Temperatursumme, für die an jedem Kühlgradtag die Differenz zwischen der mittleren Außentemperatur und 18,3°C aufsummiert wird. Diese Summe kann sowohl jährlich als auch in einzelnen Jahreszeiten oder Monaten berechnet werden.

Aussagekraft. Die Anzahl der Kühlgradtage ist eine einfache Abschätzung für die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen gewisse Gebäude typischerweise gekühlt werden. Die Kühlgradtagzahl ist hingegen zusätzlich von der Außentemperatur abhängig und wird größer, je weiter die Außentemperatur über der gewünschten Raumtemperatur liegt. Damit ist sie etwa proportional zur aufgewendeten Kühlenergie und wird oft in der Energiewirtschaft für die Abschätzung des Kühlergieaufwandes verwendet.

Mittelwert. Im langjährigen Mittel gab es in der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 36 Kühlgradtage (Abbildung 3.49). Der langjährige Mittelwert der Kühlgradtagzahl beträgt 85°C (Abbildung 3.54). Auffällig ist, dass diese Werte wesentlich kleiner sind als die Anzahl der Heizgradtage und die Heizgradtagzahlen, was auf die Tatsache hinweist, dass in der Steiermark wesentlich weniger Energie für Kühlen als für Heizen aufgewendet wird.

Monatlich betrachtet zeigt sich, dass in den Monaten Oktober bis April so gut wie keine Kühlgradtage auftreten, während sie im Mai und September vereinzelt und von Juni bis August häufig vorkommen. Die höchste Anzahl an Kühlgradtagen weisen die Monate Juli und August auf (Abbildung 3.46, letzte Zeile). Diese Angaben sind Flächenmittelwerte über alle Höhenlagen der Steiermark.

Räumliche Verteilung. Die räumliche Verteilung bei der Anzahl der Kühlgradtage ist wegen der beträchtlichen Temperaturunterschiede in unterschiedlichen Höhenlagen sehr variabel und der Flächenmittelwert ist deswegen nur begrenzt aussagekräftig. Während in der Region um Bad Radkersburg über 90 Tage im Jahr Kühlgradtage sind, fehlen sie in höheren Lagen vollständig (Abbildung 3.49). In den einzelnen Klimaregionen der Steiermark reichen die Werte von 84 im Vorland bis 2 in den Hochlagen der Inneralpen. Während im Vorland von Mai bis September Kühlgradtage häufig sind, bleiben sie in den Hochlagen auch in den Sommermonaten fast vollständig aus (Abbildung 3.46). Ganz ähnlich verhält es sich mit der räumlichen Verteilung der Kühlgradtagzahl. Sie reicht von über 300°C in der Region um Bad Radkersburg bis Null in den höheren Lagen aller Gebirgszüge der Steiermark (Abbildung 3.54).

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist die Anzahl der Kühlgradtage in der Steiermark im Mittel um 15 Tage gestiegen (Abbildung 3.50). Die Zunahme ist in tiefen Lagen

(unter 500 m) mit 24 Tagen am größten, während über 2000 m, wo auch in der Gegenwart kaum Kühlgradtage auftreten, so gut wie keine Zunahme zu erkennen ist (Abbildung 3.47). Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien im Szenario mit der geringsten Erwärmung (Szenario „2-Grad-Ziel“, Abbildungen 3.51 und 3.56, jeweils links oben) eine weitere Zunahme von 6 Kühlgradtagen und 20°C bei der Kühlgradtagzahl voraus (Mittelwert über die gesamte Steiermark). Dieses Szenario unterscheidet sich bis 2050 kaum von anderen untersuchten Szenarien (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann sich die Anzahl der Kühlgradtage und die Kühlgradtagzahl etwa auf diesem Niveau stabilisieren (6 Tage bzw. 19°C Zunahme), wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildungen 3.51. und 3.56, jeweils rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde die Anzahl der Kühlgradtage im Mittel um 41 Tage und die Kühlgradtagzahl um 185°C zunehmen (Abbildungen 3.51 und 3.56, jeweils rechts unten). Die Zeitreihen (Abbildungen 3.52 und 3.57) zeigen, dass in Zukunft eine weitere Zunahme sowohl bei der Anzahl der Kühlgradtage als auch bei der Kühlgradtagzahl in allen Klimaregionen der Steiermark zu erwarten ist. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Energieaufwand für das Kühlen eines Gebäudes in der Steiermark in der Vergangenheit schon deutlich gestiegen ist und in Zukunft weiter steigen wird.

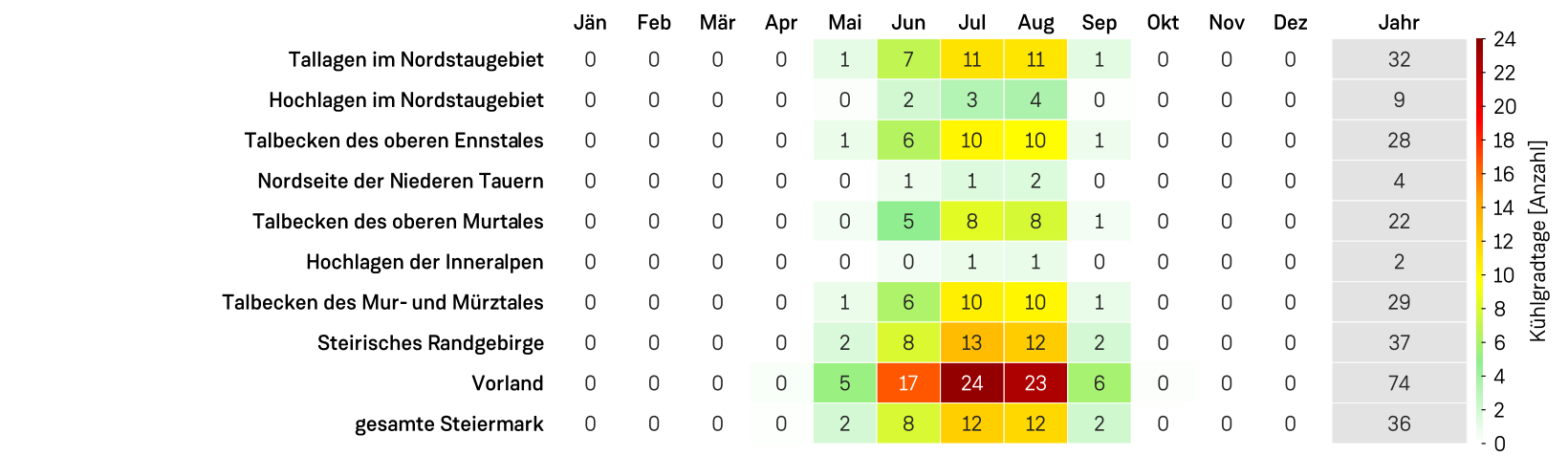


Abbildung 3.46: Mittlere Anzahl der Kühlgradtage pro Monat für die 30-jährige Klimanormalperiode 1991 – 2020 in unterschiedlichen Klimaregionen und der gesamten Steiermark.

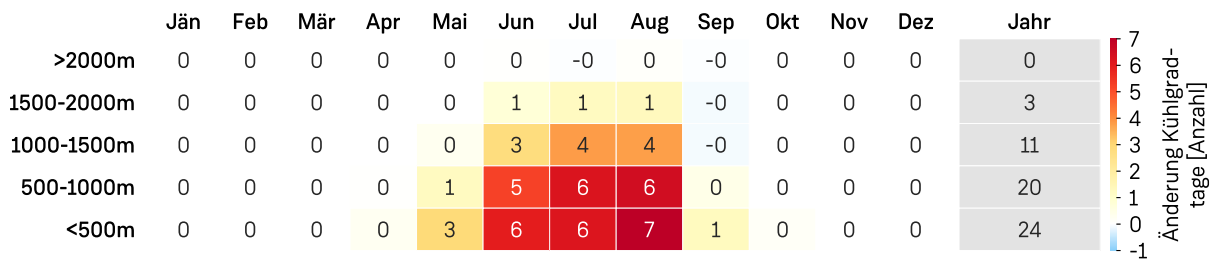


Abbildung 3.47: Änderung der Anzahl der Kühlgradtage für einzelne Monate und Höhenlagen. Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990).

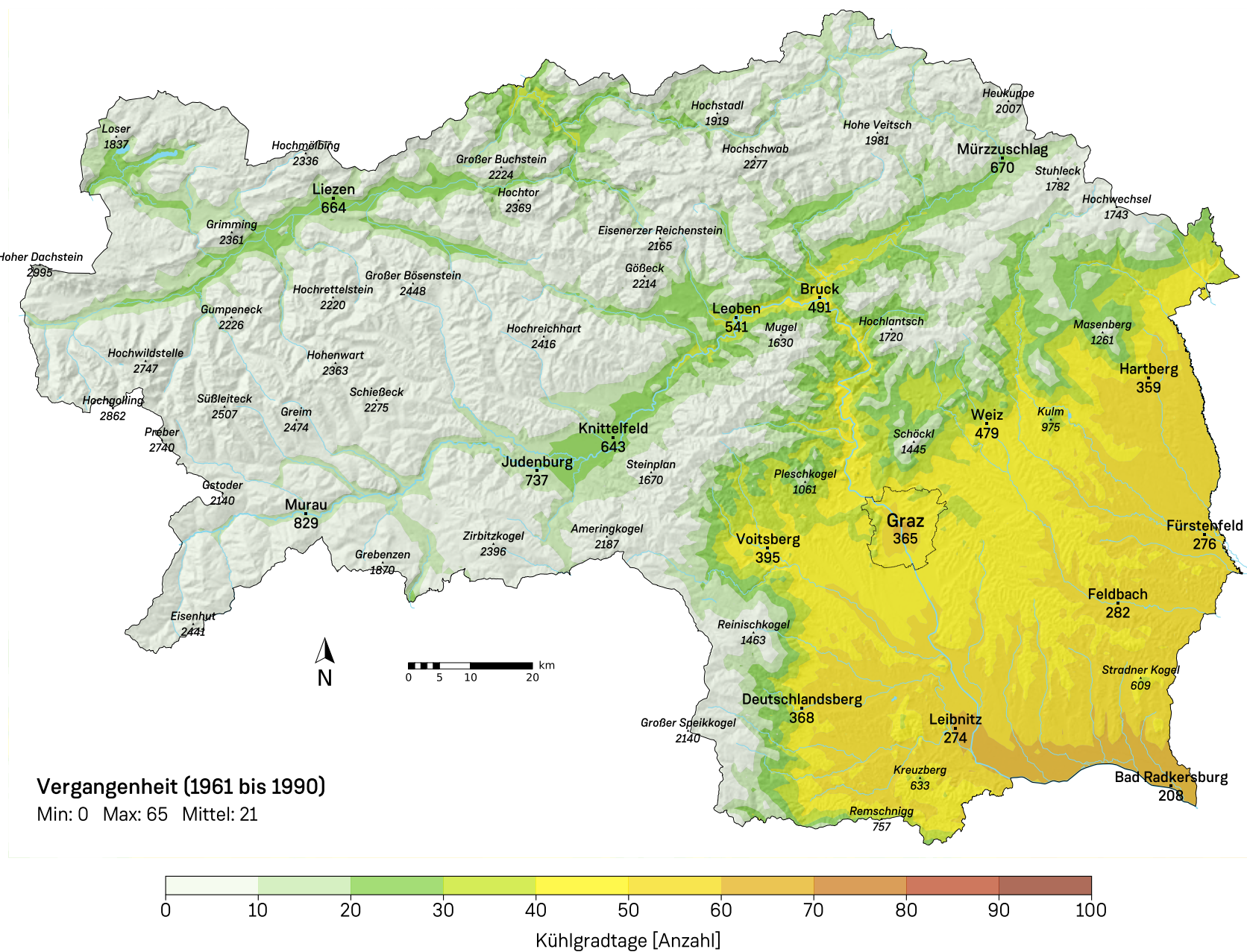


Abbildung 3.48: Anzahl der Kühlgradtage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

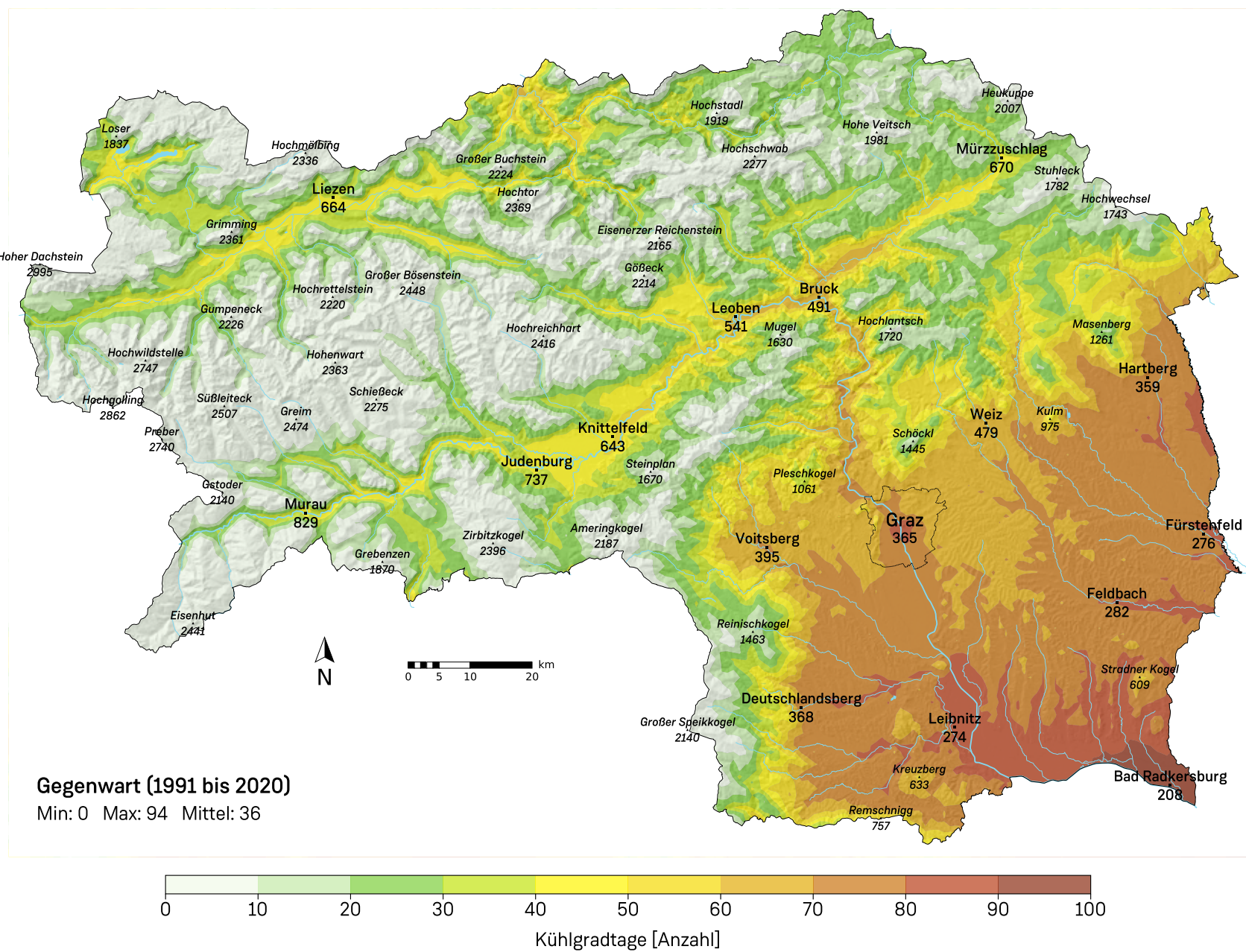


Abbildung 3.49: Anzahl der Kühlgradtage pro Jahr für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

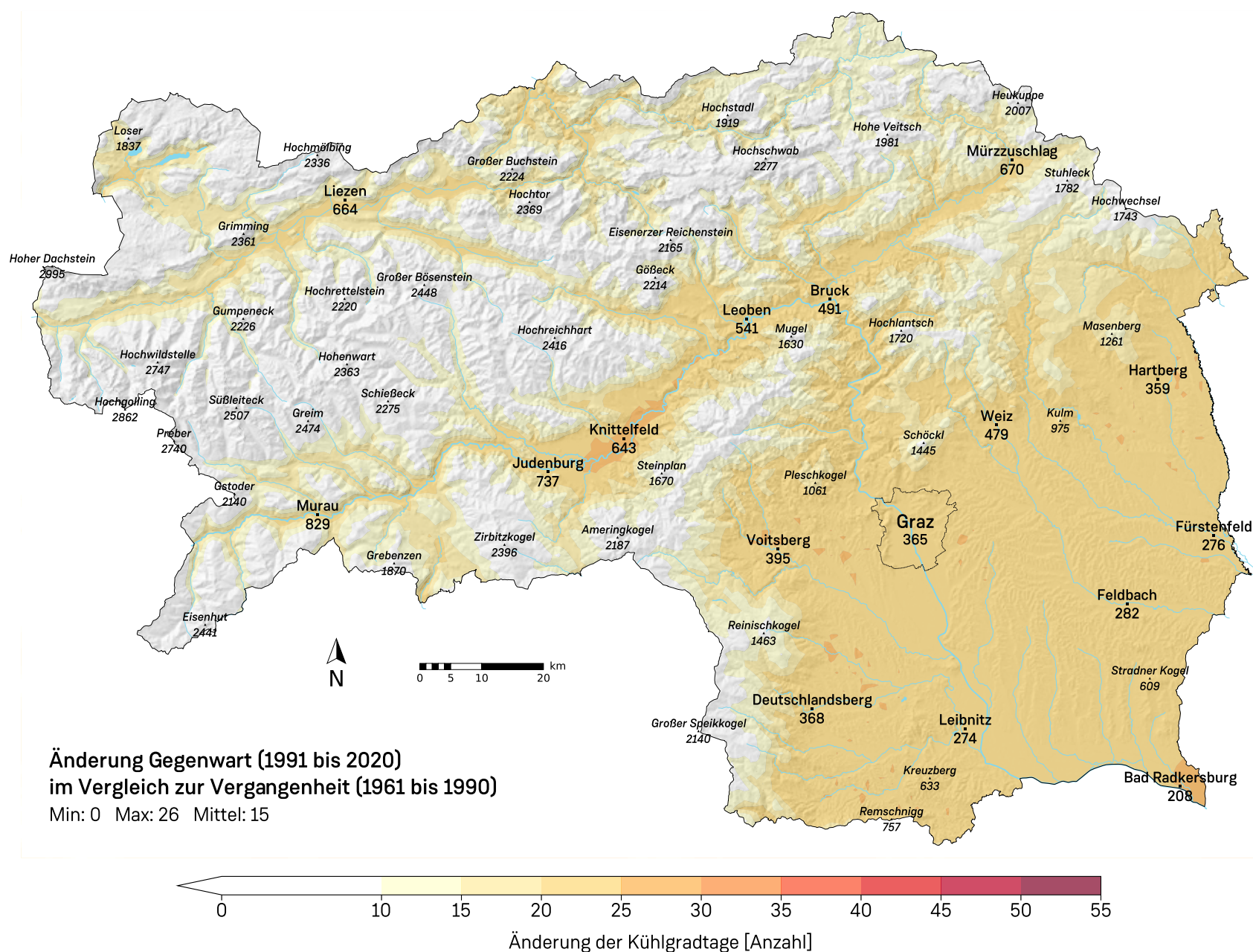


Abbildung 3.50: Änderung der Anzahl der Kühlgradtage der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

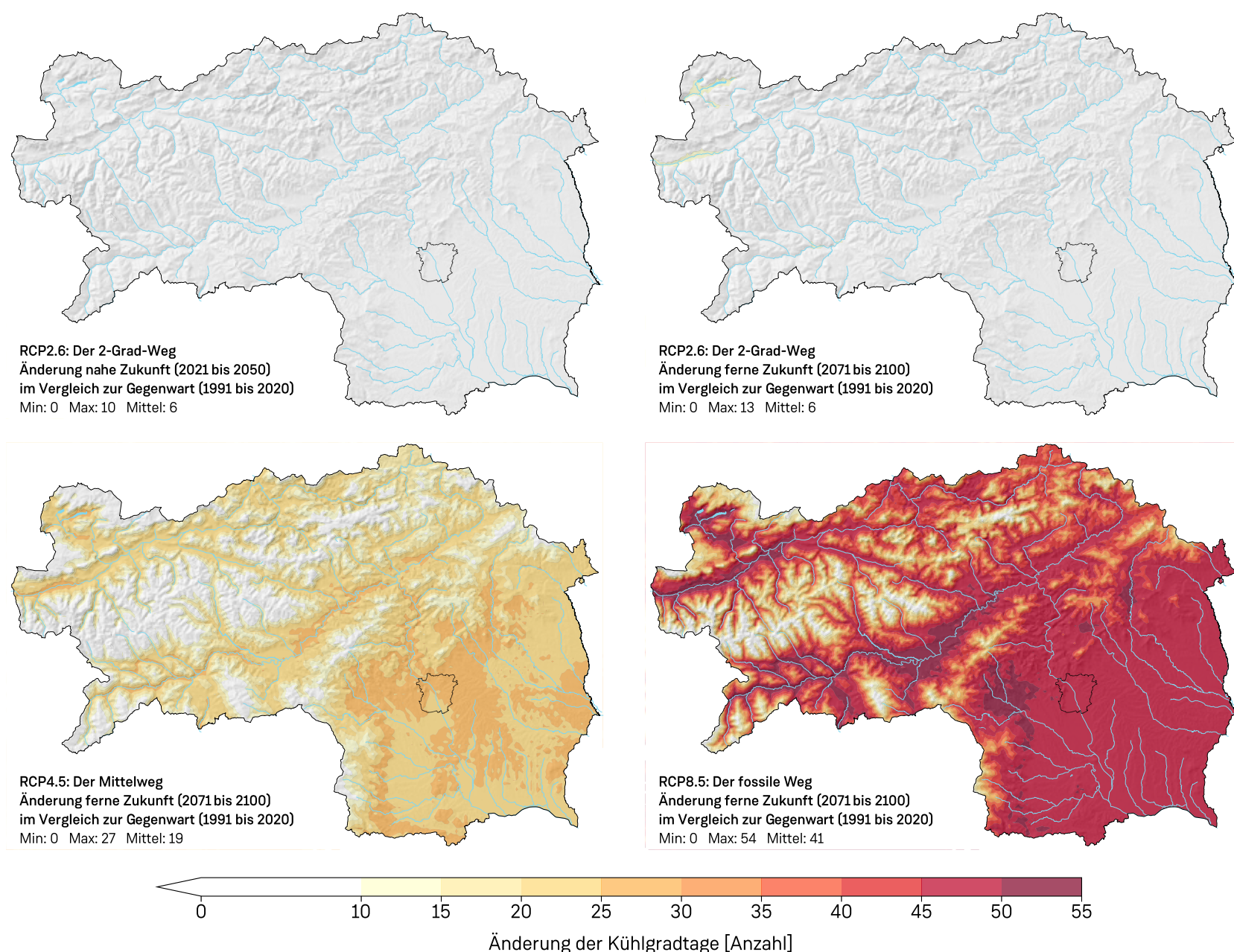


Abbildung 3.51: Änderung der Anzahl der Kühlgradtage für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

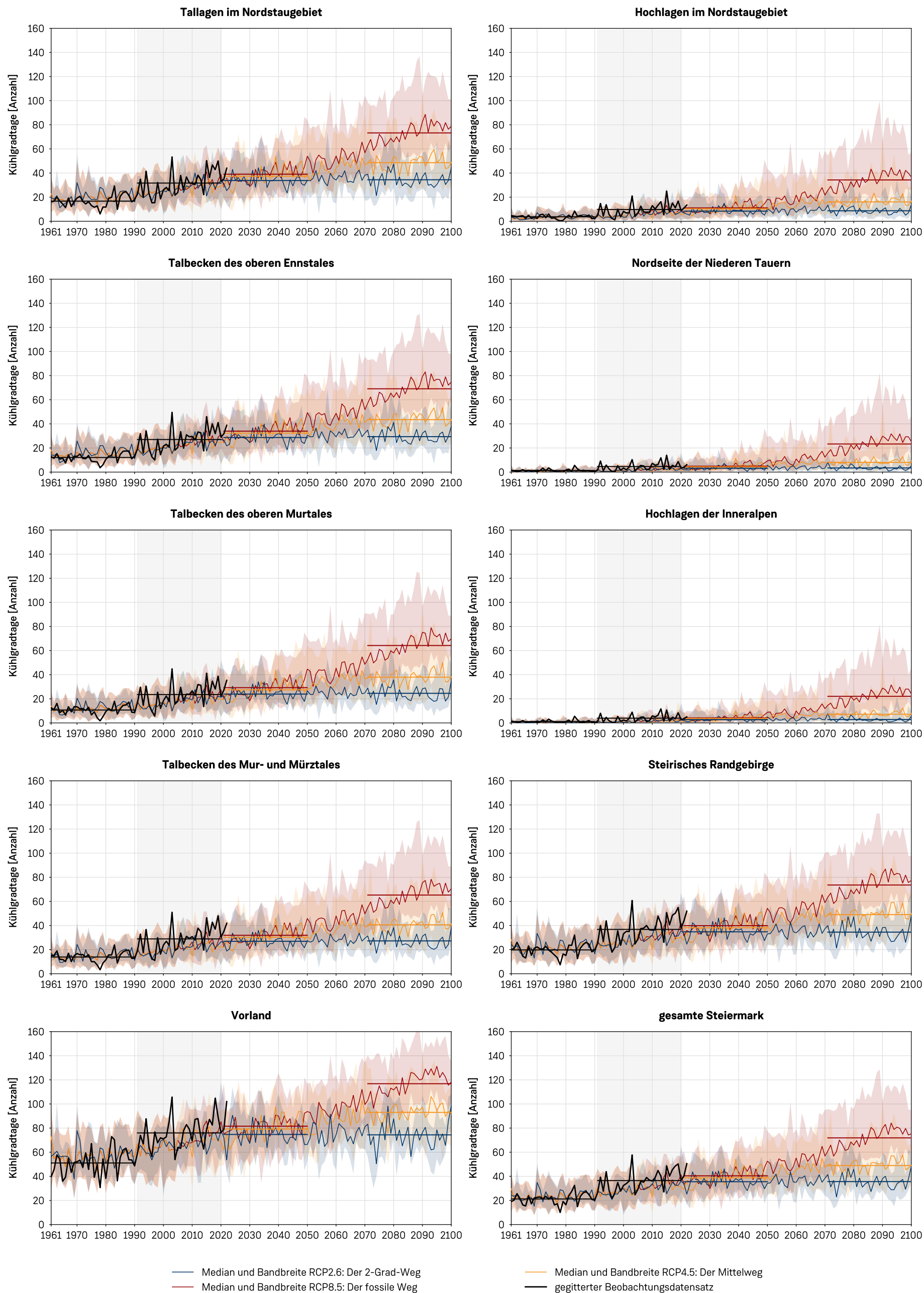


Abbildung 3.52: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der Kühlgradtage von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

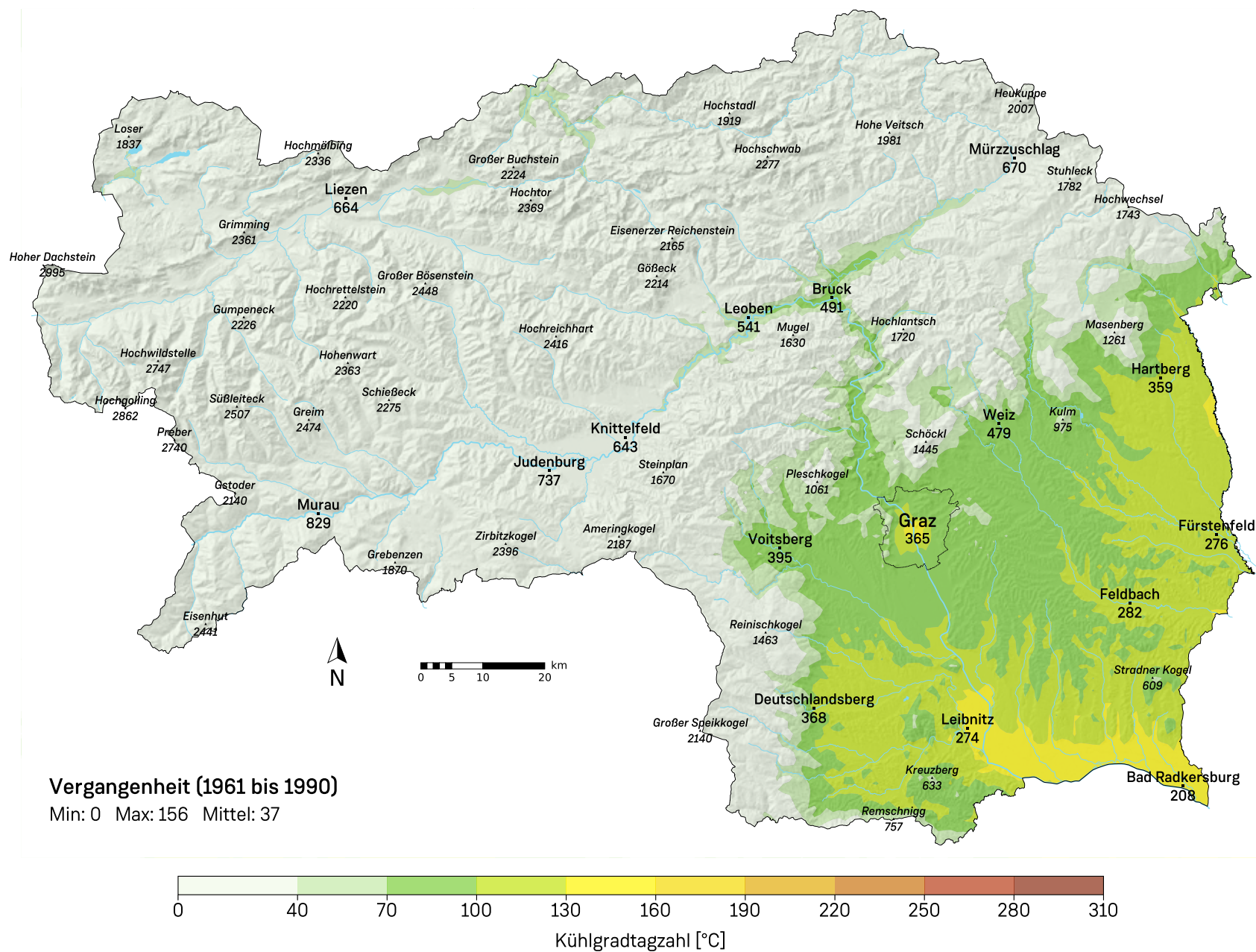


Abbildung 3.53: Mittlere jährliche Kühlgradtagzahl für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

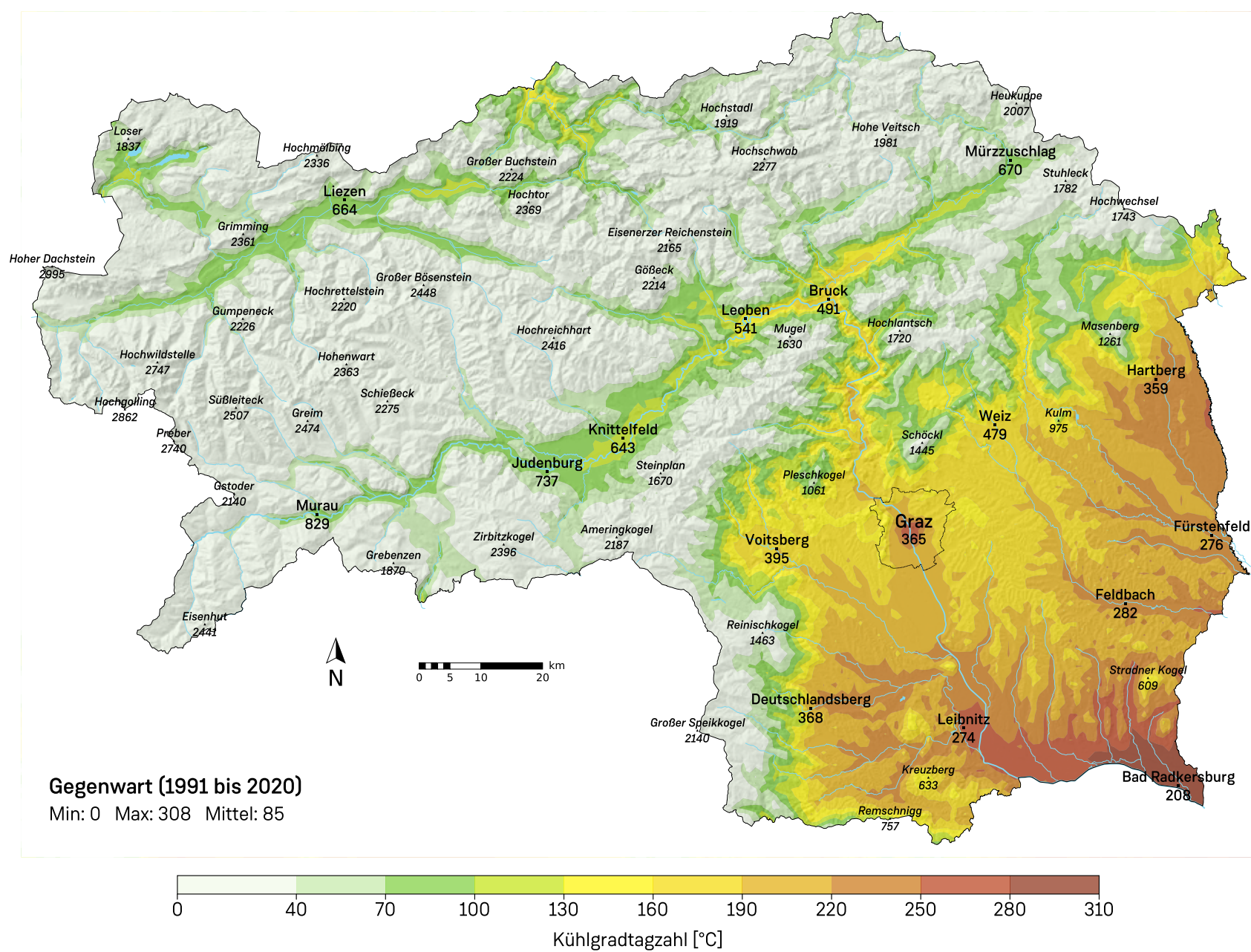


Abbildung 3.54: Mittlere jährliche Kühlgradtagzahl für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

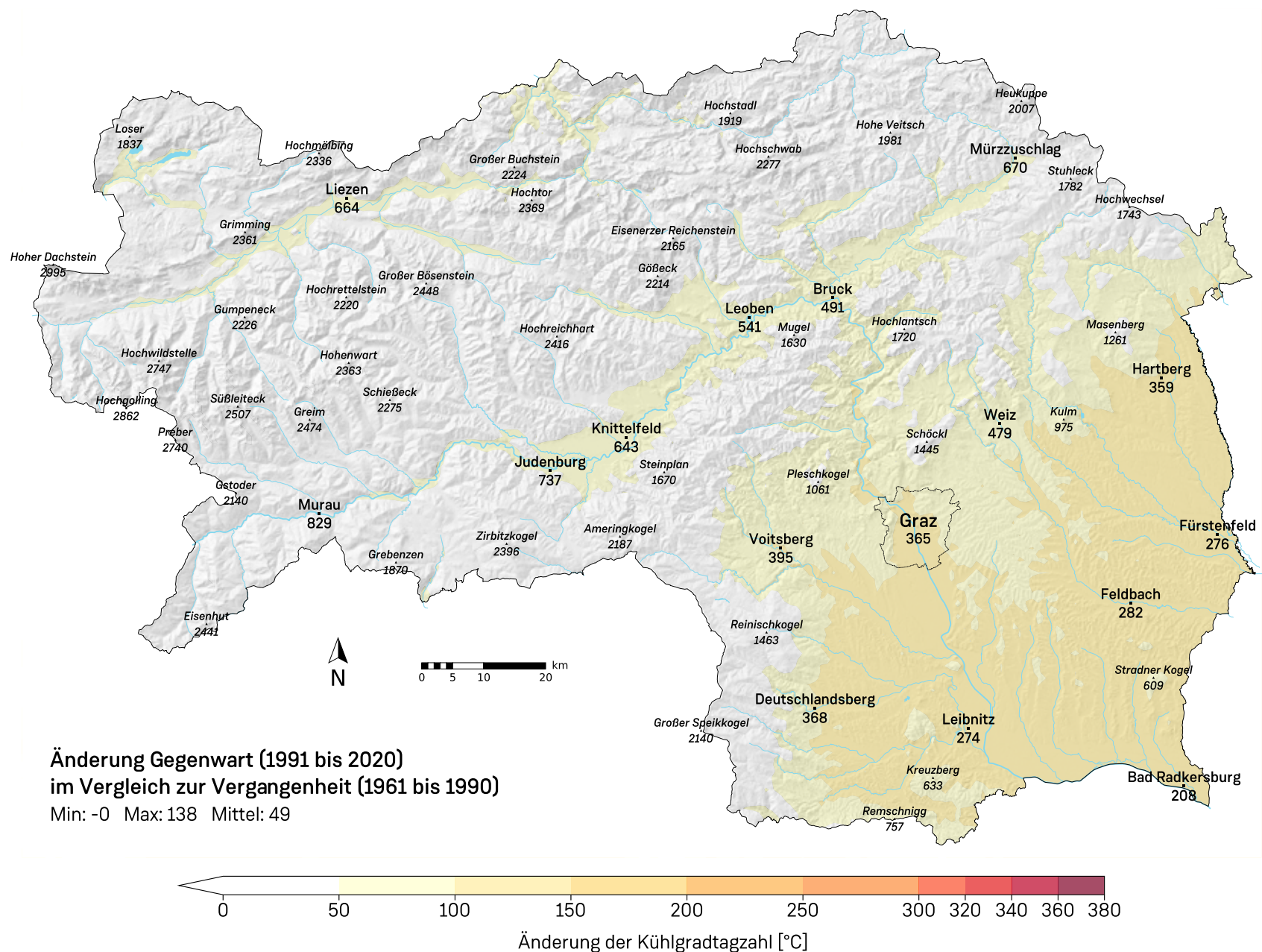


Abbildung 3.55: Änderung der Kühlgradtagzahl der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

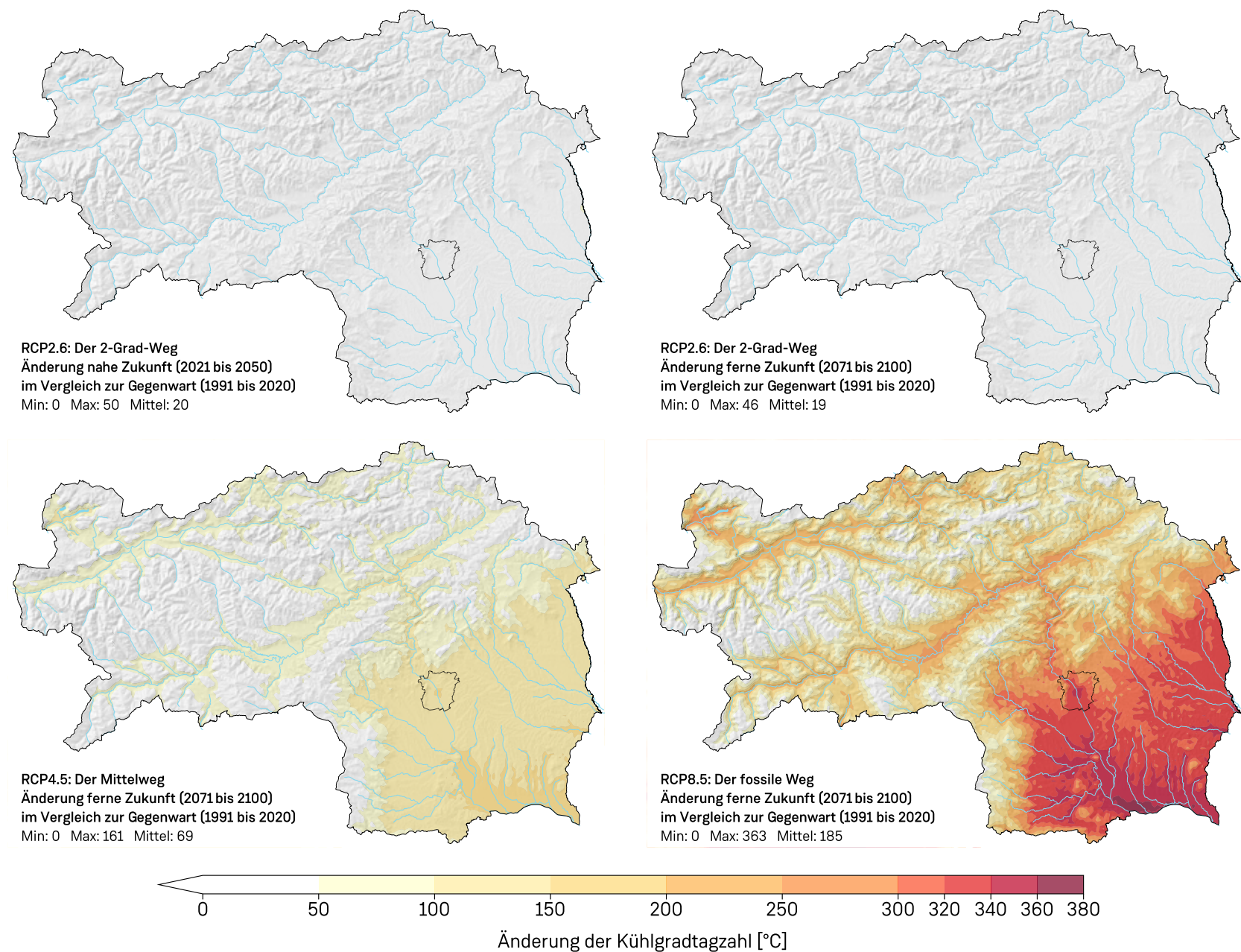


Abbildung 3.56: Änderung der Kühlgradtagzahl für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

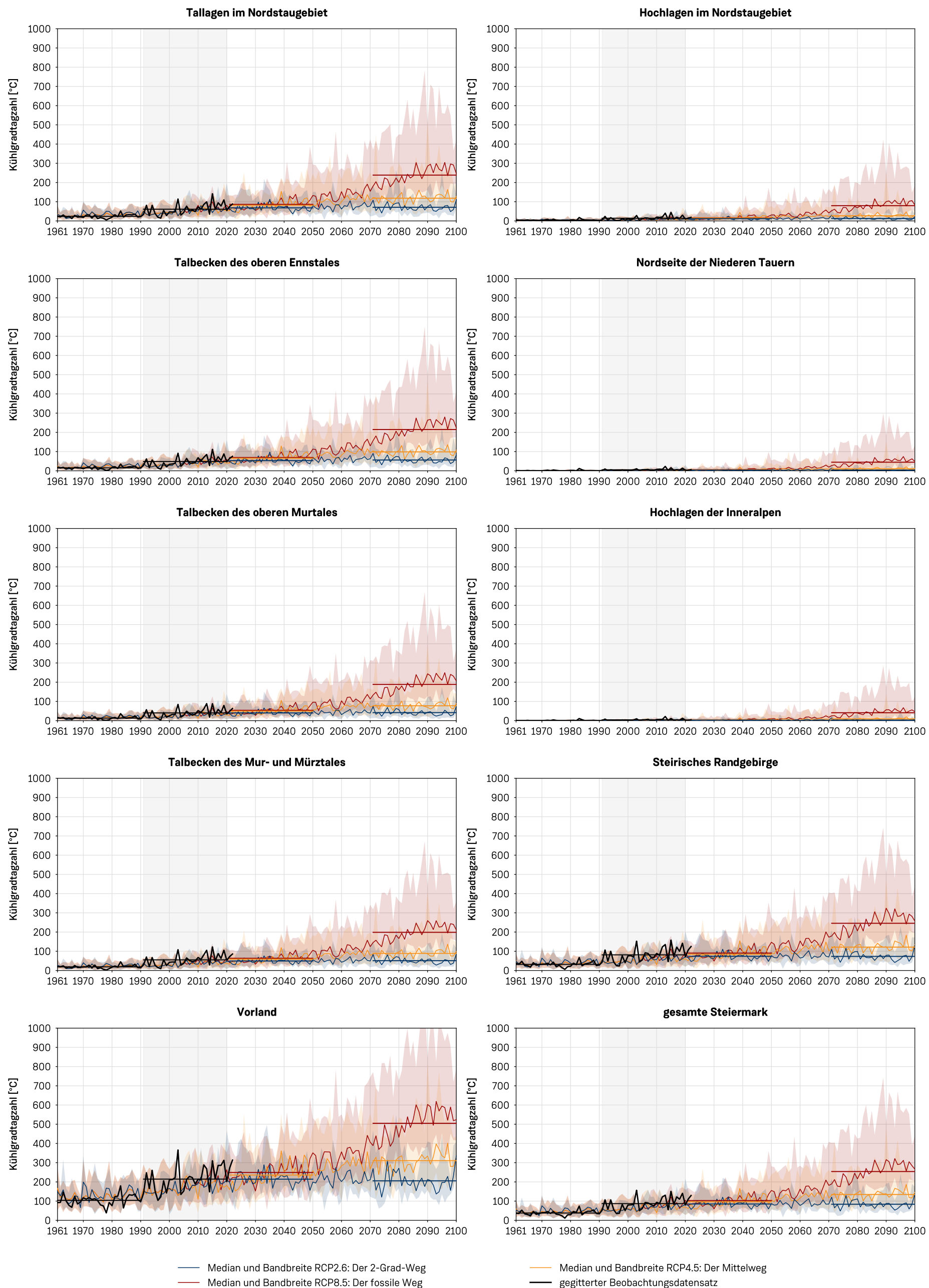


Abbildung 3.57: Zeitlicher Verlauf der Kühlgradtagzahl von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

3.5 Vegetationsperiode und Frost

3.5.1 Beginn, Ende und Länge der Vegetationsperiode

Definition. Als Beginn der Vegetationsperiode wird der erste Tag der ersten Periode im Jahr mit mindestens sechs Tagen in Folge, an denen die mittlere Lufttemperatur 5°C übersteigt, gezählt. Das Ende der Vegetationsperiode ist der erste Tag der ersten Periode nach dem 1. Juli mit mindestens sechs Tagen in Folge, an denen die mittlere Temperatur unter 5°C liegt. Die Dauer der Vegetationsperiode ist die Anzahl der Tage zwischen Beginn und Ende der Vegetationsperiode.

Aussagekraft. Die 5°C-Schwelle kennzeichnet den Bereich der stärksten Zunahme der biologischen Aktivität vieler Pflanzen und die merkbare Zunahme der Wachstumsleistung von Gräsern und Getreide. Der Beginn, das Ende und die Länge der Vegetationsperiode haben daher nicht nur ökologische, sondern auch landwirtschaftliche Bedeutung, da sie wichtige Hinweise für eine dem Klima eines Standortes angepasste Sortenwahl geben. So zählen zum Beispiel Regionen der Steiermark

Tabelle 3.6: Durchschnittliche Länge der Vegetationsperiode für die 30-jährigen Klimanormalperioden 1991 – 2020 nach Höhenlagen.

Höhenlage	Tage
>2000 m	120
1500 – 2000 m	163
1000 – 1500 m	205
500 – 1000 m	236
<500 m	256

mit einer Länge der Vegetationsperiode von mindestens 240 Tagen zu den besonders begünstigten Lagen, die sich für den Anbau von anspruchsvollen Nutzpflanzen wie Wein oder Qualitätsobst eignen.

Mittelwert 1991 – 2020. Im langjährigen Mittel betrug die Länge der Vegetationsperiode in der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 219 Tage (Abbildung 3.59). Sie beginnt durchschnittlich am 26. März und endet am 31. Oktober (Abbildungen 3.61 und 3.63). Das sind Flächenmittelwerte über alle Höhenlagen der Steiermark, die auch die Hochlagen beinhalten.

Räumliche Verteilung. Die räumliche Verteilung der Länge der Vegetationsperiode reicht von etwa 270 Tagen im Südosten der Steiermark bis zu nur etwa 75 Tagen in den höchsten Lagen der Niederen Tauern und des Dachsteingebirges. Diese Verteilung spiegelt sehr stark die Höhenlage wider und zeigt die starke klimatische Bevorzugung des Vorlandes im Vergleich zum Rest der Steiermark (Abbildung 3.59). Unterteilt man die Steiermark nach Höhenlagen (Tabelle 3.6), zeigt sich, dass die Vegetationsperiode unterhalb von 500 m Seehöhe durchschnittlich 256 Tage und zwischen 500 m und 1000 m immer noch 236 Tage dauert. In den mildesten Regionen beginnt die Vegetationsperiode bereits im Februar (Abbildung 3.61). Auffällig ist, dass es sich hierbei nicht nur um das Gebiet zwischen Leibnitz und Bad Radkersburg und das untere Raabtal handelt, sondern auch etwas höher gelegene Regionen rund um den Schöckl, das Passailer Becken, Teile des Feistritztals und die Region

um Hartberg dazugehören. Das Ende der Vegetationsperiode (Abbildung 3.63) fällt im Vorland typischerweise auf Mitte November und in den Talböden in der Obersteiermark auf Anfang November.

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist die Vegetationsperiode in der Steiermark im Mittel um 15 Tage länger geworden (Abbildung 3.64). Dieser Wert ist, abgesehen von regional sehr begrenzten Abweichungen, für die gesamte Steiermark repräsentativ. Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagt das Szenario mit der geringsten Erwärmung („2-Grad-Ziel“, Abbildung 3.65, links oben) eine weitere Verlängerung um 11 Tage vorher, wobei die Zunahme im Vorland geringer ausfällt als in anderen Regionen der Steiermark. Dieses Szenario unterscheidet sich bis 2050 kaum von anderen untersuchten Szenarien (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann sich die Länge der Vegetationsperiode auf diesem Niveau stabilisieren (11 Tage Zunahme), wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildung 3.65, rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde sich die Vegetationsperiode aber um 54 Tage, also um fast acht Wochen verlängern (Abbildung 3.65, rechts unten). Die Zeitreihen (Abbildung 3.66) zeigen, dass in Zukunft eine weitere Verlängerung der Vegetationsperiode in allen Klimaregionen der Steiermark zu erwarten ist, was zu starken Auswirkungen auf die Vegetation und die Landwirtschaft führen würde.

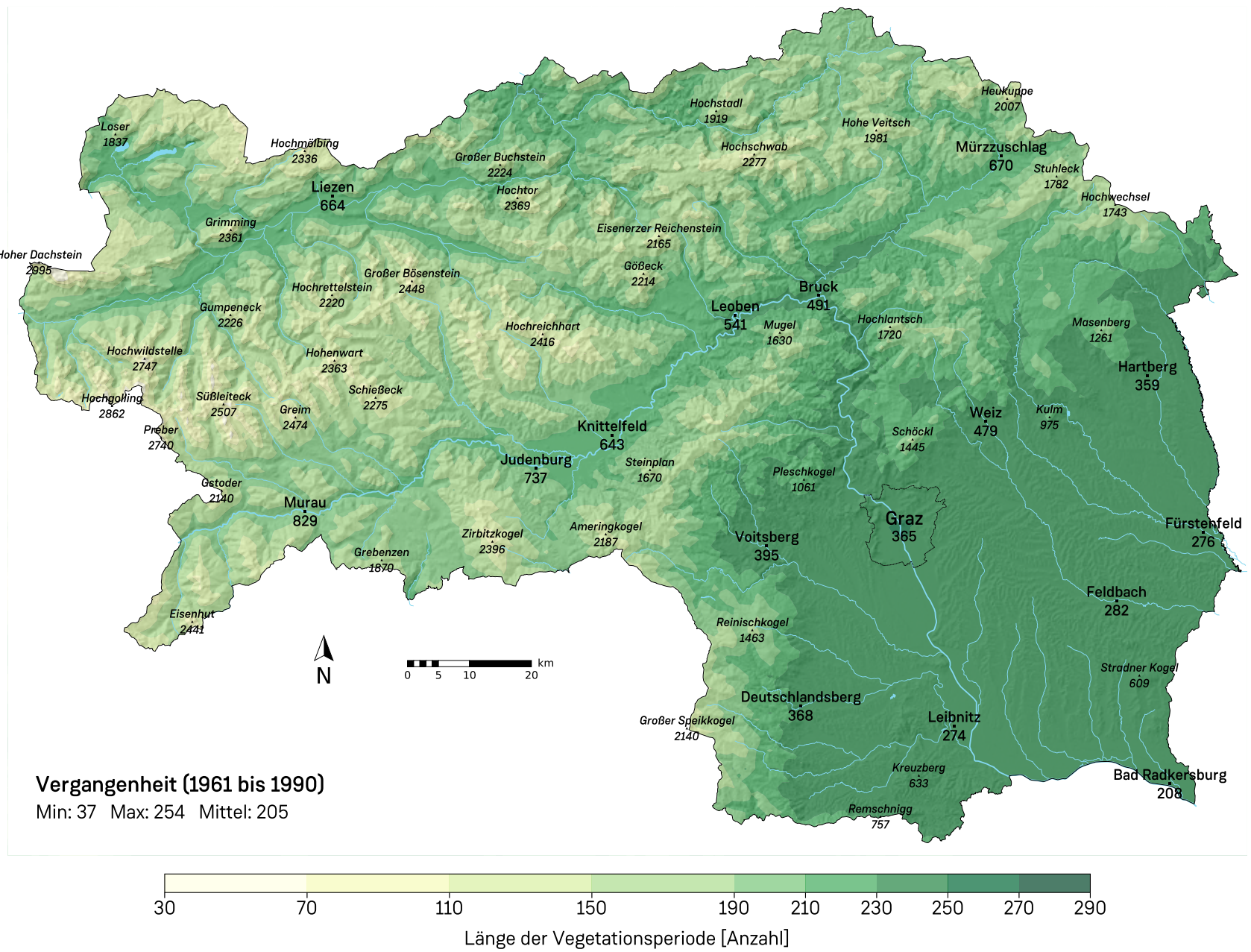


Abbildung 3.58: Durchschnittliche Länge der Vegetationsperiode für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

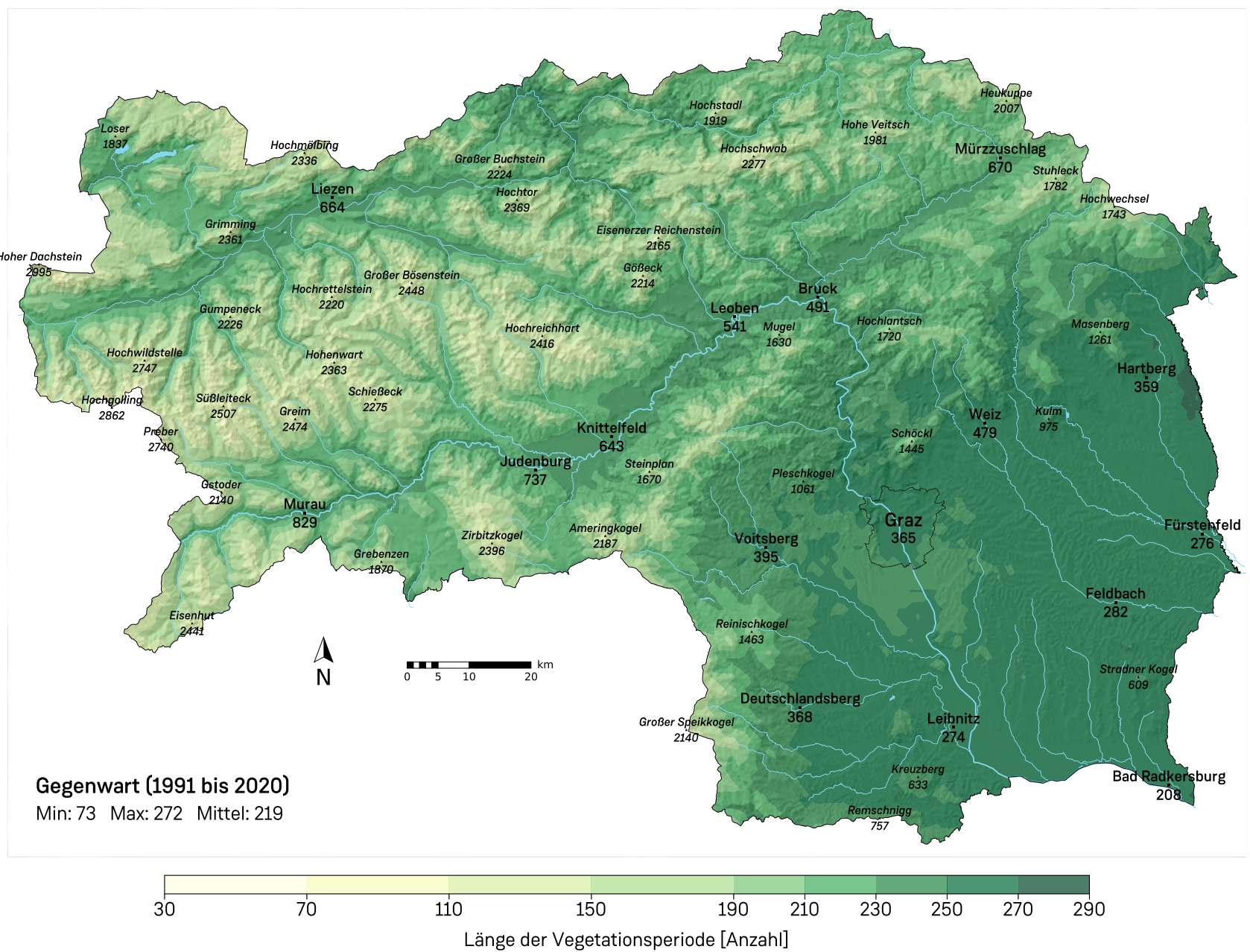


Abbildung 3.59: Durchschnittliche Länge der Vegetationsperiode für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

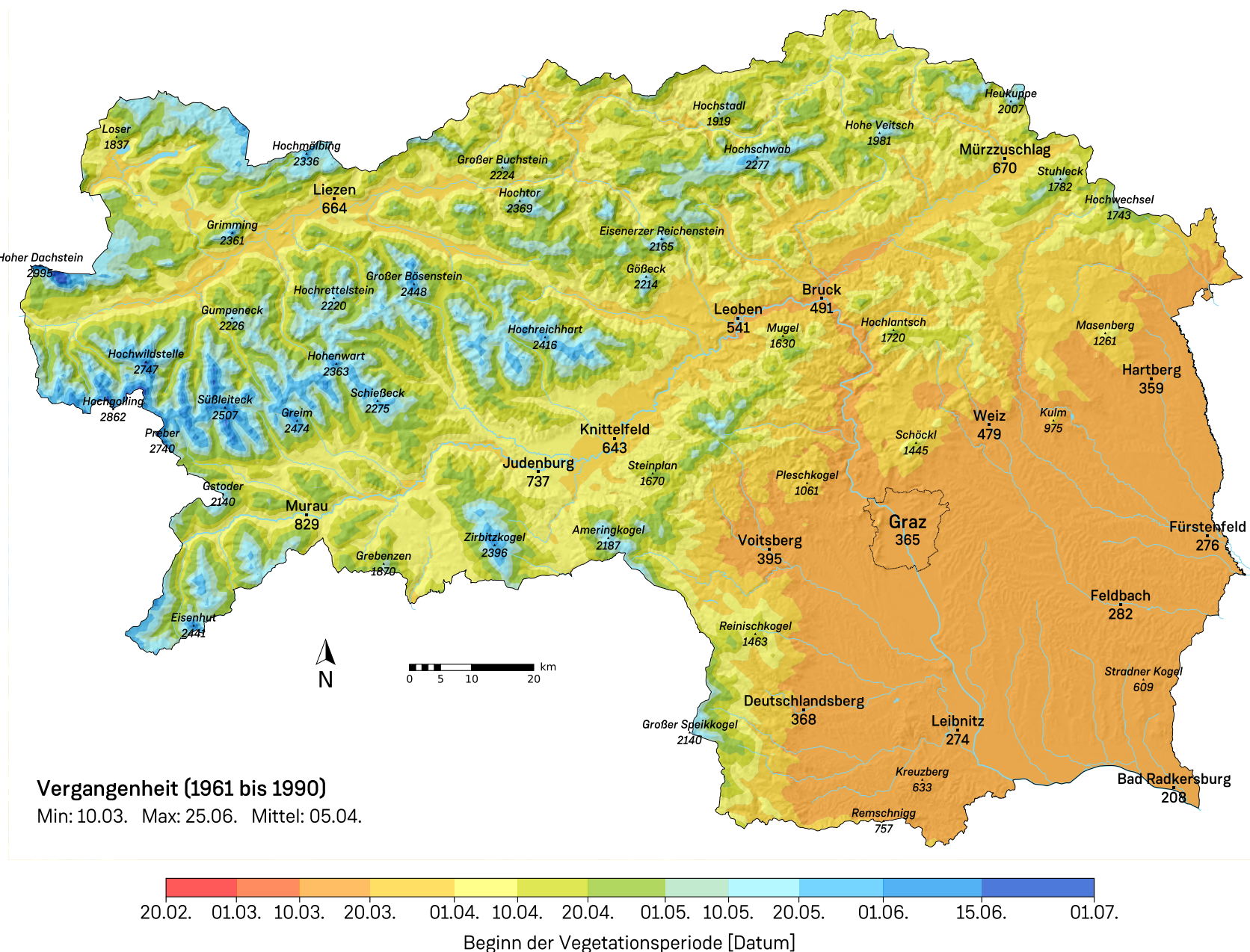


Abbildung 3.60: Durchschnittlicher Beginn der Vegetationsperiode für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

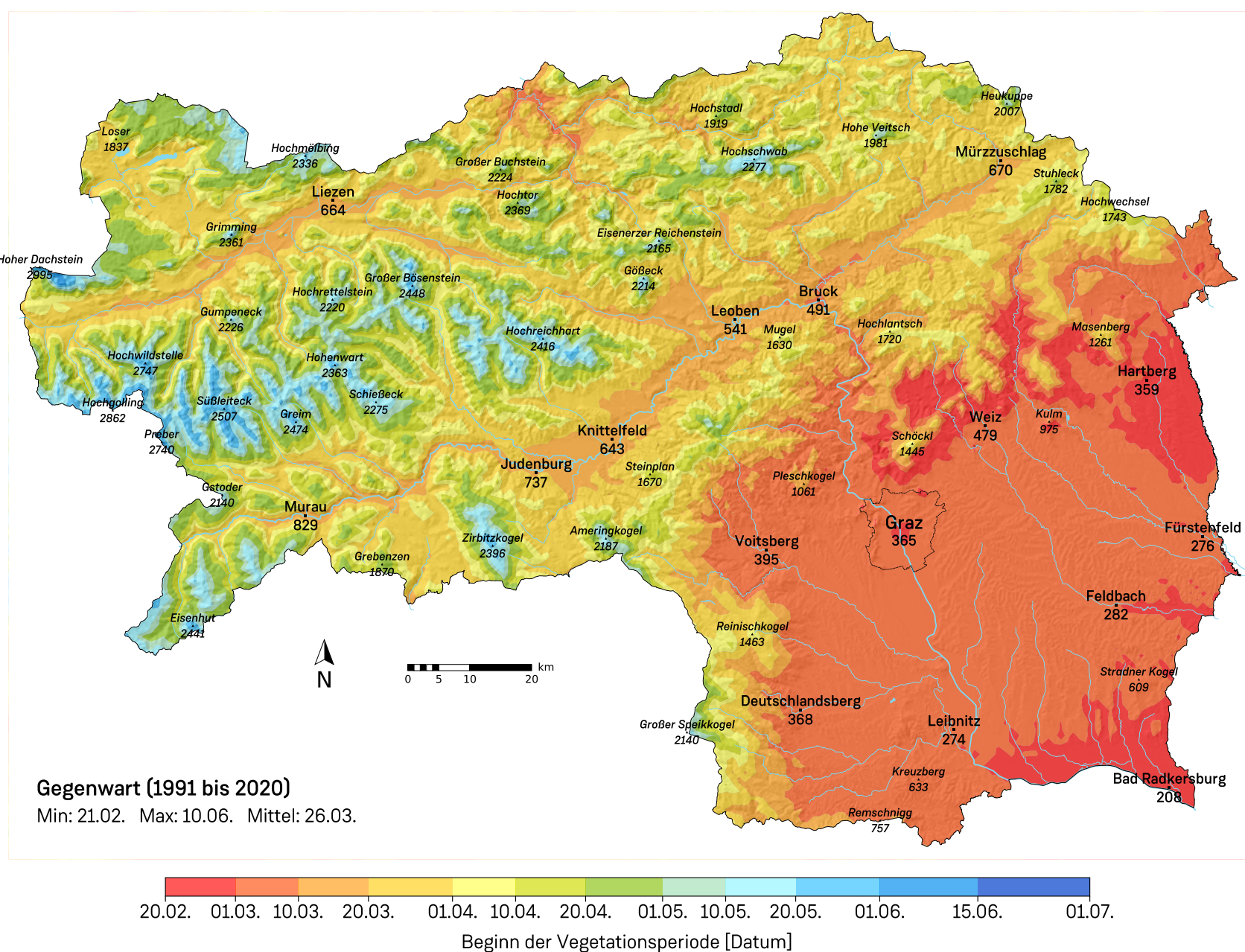


Abbildung 3.61: Durchschnittlicher Beginn der Vegetationsperiode für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

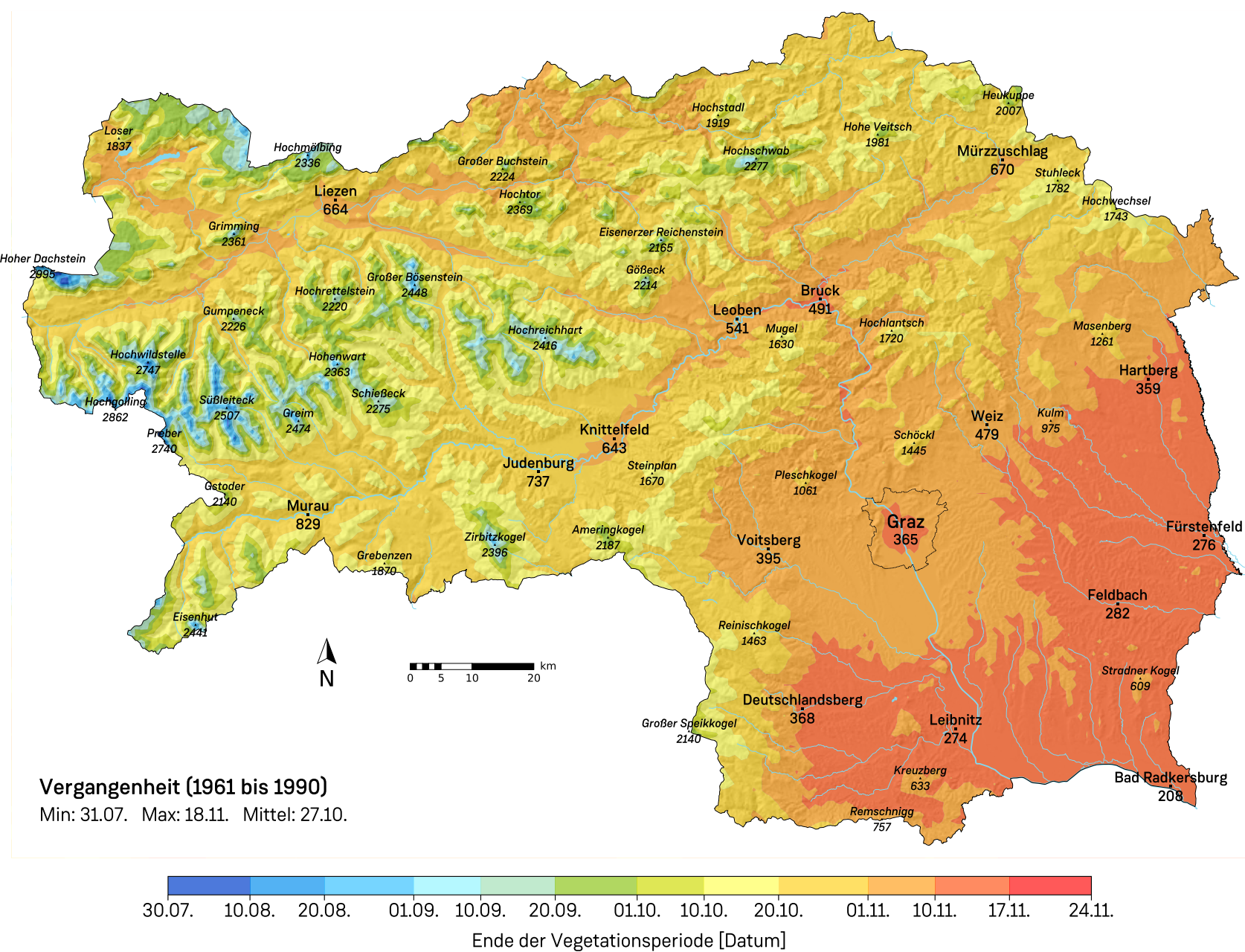


Abbildung 3.62: Durchschnittliches Ende der Vegetationsperiode für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

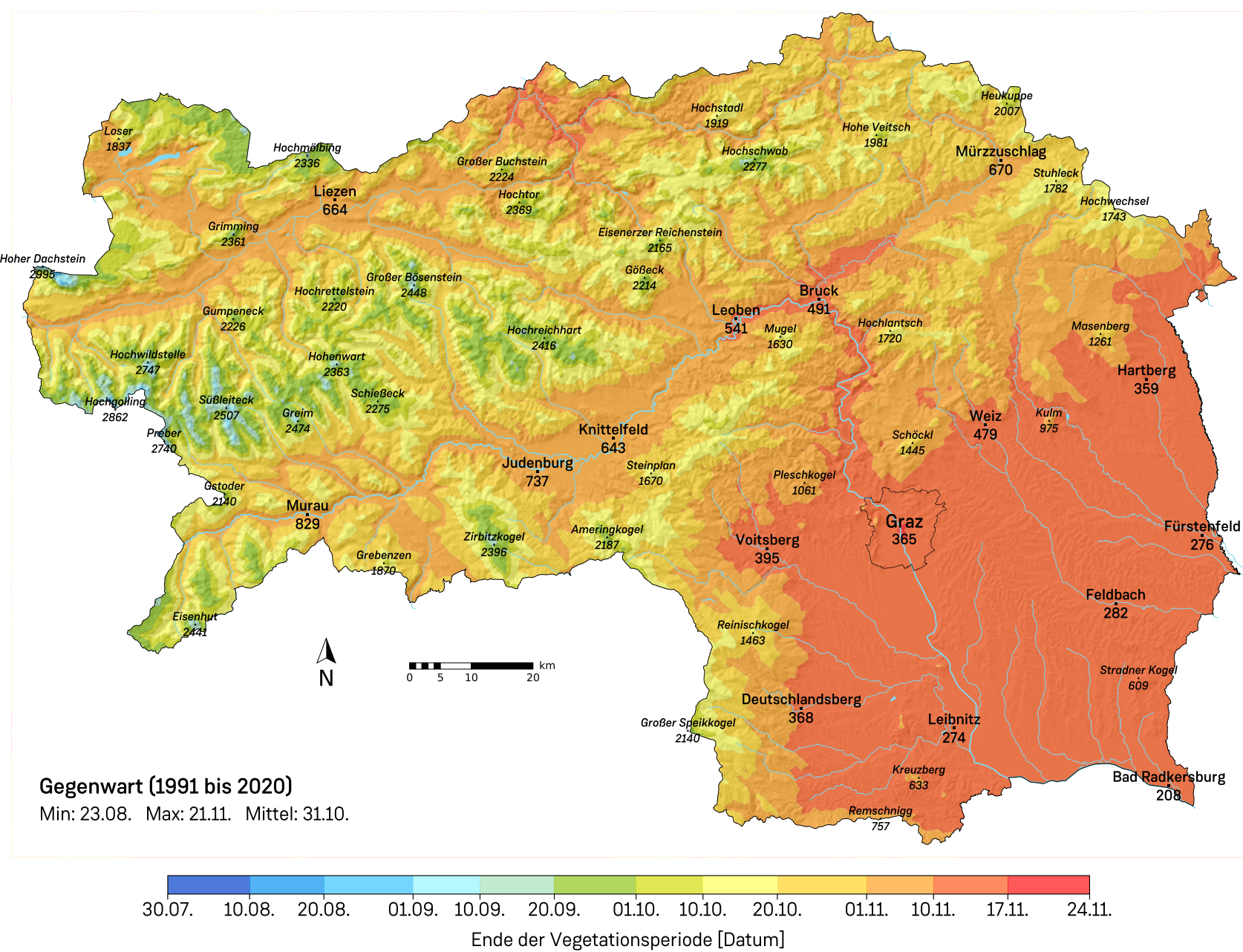


Abbildung 3.63: Durchschnittliches Ende der Vegetationsperiode für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

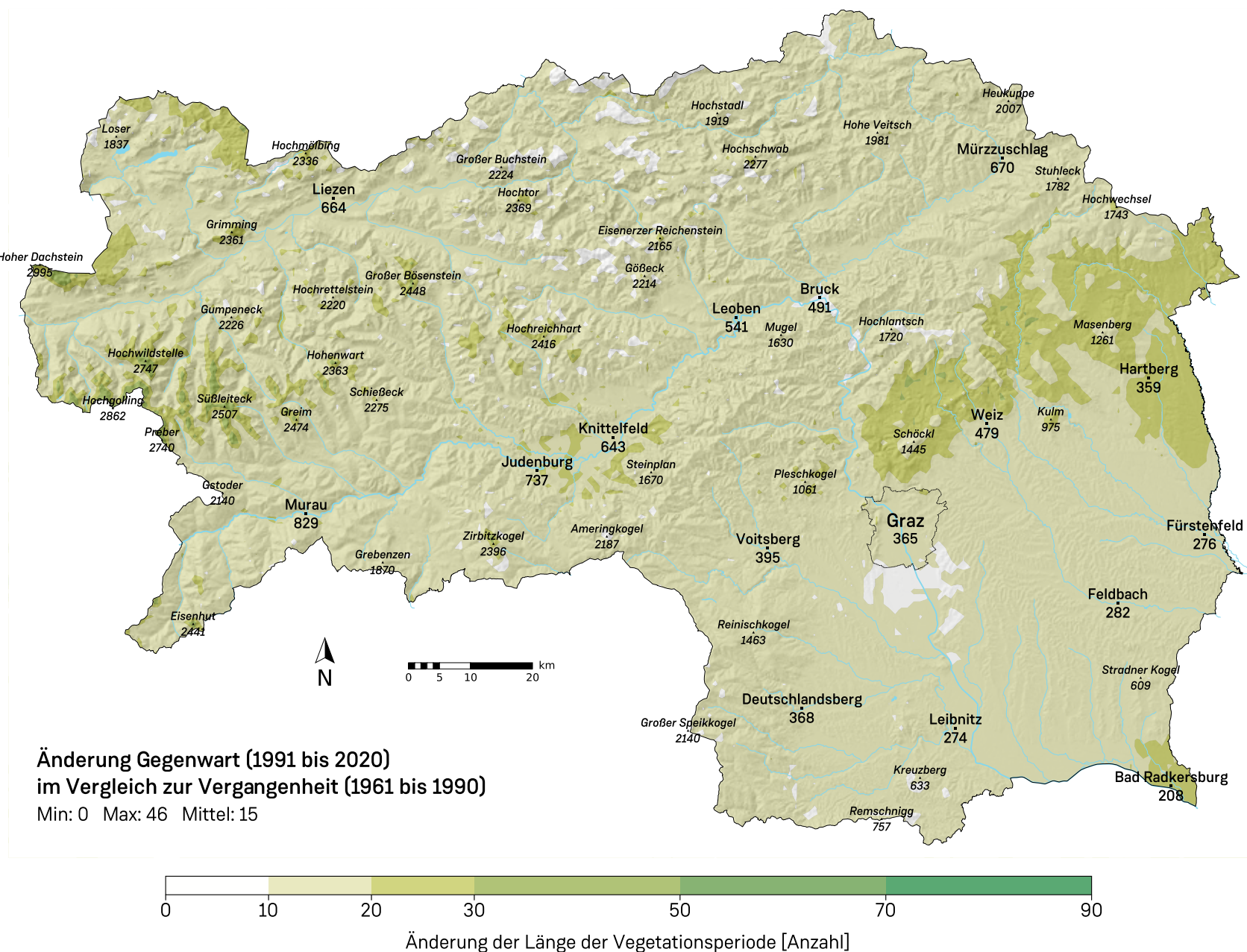


Abbildung 3.64: Änderung der Länge der Vegetationsperiode der Gegenwart (1991 – 2020) im Vergleich zur Vergangenheit (1961 – 1990).

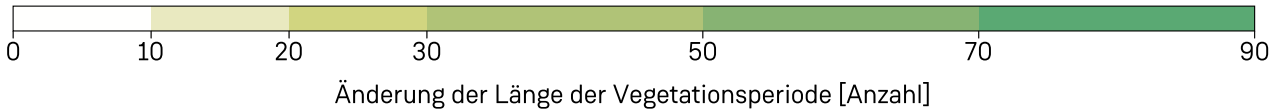
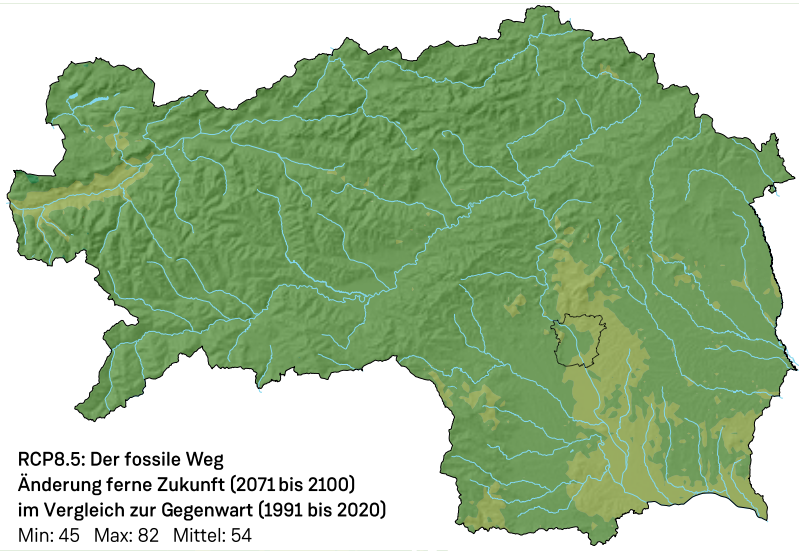
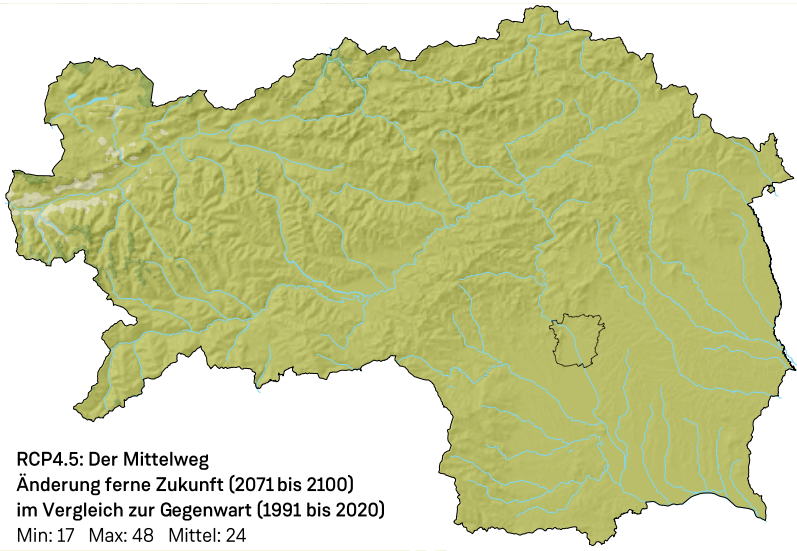
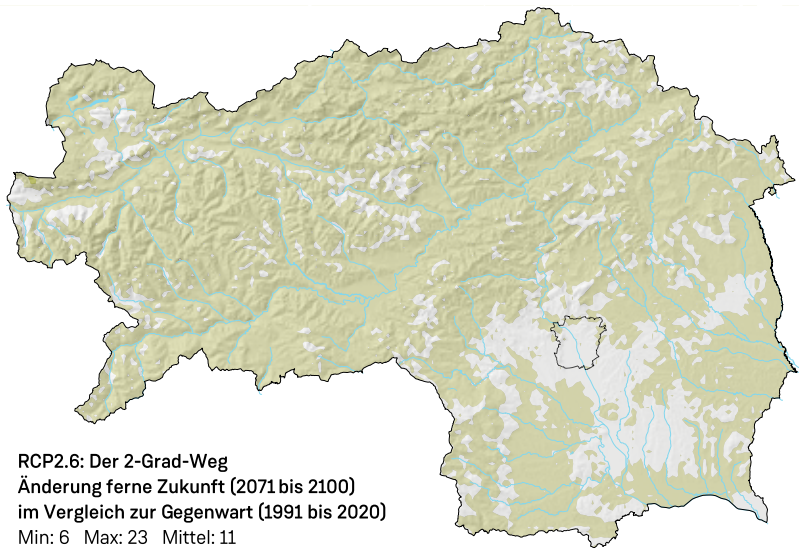


Abbildung 3.65: Änderung der Länge der Vegetationsperiode für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

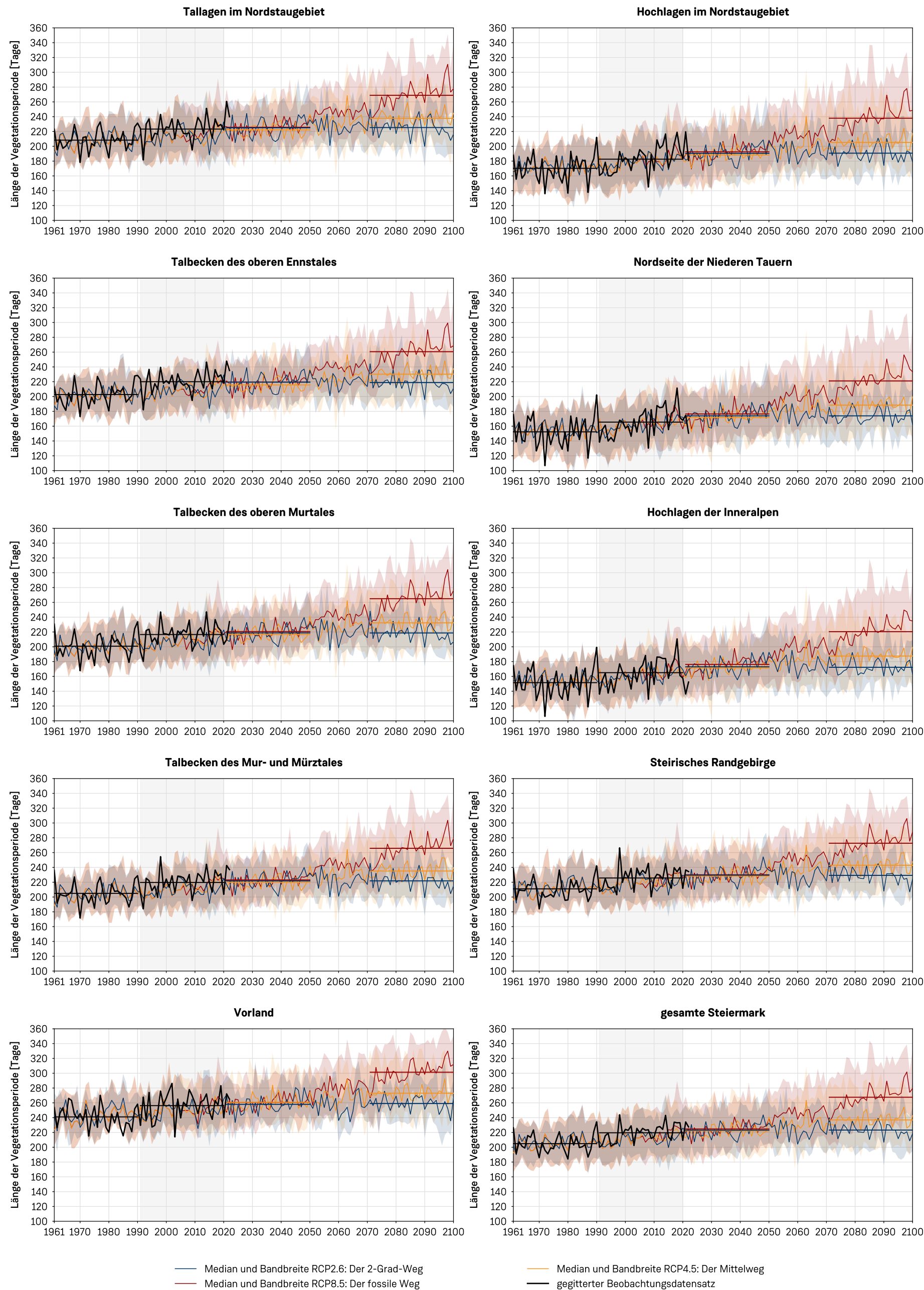


Abbildung 3.66: Zeitlicher Verlauf der Länge der Vegetationsperiode von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

3.5.2 Spät- und Frühfrost

Definition. Als Datum des letzten Frostes eines Winters (Spätfrost) wird hier der letzte Tag des Jahres (vor 1. August) mit einer Minimum-Temperatur von -2°C oder weniger gewertet. Das Datum des ersten Frostes (Frühfrost) ist dementsprechend der erste Tag des Jahres (nach 1. August) mit einer Minimum-Temperatur von -2°C oder weniger.

Aussagekraft. Das Datum des letzten Frostes hat wegen der sehr großen möglichen Schadenswirkung vor allem landwirtschaftliche Bedeutung. Betroffen sind in der Steiermark großteils Obst- und Weinkulturen und Schäden gehen in Jahren, in denen Spätfrost nach Vegetationsbeginn auftritt, typischerweise in die zweistelligen Millionenbeträge (z.B. Österreichische Hagelversicherung, 2021, 2023, 2024). Das Datum des ersten Frostes im Herbst (Frühfrost) ist weitgehend ein Spiegelbild des Spätfrostes im Frühjahr, seine landwirtschaftliche Bedeutung ist allerdings wesentlich kleiner, da es im Herbst weniger empfindliche Wuchsphasen der Kulturpflanzen gibt bzw. die Ernte zur Zeit des ersten Frostes meist schon eingebracht ist. Der Betrag von -2°C als Grenzwert wurde ausgewählt, um die agrarklimatisch stärker wirksamen Schadensfröste zu erfassen. Bei Temperaturen zwischen 0°C und -2°C tragen robustere Kulturpflanzen bzw. deren Blüten kaum Schäden davon.

Mittelwert. Im langjährigen Mittel trat der letzte Frost des Winters in der Steiermark in der Periode 1991 – 2020 am 17. April (Abbil-

dung 3.68) und der erste Frost am 26. Oktober auf (Abbildung 3.73). Das sind Flächenmittelwerte über alle Höhenlagen der Steiermark, die auch die Hochlagen beinhalten.

Räumliche Verteilung. Das typische Datum des letzten Frostes reicht von Mitte März in den wärmsten Regionen des Vorlandes bis Ende Mai in den höchsten Lagen der Niederen Tauern und des Dachsteingebirges. Diese Verteilung spiegelt sehr stark die Höhenlage wider und zeigt zudem die starke klimatische Bevorzugung des Vorlandes im Vergleich zum Rest der Steiermark (Abbildung 3.68). Das typische Datum des ersten Frostes reicht von der zweiten Novemberhälfte in begünstigten Regionen des Vorlandes bis Mitte August in den höchsten Lagen der Niederen Tauern und des Dachsteingebirges (Abbildung 3.73).

Zeitliche Änderung. Im Vergleich zur vorangegangenen Klimanormalperiode (1961 – 1990) ist der letzte Frost im Mittel um 9 Tage früher, also am 8. April aufgetreten (Abbildung 3.69). Die Änderungen sind im Vorland geringer als in der Obersteiermark. Dieses Zurückweichen des letzten Spätfrostes in Richtung Winter bedeutet aber nicht, dass das Risiko von Frostschäden in der Landwirtschaft zurückgeht, da gleichzeitig die Vegetationsperiode früher beginnt (im Mittel um 11 Tage, ohne Abbildung). Im Gegenteil, seit dem Jahr 2012 sind die Frostschäden in der Steiermark stark gestiegen. Ob generell die menschengemachte Erwärmung zu einem höheren Risiko von Frostschäden führt oder die Spätfrostereignisse im Rahmen der natürlichen Schwankungen nor-

mal sind, ist derzeit eine noch ungeklärte Frage in der Klimaforschung (Unterberger et al., 2018). Der erste Frost im Herbst ist im Mittel um 4 Tage später aufgetreten, wobei hier die stärksten Änderungen in den großen Tälern der Obersteiermark und im Vorland zu finden sind (Abbildung 3.74).

Für die kommende Klimanormalperiode (2021 – 2050) sagen die Österreichischen Klimaszenarien im Szenario mit der geringsten Erwärmung (Szenario „2-Grad-Ziel“, Abbildung 3.70, links oben) einen weiteren Rückzug des letzten Spätfrostes um 5 Tage, also auf den 3. April vorher. Dieses Szenario unterscheidet sich bis 2050 kaum von anderen untersuchten Szenarien (ohne Abbildung). Langfristig, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, kann das Datum des letzten Spätfrostes etwa auf diesem Niveau stabilisiert werden (8 Tage früher als in der jüngsten Klimanormalperiode), wenn das Szenario „2-Grad-Ziel“ eingehalten wird (Abbildung 3.70, rechts oben). Unter der Annahme des Szenarios „fossiler Weg“ würde sich das Datum aber um 26 Tage, also auf Anfang März vorverschieben (Abbildung 3.70, rechts unten). Die Zeitreihen (Abbildung 3.71) zeigen, dass sich das Datum des letzten Frostes in Zukunft in allen Klimaregionen der Steiermark weiter Richtung Jahresbeginn verschieben wird.



Foto 3.3: Frostberegnung an einer Obstkultur in der Oststeiermark. Der Vorteil der beim Gefriervorgang frei werdenden latenten Wärme führt zu einer enormen Verzögerung des Frierens der Pflanze. (Foto: Referat Obstbau, Brugner)

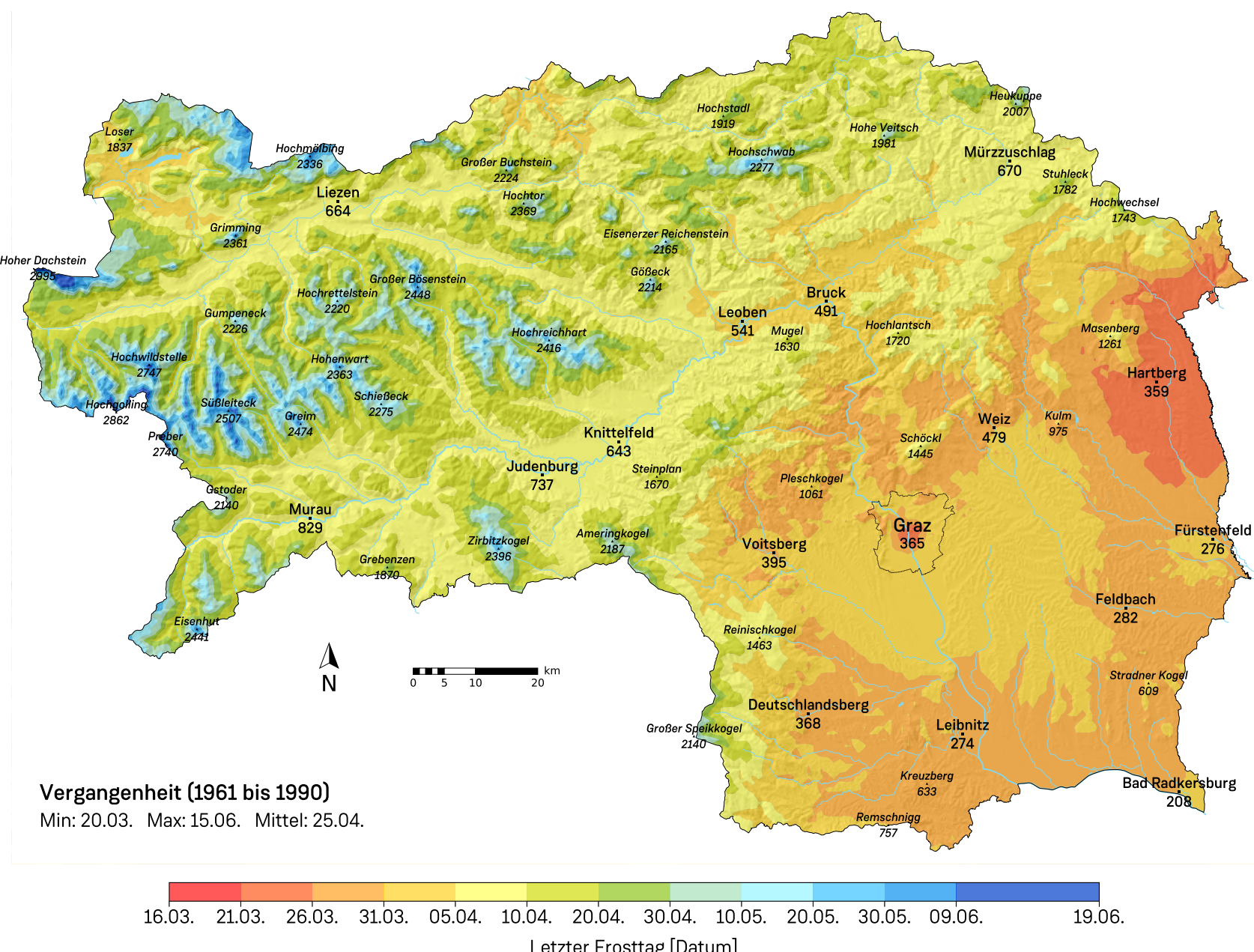


Abbildung 3.67: Durchschnittliches Datum des Auftretens des letzten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Frühling (Spätfrost) für die 30-jährige Klimanormalperiode der Vergangenheit (1961 – 1990).

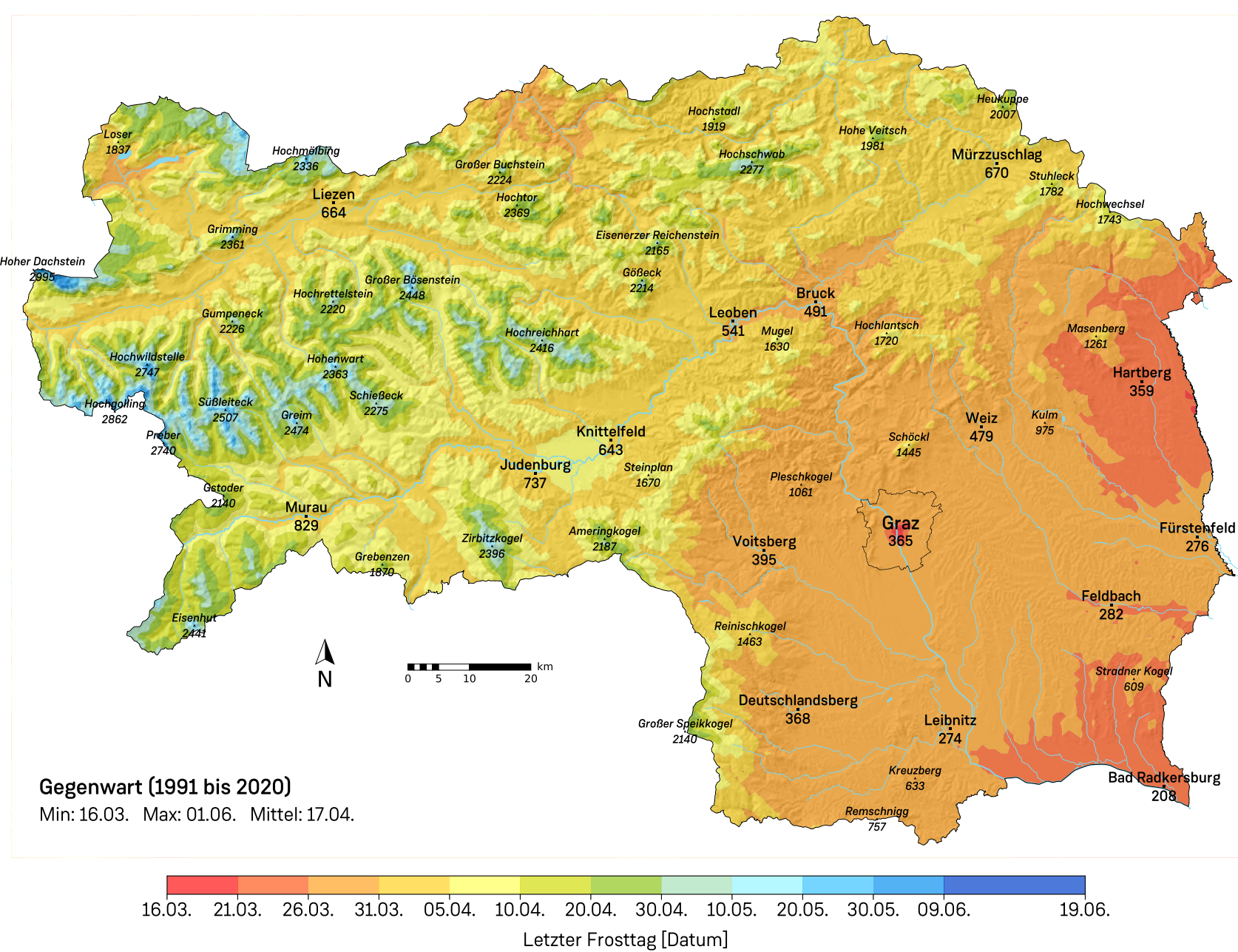


Abbildung 3.68: Durchschnittliches Datum des Auftretens des letzten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Frühling (Spätfrost) für die 30-jährige Klimanormalperiode der Gegenwart (1991 – 2020).

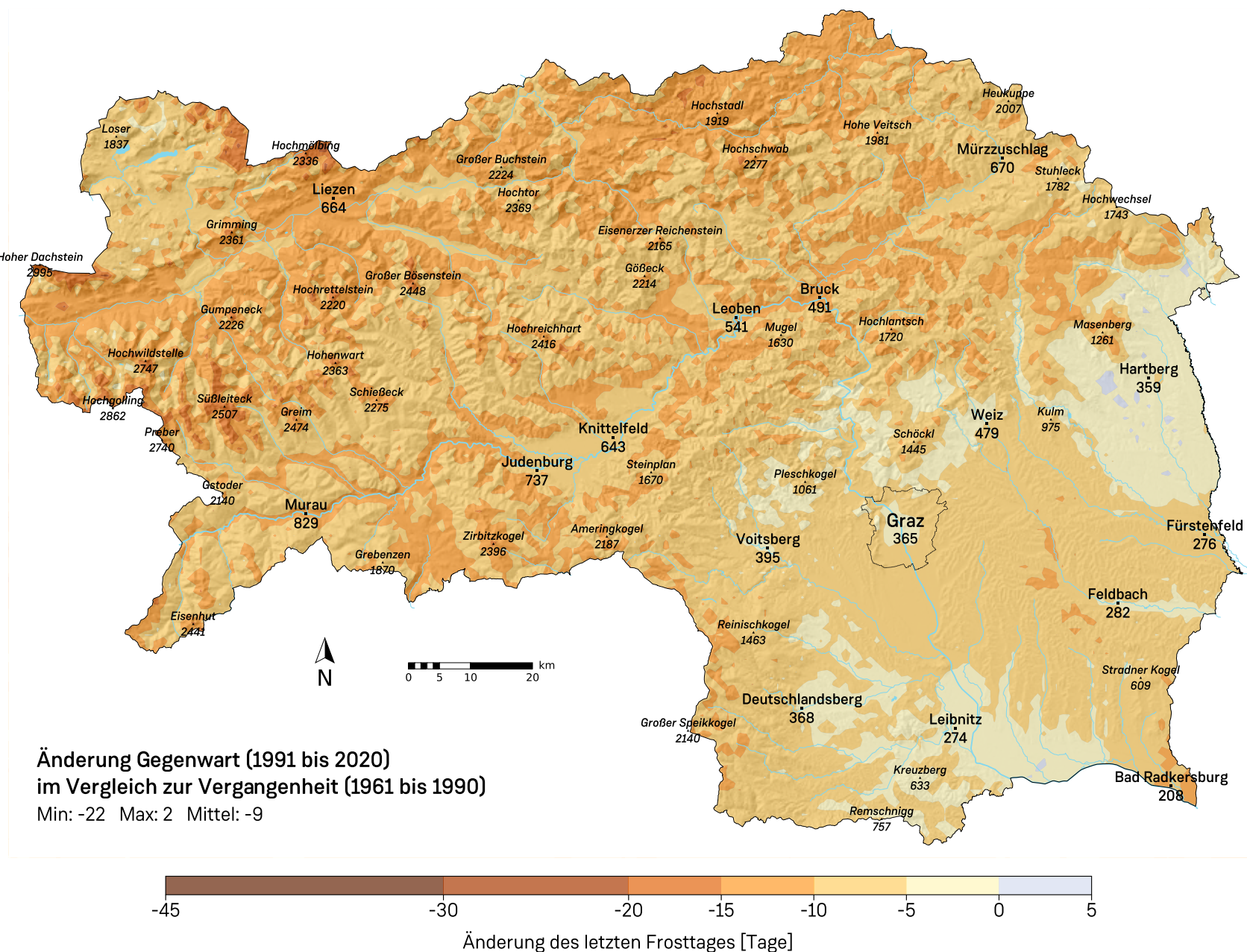


Abbildung 3.69: Änderung des Datums des letzten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Frühjahr im Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990).

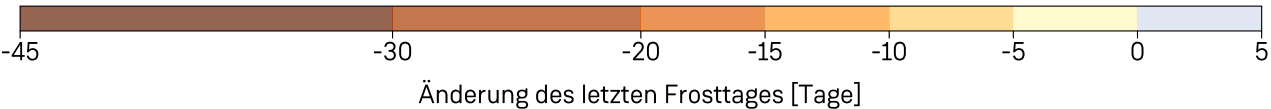
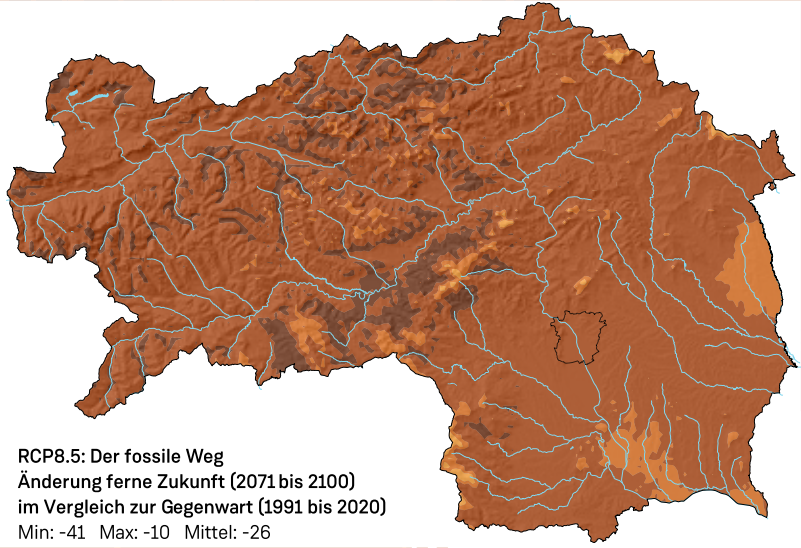
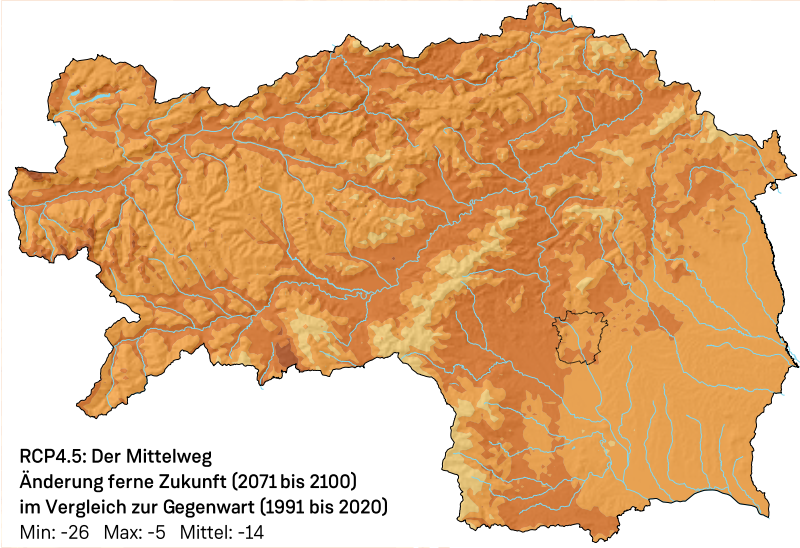
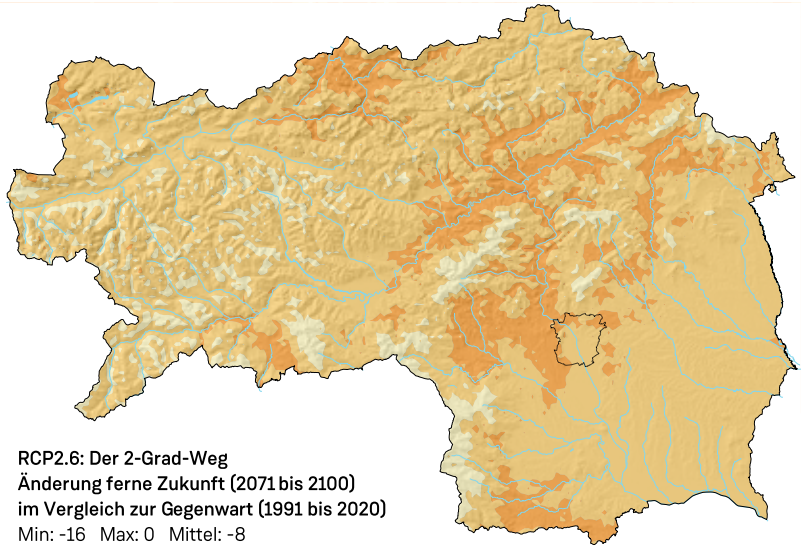
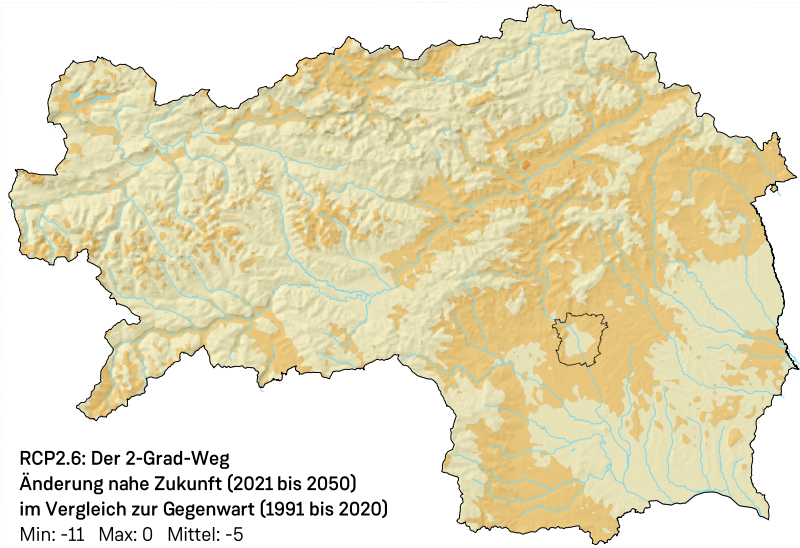


Abbildung 3.70: Änderung des Datums des letzten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Frühjahr für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

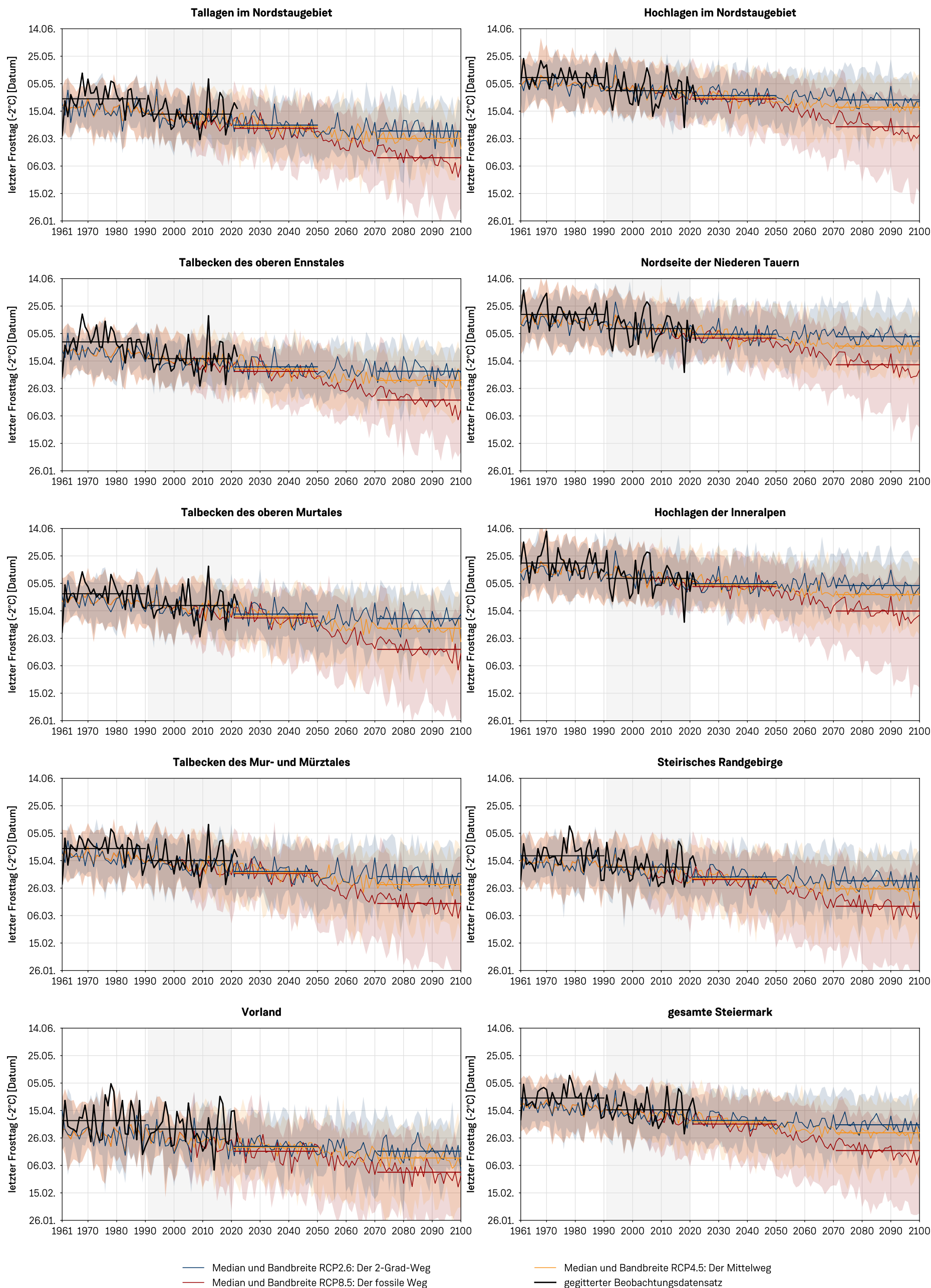
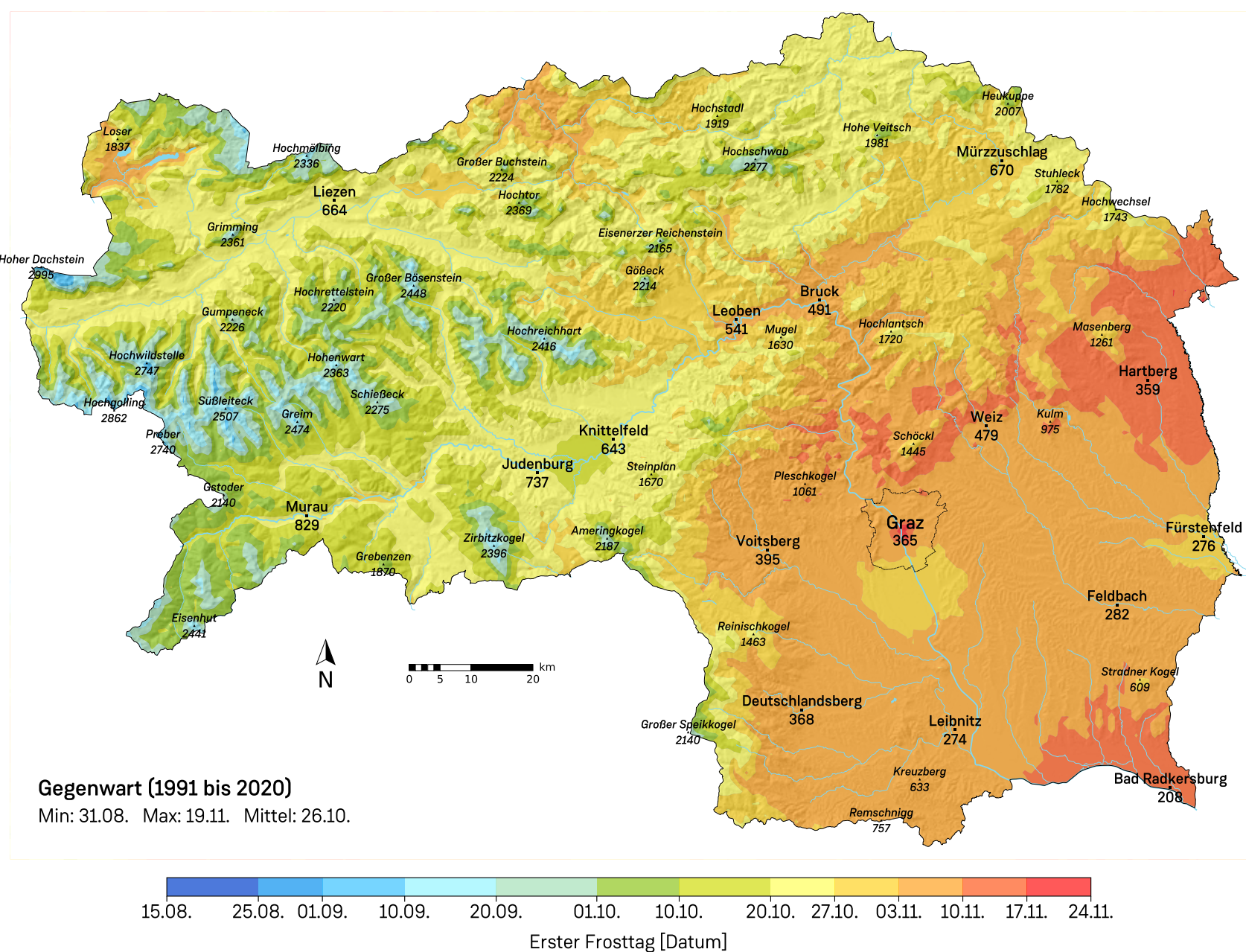
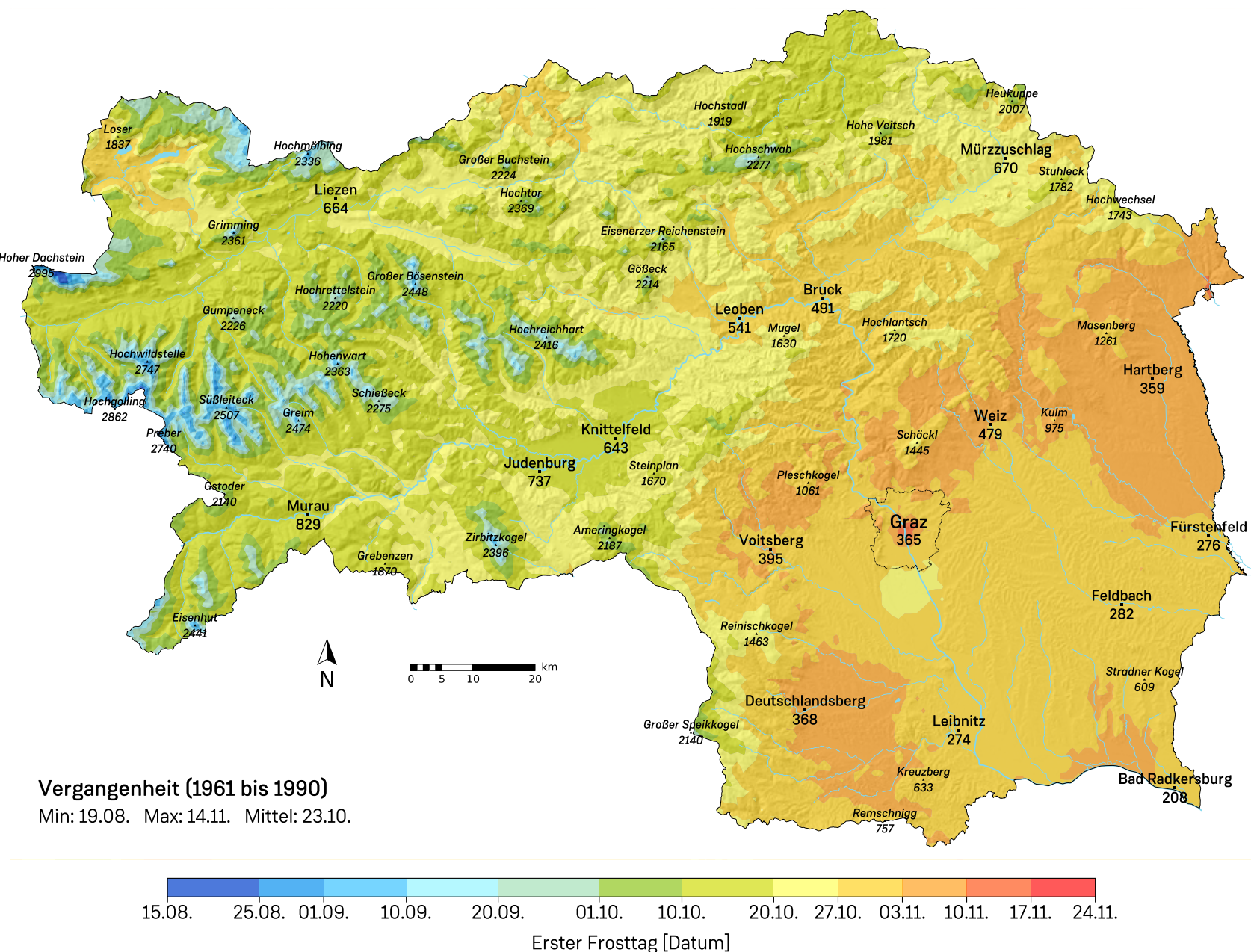


Abbildung 3.71: Zeitlicher Verlauf des Datums des letzten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Frühjahr von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.



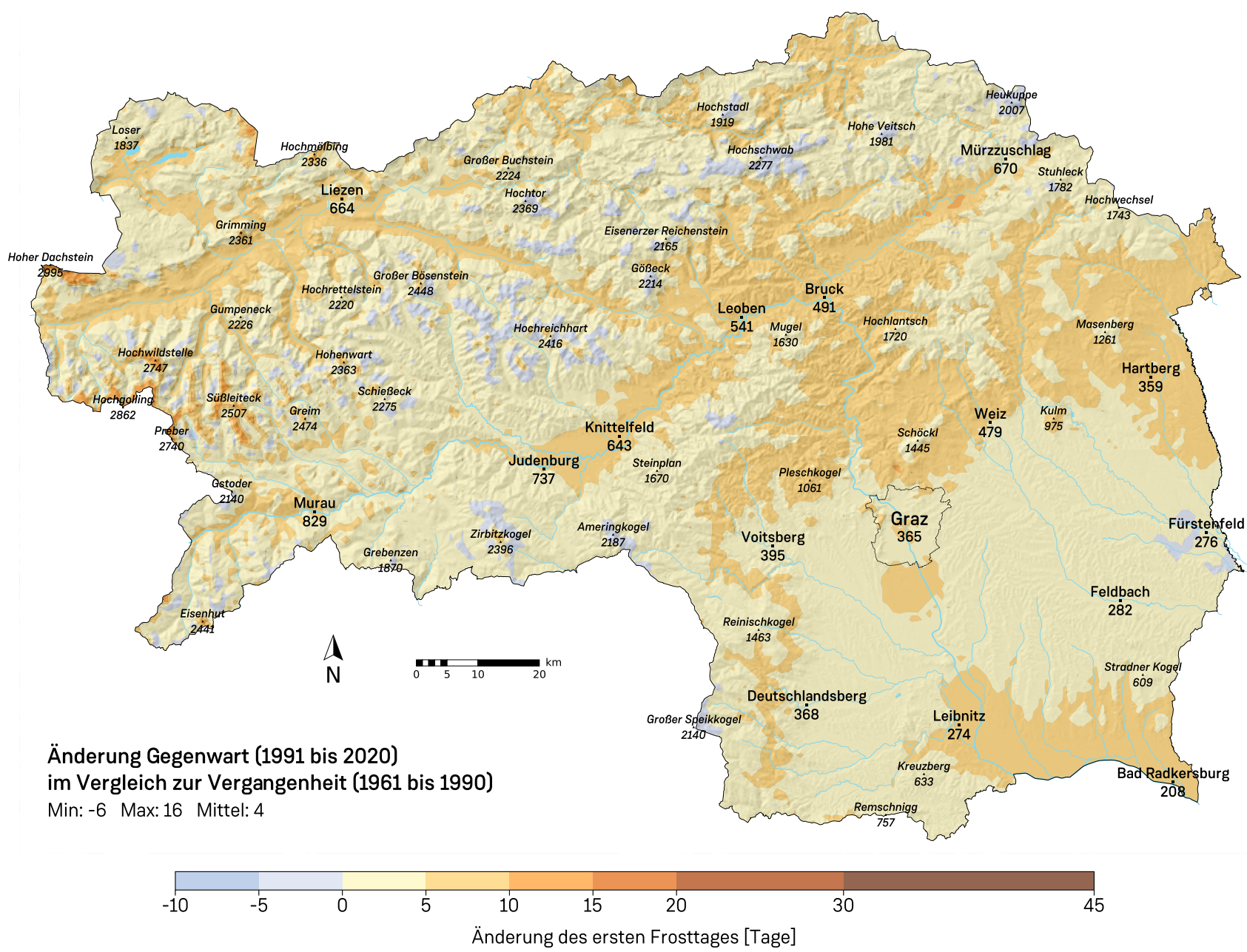


Abbildung 3.74: Änderung des Datums des ersten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Herbst im Vergleich der Gegenwart (1991 – 2020) zur Vergangenheit (1961 – 1990).

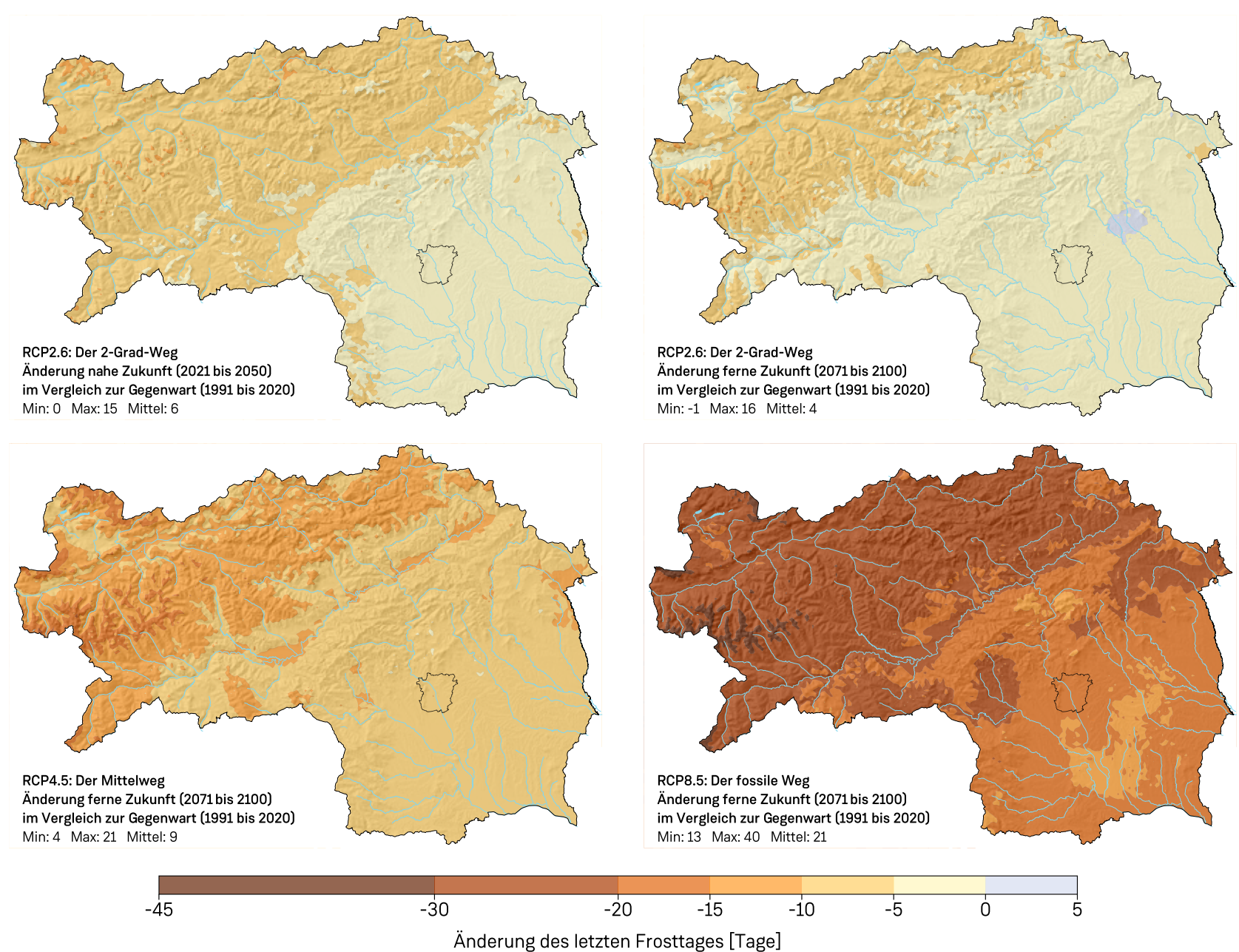


Abbildung 3.75: Änderung des Datums des letzten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Herbst für die nahe (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5).

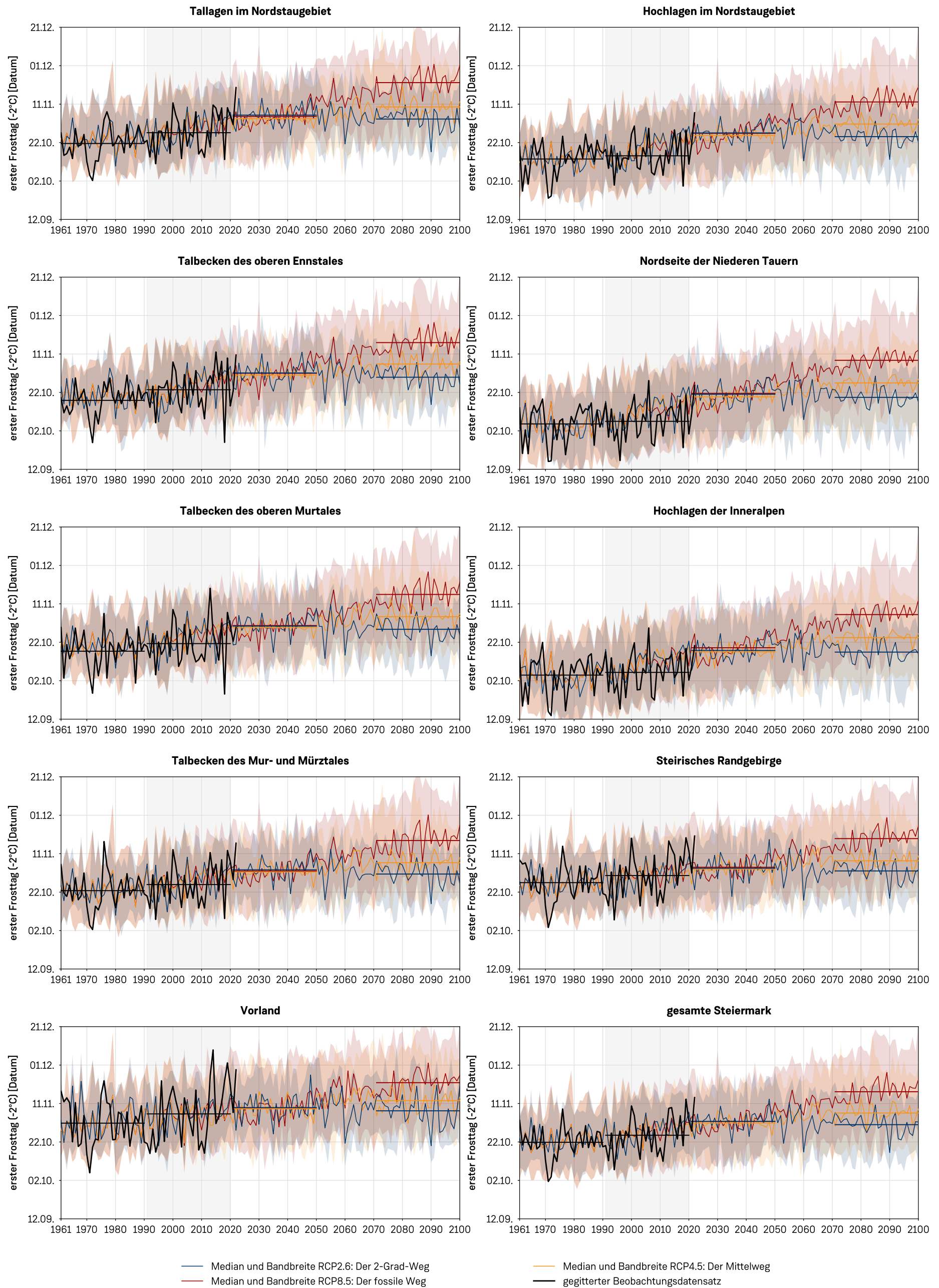


Abbildung 3.5: Zeitlicher Verlauf des Datums des ersten Frostes ($T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$) im Herbst von 1961 bis 2100 in den 9 Klimaregionen und der gesamten Steiermark. In den jeweiligen Diagrammen entspricht die schwarze Kurve den Messdaten (1961 bis zur Gegenwart) und die farbigen Kurven dem Median der Zukunftsszenarien für RCP2.6 (blau), RCP4.5 (orange) und RCP8.5 (rot) mit deren transparent dargestellten Bandbreiten (Q5 bis Q95). Waagrechte Linien kennzeichnen die 30-jährigen Mittelwerte der jeweiligen Klimanormalperioden, wobei die Gegenwartszeitspanne zudem grau hinterlegt ist.

Literatur

- Arguez, A., Vose, R.S., 2011. The Definition of the Standard WMO Climate Normal: The Key to Deriving Alternative Climate Normals. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92, 699–704. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2955.1>
- Chimani, B., Matulla, C., Hiebl, J., Schellander-Gorgas, T., Maraun, D., Mendlik, T., Eitzinger, J., Kubu, G., Thaler, S., 2020. Compilation of a guideline providing comprehensive information on freely available climate change data and facilitating their efficient retrieval. *Climate Services* 19, 100179. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100179>
- Gorczyński, L., 1922. THE CALCULATION OF THE DEGREE OF CONTINENTALITY. 1. *Mon. Wea. Rev.* 50, 370–370. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1922\)50<370b:TCOTDO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1922)50<370b:TCOTDO>2.0.CO;2)
- Hiebl, J., 2021. Die anormale Klimanormalperiode 1991–2020. Einordnung und Hilfestellung (Factsheet No. 34), Klimawandel. CCCA, Graz.
- ISO, 1975. Standard Atmosphere, ISO2533:1975.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *metz* 15, 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Österreichische Hagelversicherung, 2024. Spätfrost hat schwere Schäden in der Landwirtschaft verursacht. URL <https://www.hagel.at/presseaussendungen/spaetfrost-schaeden-2024/> (zugegriffen am 9.6.24).
- Österreichische Hagelversicherung, 2023. Schwere Frostschäden im Obstbau. URL <https://www.hagel.at/presseaussendungen/frostschaeden-obstbau-april-2023/> (zugegriffen am 9.6.24).
- Österreichische Hagelversicherung, 2021. Frostige Zeiten im Obstbau. URL <https://www.hagel.at/presseaussendungen/lokalaugenschein/> (zugegriffen am 9.6.24).
- Rohde, R.A., Hausfather, Z., 2020. The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record. *Earth Syst. Sci. Data* 12, 3469–3479. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>
- Unterberger, C., Brunner, L., Nabernegg, S., Steininger, K.W., Steiner, A.K., Stabentheiner, E., Monschein, S., Truhetz, H., 2018. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS ONE* 13, e0200201. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200201>
- Wakonigg, H., Podesser, A., 2012. Temperatur. H. Pilger, A. Podesser, F. Pretenthaler (Hrsg.), *Klimaatlas Steiermark: Periode 1971 - 2000; eine anwenderorientierte Klimatographie* (2. überarb. Aufl., Studien zum Klimawandel in Österreich, 74 S.), Verl. der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.

