

GUTACHTEN/BERICHT

betreffend die

Entwicklung der Naturschnee- und Beschneigungsbedingungen im Wilden Kaiser

Auftraggeber

Tourismusverband Wilder Kaiser
Dorf 35
6352 Ellmau

Durchführung

Regionalstelle für Tirol und Vorarlberg

Innsbruck, am 21.10.2024
Geschäftszahl: 24-001292

Erstellt von	Geprüft von
Dr. Johannes Vergeiner	Dr. Susanne Drechsel

Inhalt

1	Aufgabenstellung.....	4
2	Basisinformation	4
3	Datensätze und Methodik	5
4	Ergebnisse	7
4.1	Wintertemperatur und –niederschlag.....	7
4.2	Dauer der Naturschneedecke	10
4.3	Beschneistunden.....	12
5	Zusammenfassung	15
6	Literatur und Quellen	17
7	Anhang	18
7.1	Abbildungen zur Dauer der Naturschneedecke im Untersuchungsgebiet	18
7.2	Abbildungen zu den potenziellen Beschneistunden auf Basis $T_f < -4$ °C	22

1 Aufgabenstellung

Die GeoSphere Austria wurde seitens des Tourismusverbandes Wilder Kaiser beauftragt, die klimabedingte Entwicklung der Naturschneedecke sowie die künftigen Beschneigungsbedingungen im Raum Söll bis Going zu untersuchen.

2 Basisinformation

Die vorliegende Analyse für die Region Wilder Kaiser beruht auf regionalen Klimasimulationen der europäischen EURO-CORDEX Initiative (<https://www.euro-cordex.net/>), welche wiederum durch globale Klimamodelle der CMIP5 Initiative des „World Climate Research Program“ angetrieben wurden (<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>). Das bedeutet, dass diese Untersuchung die Ergebnisse der weltweit besten Klimamodellierungsgruppen vereint. Diese wurden im Rahmen des österreichischen Projekts ÖKS15 mit Hilfe von Beobachtungsdaten der ZAMG¹ für das Bundesgebiet von Österreich verfeinert und fehlerkorrigiert (Chimani et al., 2016) und im Rahmen des Projekts „Future Snow Cover Evolution in Austria“ (FuSE-AT, <https://fuse-at.ccca.ac.at/>) um den Schnee und die technische Beschneigung erweitert. Aus dieser neuen, einzigartigen flächigen Darstellung der Entwicklung der Schneedecke können wichtige Kenngrößen für die Auswirkungen des Klimawandels in Österreichs Wintern von der Vergangenheit (1961) bis in die Zukunft (2100) abgeleitet werden.

Die Ergebnisse für die Zukunft werden anhand von drei verschiedenen Klima- bzw. Treibhausgasszenarien beschrieben, den sogenannten „Representative Concentration Pathways“ (RCP, van Vuuren et al., 2011): RCP2.6 repräsentiert dabei das „Paris-Ziel“, die globale Erwärmung bis 2100 auf unter +2 ° Celsius (im Vergleich zu einer vorindustriellen Periode 1850 – 1900) zu beschränken (https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_ohnen_und_umwelt/klimaschutz/1/Seite.1000325.html). Dieses Szenario wird im Folgenden auch „unvermeidlicher Klimawandel“ genannt, da nicht zu erwarten ist, dass dieses sehr ambitionierte Klima-

¹ Die ZAMG ist die Vorgängerorganisation der GeoSphere Austria

schutzziel unterschritten werden kann. RCP4.5 stellt ein etwas weniger ambitioniertes Klimaschutzszenario dar und RCP8.5 repräsentiert schließlich den „fossilen Weg“ ganz ohne Klimaschutz. Wenn man die weltweit schon implementierten Klimaschutz-Richtlinien in Betracht zieht, befinden wir uns derzeit auf einem Pfad, der zwischen RCP4.5 und RCP8.5 liegt.

3 Datensätze und Methodik

Der Untersuchungsraum in der Region Wilder Kaiser umfasst die Gemeindegebiete von Söll, Scheffau, Ellmau und Going. Diese befinden sich im Sölllandl, das nach Westen hin zum Brixental abfällt und nach Osten hin ins Leukental übergeht. Im Norden ragt der West-Ost orientierte Wilde Kaiser auf, der die südliche Gebirgskette des Kaisergebirges bildet. Abbildung 3-1 zeigt eine Übersicht über den Untersuchungsraum. Alle in diesem Bericht angeführten Auswertungen beziehen sich auf die Gesamtfläche der vier Gemeindegebiete, die in Abbildung 3-2 ausgewiesen wird. Der Höhenbereich der Region erstreckt sich vom Talboden in ca. 700 m (im westlichen Bereich) bis in etwa 2350 m (Ellmauer Halt). Die Schneebedingungen weisen bekanntermaßen eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit auf und werden auf den vom Auftraggeber festgelegten Höhenstufen 700 - 900 m, 1200 - 1400 m und 1700 - 1900 m ausgewertet.

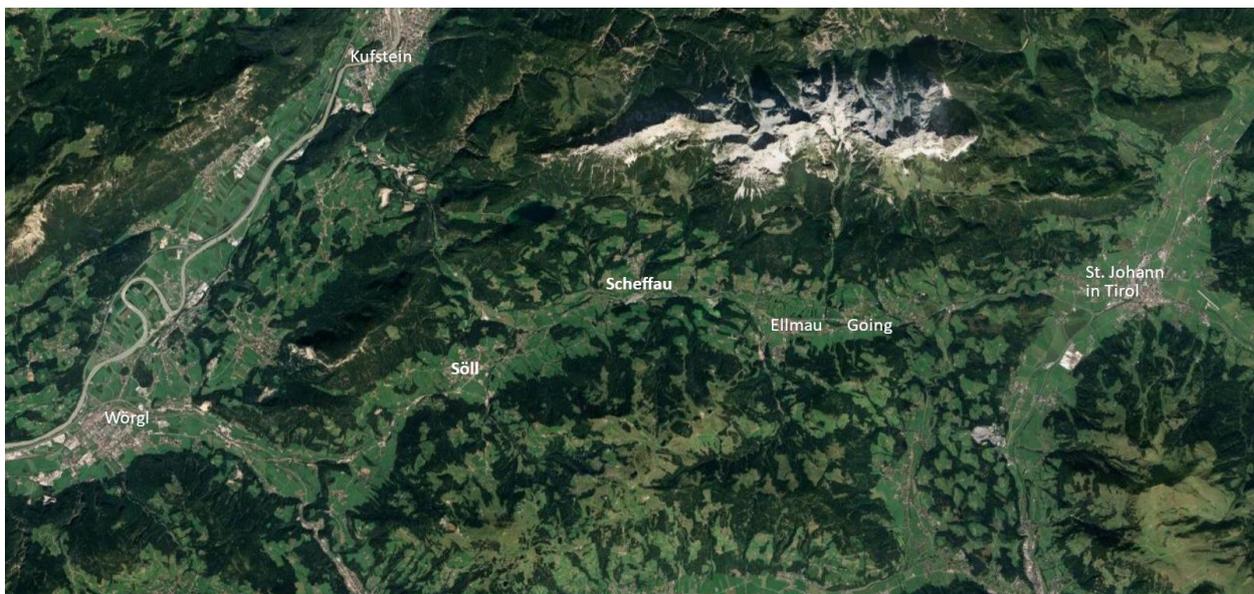


Abbildung 3-1: Übersichtsplan über den Untersuchungsraum (Quelle: Google Maps).

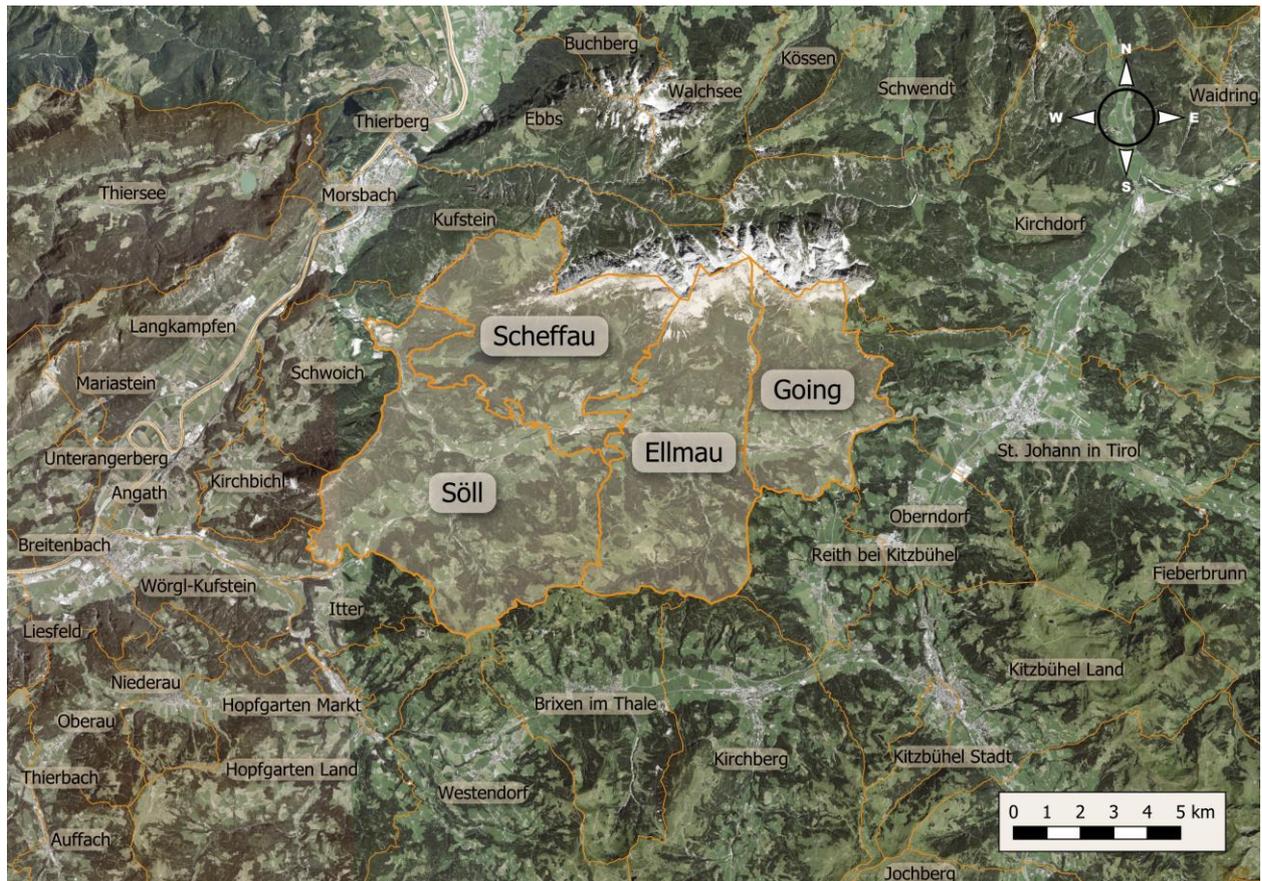


Abbildung 3-2: Ausdehnung der vier Gemeinden Söll, Scheffau, Ellmau und Going, die für die Auswertung herangezogen wurden (Hintergrund: ESRI Satellitenbild).

Die Naturschneebedeckung wird anhand der Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe von mehr als 10 cm beschrieben. Zusätzlich wurde die Bestimmung der Entwicklung der potenziellen Beschneistunden monatlich von November bis Februar auf Basis einer Feuchtkugeltemperatur (T_f) unter -4 °C durchgeführt.

Der über die Zeitreihen betrachtete Zeitraum reicht von 1961 - 2100. Um quantitative und aussagekräftige Werte zu erhalten, werden in den Tabellen Mittelwerte über jeweils 30-jährige Klimaperioden ausgegeben. Bei den zukünftigen Perioden wird der Zeitraum 2031 - 2060 auch als „Mitte des Jahrhunderts“ bezeichnet. Der Auswertez Zeitraum in der fernen Zukunft (bis Ende des Jahrhunderts) ist 2071 - 2100. Die prognostizierten Änderungen werden zudem in Relation gesetzt zur Klimareferenzperiode 1991 - 2020.

4 Ergebnisse

4.1 Wintertemperatur und –niederschlag

Generell ist zu berücksichtigen, dass die Temperaturen in Österreich in der Vergangenheit bereits um etwa +2 °C gestiegen sind, während es bei den saisonalen Niederschlagssummen zwar große Variabilität, aber keine eindeutigen Trends gab (siehe z.B.: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/klimafakten-oesterreich-kompakt>). Im Folgenden wird die erwartete zukünftige Entwicklung im Untersuchungsraum beschrieben.

Die folgenden Abbildungen stellen die zeitliche Veränderung des jeweiligen Parameters gemittelt über die Gemeindegebiete von Söll, Scheffau, Ellmau und Going dar. Die graue Linie zeigt die Beobachtungsdaten. Der schwarze Balken ist dabei der 30-jährige Mittelwert von 1991 – 2020. Die grüne, blaue und rote Linie stellen die wahrscheinlichste Entwicklung für die drei verschiedenen Treibhausgasszenarien dar und der schattierte farbige Bereich zeigt die Bandbreite der Ergebnisse.

Abbildung 4-1 (oben) zeigt die Temperaturänderung im Winter (Dezember, Januar und Februar) im Untersuchungsgebiet in der Vergangenheit und Zukunft. Der Wert bezieht sich auf das Mittel über alle Höhenstufen. Interessant ist in diesem Zusammenhang das Ausmaß der künftig zu erwartenden (weiteren) Erwärmung, die kaum von der Höhenlage abhängt.

Im Vergleich zu 1991 – 2020 steigt die Temperatur um mindestens weitere +0.7 °C Celsius. Diese Erwärmung muss wohl als unvermeidlich betrachtet werden und wird bereits in den kommenden 20 bis 30 Jahren erreicht. Ab 2050 könnte sich die Temperatur auf diesem Niveau stabilisieren (unvermeidlicher Klimawandel), oder im schlimmsten Fall bis Ende des Jahrhunderts noch um mehr als +4 °C (!) ansteigen (fossiler Weg).

Abbildung 4-1 (unten) zeigt die bereits aufgetretene und erwartete Entwicklung der Winter-Niederschlagssumme im Untersuchungsgebiet. Sie weist weder in der Vergangenheit noch in der Projektion der Zukunft einen eindeutigen Trend auf. Zu beachten ist, dass diese Niederschlagsszenarien mit weit größeren Unsicherheiten behaftet sind als die Temperaturszenarien und sowohl eine Zu- als auch Abnahme des Winterniederschlags möglich ist. Im Vergleich zur starken Erwärmung sind Änderungen in der Niederschlagssumme als nachrangig zu betrachten.

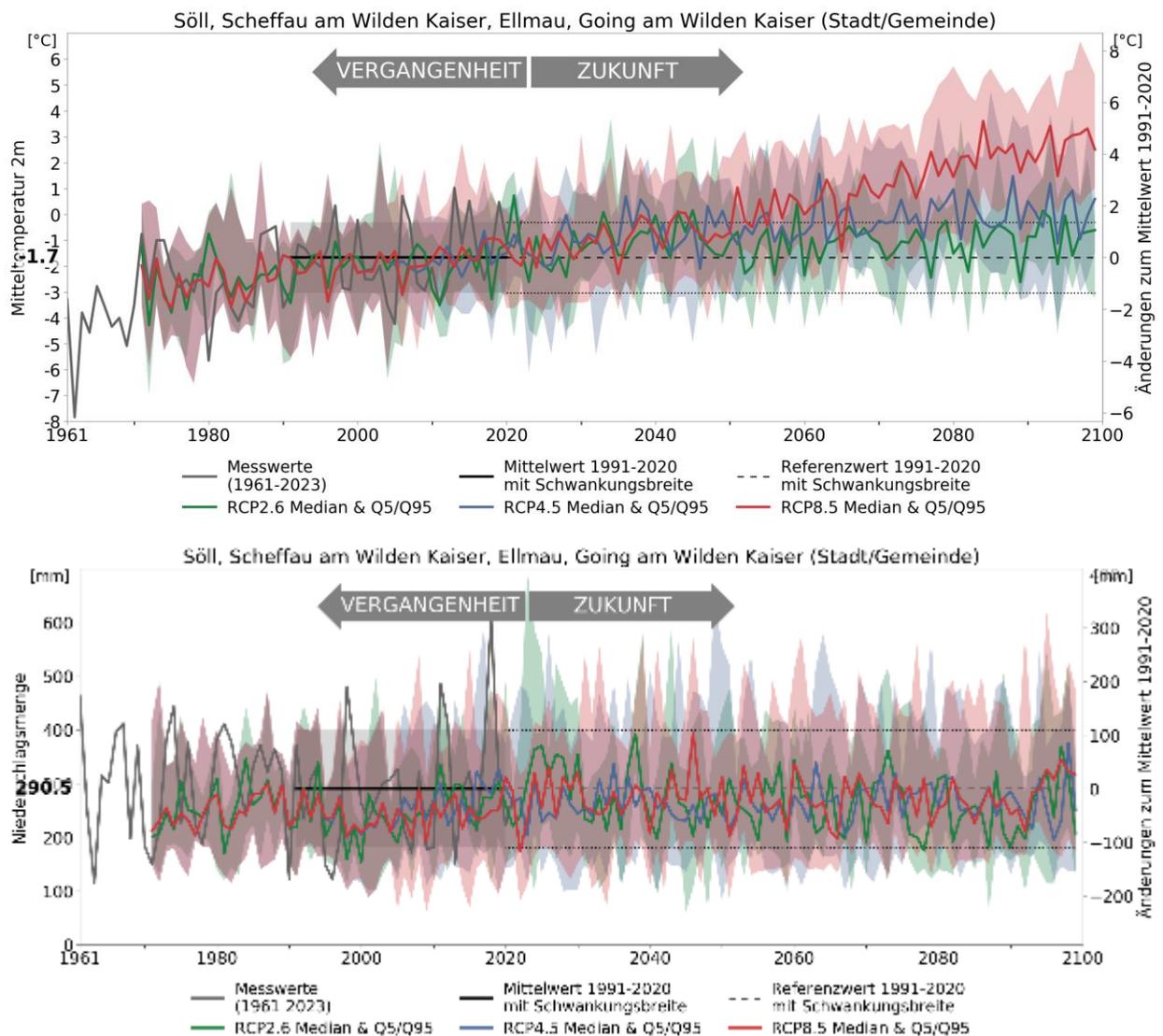


Abbildung 4-1: Wintertemperatur (oben) und Winter-Niederschlagssumme (unten) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100.

Tabelle 4-1 weist die Entwicklung in der Wintertemperatur und im Winterniederschlag aus. Dabei wird der Mittelwert für die Referenzperiode und die beiden Zukunftsperioden über den jeweiligen 30-jährigen Zeitraum angegeben. Bei der Temperatur sieht man jedenfalls einen weiteren Anstieg, der sich – wie bereits diskutiert – bei Einhaltung der Paris-Ziele (RCP2.6) bei etwa +0,7 °C stabilisiert und im Worst-Case im Mittel über die Periode 2071 – 2100 noch von -1,7 °C auf +2,2 °C ansteigt, was einer Erwärmung von 3,9 °C entspricht. Beim Winterniederschlag sieht man für die konkret ausgewählten Zukunftsperioden leichte Abnahmen in der Größenordnung von 5 – 10 %. Diese Reduktion ist jedoch statistisch nicht signifikant. Abbildung 4-1 (unten) bildet die relevante Information in diesem Fall besser ab: Die

Variation von Jahr zu Jahr ist hoch und unabhängig vom Szenario gibt es keine klaren Trends zu einer Zu- oder Abnahme des Niederschlages.

Tabelle 4-1: Mittlere Wintertemperatur (in °C) und mittlere Winterniederschlagssumme (in mm) im Untersuchungsraum in der Klimareferenzperiode 1991 – 2020 sowie bis Mitte des Jahrhunderts sowie in der fernen Zukunft mit den Szenarien „unvermeidlicher Klimawandel“ (RCP2.6), „Mittelweg“ (RCP4.5) und „fossiler Weg“ (RCP 8.5).

Parameter	Referenz 1991 - 2020	Mitte Jh. 2031 - 2060			Ferne Zukunft 2071 - 2100		
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Wintertemperatur (°C)	-1,7	-1,0	-0,7	-0,4	-1,0	0,1	2,2
Winterniederschlag (mm)	291	266	261	272	259	271	274

4.2 Dauer der Naturschneedecke

In diesem Abschnitt wird analysiert, wie sich die Dauer der Naturschneedecke im Untersuchungsgebiet entwickeln wird. Die Änderung hängt von der Höhenstufe und dem Klimaszenario ab. Im Anhang sind die zugehörigen Abbildungen der Zeitreihen für die drei ausgewählten Höhenstufen zu finden.

Tabelle 4-2 und Tabelle 4-3 zeigen die Entwicklung der Schneedeckendauer in absoluten Zahlen und als relative (prozentuelle) Änderung, die Werte wurden auf ganze Tage bzw. Prozent gerundet, wobei die relativen Änderungen aus den Absolutwerten mit einer Nachkommastelle abgeleitet wurden.

Im „**unvermeidlichen Klimawandel**“ (**RCP2.6**) sind die Änderungen am geringsten. Im Bereich der Talsohle werden hier bis Mitte des Jahrhunderts Abnahmen um 10 Tage vorhergesagt, dies entspricht -12 %. Die größte prozentuelle Abnahme ist in der Höhenlage um 1300 m zu erwarten. Hier kommt es im Vergleich zum Basiswert von 138 Tagen zu einer Abnahme von 26 Tagen bzw. -19 % bis Mitte des Jahrhunderts. In diesem Szenario stabilisieren sich die Auswirkungen mit der Zeit, bis Ende des Jahrhunderts treten also keine weiteren Abnahmen mehr auf.

Wird beim Klimaschutz ein **Mittelweg** beschritten (**RCP4.5**), so gehen die Tage mit Naturschneedecke deutlicher zurück. Vor allem betrifft dies den Talboden und Höhen bis 1300 m, wo bis Mitte des Jahrhunderts ein Rückgang um ca. ein Viertel zu erwarten ist, was absolut knapp drei Wochen am Talboden und gut fünf Wochen in 1300 m entspricht. Bis Ende des Jahrhunderts beträgt die Abnahme bereits ca. 40 %. In hohen Lagen um 1800 m nehmen die Auswirkungen des Klimawandels prozentuell ab, da es oft noch kalt genug ist, dass Niederschlag als Schnee und nicht als Regen fällt.

Wenn der **fossile Weg** weiter beschritten wird (**RCP8.6**), sind mittelfristig deutliche und langfristig dramatische Einbußen zu erwarten. Bis Mitte des Jahrhunderts bewegen sich die Abnahmen von 30 % im Tal bis 23 % in 1800 m. In Absolutwerten entspricht dies je nach Höhenstufe einer Verkürzung um dreieinhalb bis sechs Wochen. Gegen Ende des Jahrhunderts verbleiben in diesem Szenario am Talboden 15 Tage mit einer Naturschneedecke, was einer Abnahme im Vergleich zum Ist-Zustand um 82 % entspricht. Selbst in 1800 m nehmen die Tage mit einer Naturschneedecke um mehr als die Hälfte gegenüber dem Ist-Zustand ab, was in

absoluten Zahlen einer Reduktion um 100 Tage (von 186 auf 86) oder mehr als 14 Wochen gleichkommt!

Tabelle 4-2: Tage mit Naturschneehöhe von mindestens 10 cm in der Klimareferenzperiode 1991 – 2020 und bis Mitte des Jahrhunderts sowie in der fernen Zukunft mit den Szenarien „unvermeidlicher Klimawandel“ (RCP2.6), „Mittelweg“ (RCP4.5) und „fossiler Weg“ (RCP 8.5).

Höhenbereich [m]	Vergangenheit 1991 - 2020	Mitte Jh. 2031 - 2060			Ferne Zukunft 2071 - 2100		
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
700 - 900	82	72	62	57	75	49	15
1200 - 1400	138	112	102	95	113	86	38
1700 - 1900	186	159	154	144	159	135	86

Tabelle 4-3: Absolute (oben) und prozentuelle Veränderung (unten) der Tage mit Naturschneehöhe von mindestens 10 cm im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1991 – 2020 bis Mitte des Jahrhunderts und in der fernen Zukunft mit den Szenarien „unvermeidlicher Klimawandel“ (RCP2.6), „Mittelweg“ (RCP4.5) und „fossiler Weg“ (RCP 8.5).

Änderung der Schneedeckendauer im Vergleich zu 1991 - 2020 [Tage]

Höhenbereich [m]	Mitte Jh. 2031 - 2060			Ferne Zukunft 2071 - 2100		
	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
700 - 900	-10	-20	-25	-7	-33	-67
1200 - 1400	-26	-36	-43	-25	-52	-100
1700 - 1900	-27	-32	-42	-27	-51	-100

Relative Änderung der Schneedeckendauer im Vergleich zu 1991 - 2020 [%]

Höhenbereich [m]	Mitte Jh. 2031 - 2060			Ferne Zukunft 2071 - 2100		
	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
700 - 900	-12	-24	-30	-9	-40	-82
1200 - 1400	-19	-26	-31	-18	-38	-72
1700 - 1900	-15	-17	-23	-15	-27	-54

4.3 Beschneistunden

In diesem Abschnitt werden die potenziellen Beschneistunden analysiert. Dabei handelt es sich um die Anzahl der Stunden pro Monat, in denen die meteorologischen Temperatur- und Feuchtebedingungen eine technische Beschneigung zulassen. Der Windeinfluss wird hier nicht berücksichtigt. Als Grenzwert für die Feuchtkugeltemperatur T_f wurde -4 °C angenommen. Wann immer die Feuchtkugeltemperatur geringer ist als dieser Grenzwert, kann beschneit werden. Im Anhang werden die zugehörigen Abbildungen der Zeitreihen für alle Monate von November bis Februar sowie die drei ausgewählten Höhenstufen gezeigt. Aus diesen Grafiken lässt sich auch die Bandbreite der Entwicklung für die drei Klimaszenarien abschätzen.

Die absoluten und relativen Werte für die Monate von November bis Februar sind in Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 aufgelistet. Nachfolgend werden einige Charakteristika angeführt.

- Im November ist (absolut) am wenigsten Beschneigung möglich, im Kernwinter deutlich mehr. Die meisten Beschneistunden findet man im Jänner vor. Das gilt für alle analysierten Höhenstufen und für die Vergangenheit wie für die Zukunft.
- Der größte Rückgang an Beschneistunden ist – wenig erstaunlich – in den Tallagen zu verzeichnen und dort vor allem im November.
- Im unvermeidlichen Klimawandel (RCP2.6) ist die Abnahme (fast immer) am geringsten. Von Mitte des Jahrhunderts an stabilisiert sich die Lage in diesem Szenario.
- Im RCP4.5 (Mittelweg) bewegen sich die prozentuellen Abnahmen der potenziellen Beschneistunden bis Mitte des Jahrhunderts im Tal je nach Monat zwischen 16 und 44 %. In den höher gelegenen Regionen (ab 1200 m) gehen die Beschneistunden um 9 bis 24 % retour. Bis Ende des Jahrhunderts sind in diesem Szenario größere Abnahmen zu erwarten, in Tallagen ist dann im November eine Beschneigung nur mehr an durchschnittlich 13 Stunden im Monat möglich.
- Im schlimmsten Fall (RCP8.5) sind die Beschneimöglichkeiten im Tal langfristig (bis Ende des Jahrhunderts) auch in den Wintermonaten ab Dezember stark reduziert. Bis Mitte des Jahrhunderts liegt die relative Änderung in den höher gelegenen Lagen im November bei -40 bis -60 %, in den Monaten Dezember bis Februar beträgt die Abnahme 15 bis 25 %.

Tabelle 4-4: Potenzielle Beschneistunden ($T_r < -4^\circ\text{C}$) für die Monate November bis Februar und die Höhenstufen 700 - 900, 1200 - 1400 und 1700 - 1900 m in der Referenzperiode 1991 - 2020 und bis Mitte des Jahrhunderts sowie in der fernen Zukunft mit den Szenarien „unvermeidlicher Klimawandel“ (RCP2.6), „Mittelweg“ (RCP4.5) und „fossiler Weg“ (RCP 8.5).

Monat	Höhenbereich [m]	Vergangenheit 1991 - 2020	Mitte Jh. 2031 - 2060			Ferne Zukunft 2071 - 2100		
			RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Nov.	700 - 900	63	44	35	14	48	13	1
	1200 - 1400	137	114	104	56	125	50	9
	1700 - 1900	188	160	162	115	175	100	27
Dez.	700 - 900	200	188	168	165	195	155	54
	1200 - 1400	345	317	296	288	331	270	122
	1700 - 1900	349	315	300	298	325	280	144
Jän.	700 - 900	263	210	209	210	212	161	85
	1200 - 1400	413	328	333	320	333	267	153
	1700 - 1900	425	340	346	333	344	282	166
Feb.	700 - 900	200	156	135	116	155	102	40
	1200 - 1400	321	286	269	240	292	216	111
	1700 - 1900	372	352	338	313	351	293	175

Tabelle 4-5: Prozentuelle Änderung der potenziellen Beschneistunden ($T_r < -4^\circ\text{C}$) für die Monate November bis Februar und die Höhenstufen 700 - 900, 1200 - 1400 und 1700 - 1900 m im Vergleich zur Referenzperiode 1991 - 2020, bis Mitte des Jahrhunderts sowie in der fernen Zukunft mit den Szenarien „unvermeidlicher Klimawandel“ (RCP2.6), „Mittelweg“ (RCP4.5) und „fossiler Weg“ (RCP 8.5).

Monat	Höhenbereich [m]	Mitte Jh. 2031 - 2060			Ferne Zukunft 2071 - 2100		
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Nov.	700 - 900	-30	-44	-78	-24	-79	-98
	1200 - 1400	-17	-24	-59	-9	-64	-93
	1700 - 1900	-15	-14	-39	-7	-47	-86
Dez.	700 - 900	-6	-16	-18	-3	-23	-73
	1200 - 1400	-8	-14	-17	-4	-22	-65
	1700 - 1900	-10	-14	-15	-7	-20	-59
Jän.	700 - 900	-20	-21	-20	-19	-39	-68
	1200 - 1400	-21	-19	-23	-19	-35	-63
	1700 - 1900	-20	-19	-22	-19	-34	-61
Feb.	700 - 900	-22	-33	-42	-23	-49	-80
	1200 - 1400	-11	-16	-25	-9	-33	-65
	1700 - 1900	-5	-9	-16	-6	-21	-53

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Untersuchungsgebiet in den kommenden Jahrzehnten die Möglichkeit zur Beschneigung vor allem in den Winterrandzeiten abnimmt. Relevant ist dies klarerweise vor allem zu Beginn des Winters, also im November. Im Kernwinter und ab 1200 m Seehöhe gibt es bis Mitte des Jahrhunderts noch ausreichend Potential für Beschneigung. Konkret sind es im Dezember und Jänner im Schnitt mindestens 288 Beschneiestunden pro Monat, was 12 Tagen entspricht.² Wie stark die Abnahme tatsächlich sein wird hängt stark davon ab, welchen Pfad Richtung Klimaschutz wir künftig beschreiten.

² Die Zeiten, in denen eine Beschneigung möglich ist, hängen nicht notwendigerweise zusammen. Das Wechselspiel von kälteren Perioden und Wärmephasen kann und sollte bei der Schneeproduktion in einem konkreten Schigebiet auf Basis von Messungen und Vorhersagen berücksichtigt werden.

5 Zusammenfassung

Die GeoSphere Austria wurde seitens des Tourismusverbandes Wilder Kaiser beauftragt, die klimabedingte Entwicklung der Naturschneedecke sowie die künftigen Beschneigungsbedingungen im Raum Söll bis Going zu untersuchen.

Die Datengrundlage stammt von flächendeckenden Rasterdatensätzen. Das künftige Klima wird aus den aktuellen österreichischen Klimaszenarien ÖKS15 abgeschätzt, die im Rahmen des Projekts „Future Snow Cover Evolution in Austria“ (FuSE-AT) um den Schnee und die technische Beschneigung erweitert wurden.

Die in diesem Bericht angeführten Auswertungen beziehen sich auf die Gesamtfläche der Gemeindegebiete von Söll, Scheffau, Ellmau und Going. Die Schneebedingungen weisen bekanntermaßen eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit auf und werden auf den vom Auftraggeber festgelegten Höhenstufen 700 – 900 m, 1200 – 1400 m und 1700 - 1900 m für 30-jährige Klimaperioden ausgewertet. Ergänzend sind im Anhang die Zeitreihen der analysierten Klima-Indizes von 1961 bis 2100 abgebildet.

Die Naturschneebedingungen hängen stark davon ab, welcher Weg beim Klimaschutz vorangetrieben wird. Im **unvermeidlichen Klimawandel (RCP2.6)** sind die Änderungen am geringsten. Dies gilt sowohl für den Ausblick bis Mitte als auch bis Ende des Jahrhunderts, da sich die Auswirkungen des Klimawandels in diesem Klimaschutz-Szenario mit der Zeit stabilisieren. Wird beim Klimaschutz ein **Mittelweg** beschritten (**RCP4.5**), so gehen die Tage mit Naturschneedecke deutlicher zurück. Vor allem betrifft dies den Talboden sowie Höhenlagen bis 1300 m, wo bis Mitte des Jahrhunderts ein Rückgang um ein Viertel zu erwarten ist. Bis Ende des Jahrhunderts beträgt die Abnahme bereits knapp fünf Wochen am Talboden bzw. 7,5 Wochen in 1300 m (Reduktion um ca. 40 %). In den hohen Lagen von 1800 m nehmen die Auswirkungen des Klimawandels ab, da es oft noch kalt genug ist, dass Niederschlag als Schnee und nicht als Regen fällt. Wenn der **fossile Weg** weiter beschritten wird (**RCP8.6**), sind mittelfristig deutliche und langfristig dramatische Einbußen zu erwarten. Bis Mitte des Jahrhunderts bewegen sich die Abnahmen von 30 % im Tal bis 23 % in 1800 m. In Absolutwerten entspricht dies je nach Höhenstufe einer Verkürzung um dreieinhalb bis sechs Wochen. Gegen Ende des Jahrhunderts verbleiben in diesem Szenario am Talboden 15 Tage mit einer Naturschneedecke, was einer Abnahme im Vergleich zum Ist-Zustand um 82 %

entspricht. Selbst in 1800 m nehmen die Tage mit einer Naturschneedecke um mehr als die Hälfte gegenüber dem Ist-Zustand ab, was in absoluten Zahlen einer Reduktion um 100 Tage (von 186 auf 86) oder mehr als 14 Wochen gleichkommt!

Die potenziellen Beschneistunden wurden bei einer Feuchtkugelgrenztemperatur von -4 °C für die Monate November bis Februar sowie die drei festgelegten Höhenstufen ausgewertet. Im November ist am wenigsten Beschneigung möglich, im Kernwinter deutlich mehr. Das gilt für alle analysierten Höhenstufen und für Vergangenheit wie Zukunft. Der größte klimawandelbedingte Rückgang an Beschneistunden ist – wenig erstaunlich – in den Tallagen zu verzeichnen und dort vor allem im November. Im **unvermeidlichen Klimawandel (RCP2.6)** ist die Abnahme (fast immer) am geringsten. Von Mitte des Jahrhunderts an stabilisiert sich die Lage. Im **RCP4.5 (Mittelweg)** wird diese Stabilisierung nicht erreicht. Die Abnahmen sind jedoch ab Dezember moderat und eine technische Schneeproduktion noch gut durchführbar. Bis Ende des Jahrhunderts sind in diesem Szenario größere Abnahmen zu erwarten, in Tallagen ist dann im November eine Beschneigung nur mehr selten möglich. Wird der **fossile Weg** weiter beschritten (**RCP8.5**), so sind die Beschneimöglichkeiten im Tal langfristig (bis Ende des Jahrhunderts) auch in den Wintermonaten ab Dezember stark reduziert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich im Untersuchungsgebiet **in den kommenden Jahrzehnten hauptsächlich der Beginn einer möglichen Beschneigung** nach hinten verlagern wird. Wobei dies im Detail stark von der Ausrichtung und der Höhenlage der Pisten sowie der Beschneitechnologie abhängt und einer großen Variation von Jahr zu Jahr unterworfen ist.

GeoSphere Austria

Dr. Johannes Vergeiner (Gutachter:in)

Dr. Susanne Drechsel (Prüfer:in)

6 Literatur und Quellen

- Chimani, Barbara, Georg Heinrich, Michael Hofstätter, Markus Kerschbaumer, Stefan Kienberger, Armin Leuprecht, Annemarie Lexer, u. a. „ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse“. Project Report. Wien: ZAMG, 2016.
- Vuuren, Detlef P. van, Jae Edmonds, Mikiko Kainuma, Keywan Riahi, Allison Thomson, Kathy Hibbard, George C. Hurtt, u. a. „The Representative Concentration Pathways: An Overview“. *Climatic Change* 109, Nr. 1–2 (5. August 2011): 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.

7 Anhang

7.1 Abbildungen zur Dauer der Naturschneedecke im Untersuchungsgebiet

Die folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der Dauer der Naturschneedecke in den Höhenstufen 700 - 900, 1200 - 1400 und 1700 – 1900 m in der Periode 1961 – 2100. Wie die Abbildungen zu interpretieren sind, ist im Abschnitt 4.1 beschrieben.

Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 700 bis 900 m

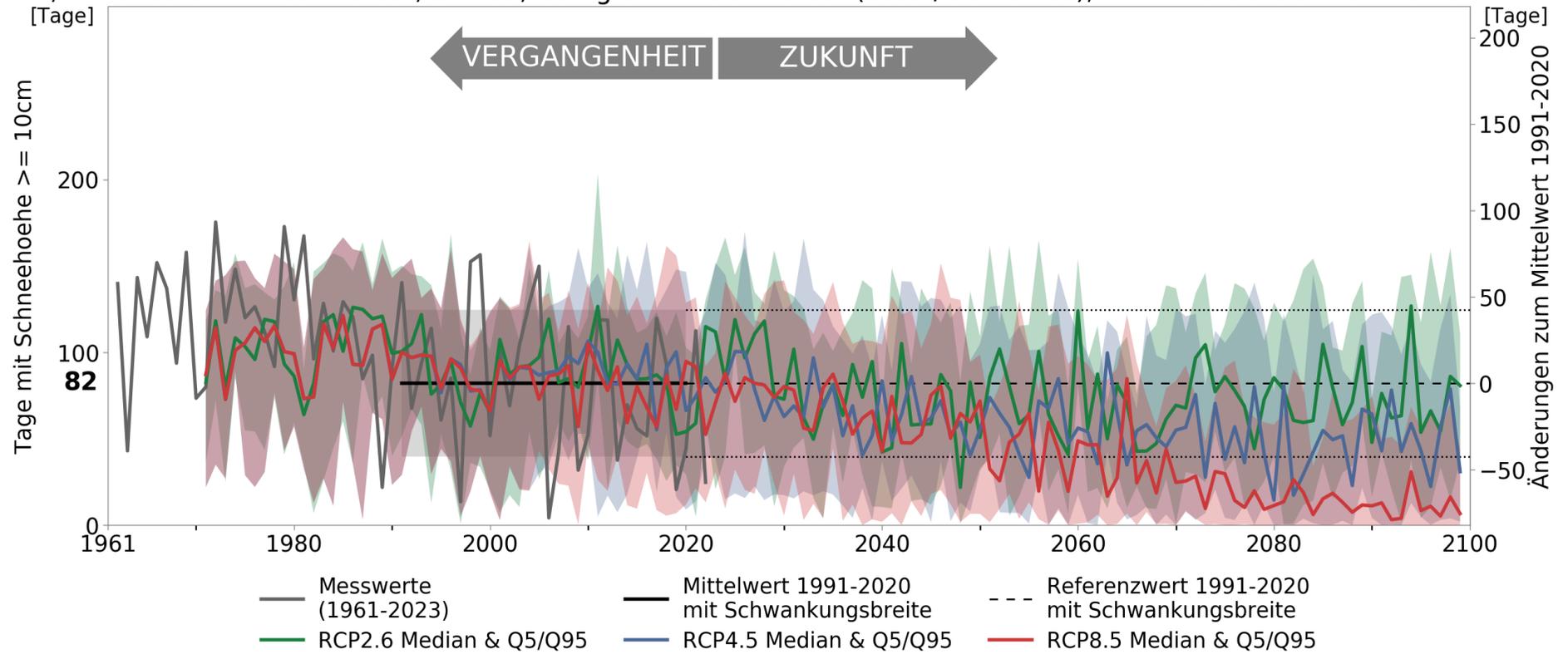


Abbildung 7-1: Entwicklung der Schneedeckendauer im Untersuchungsgebiet von 1961 bis 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 700 – 900 m.

Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1200 bis 1400 m

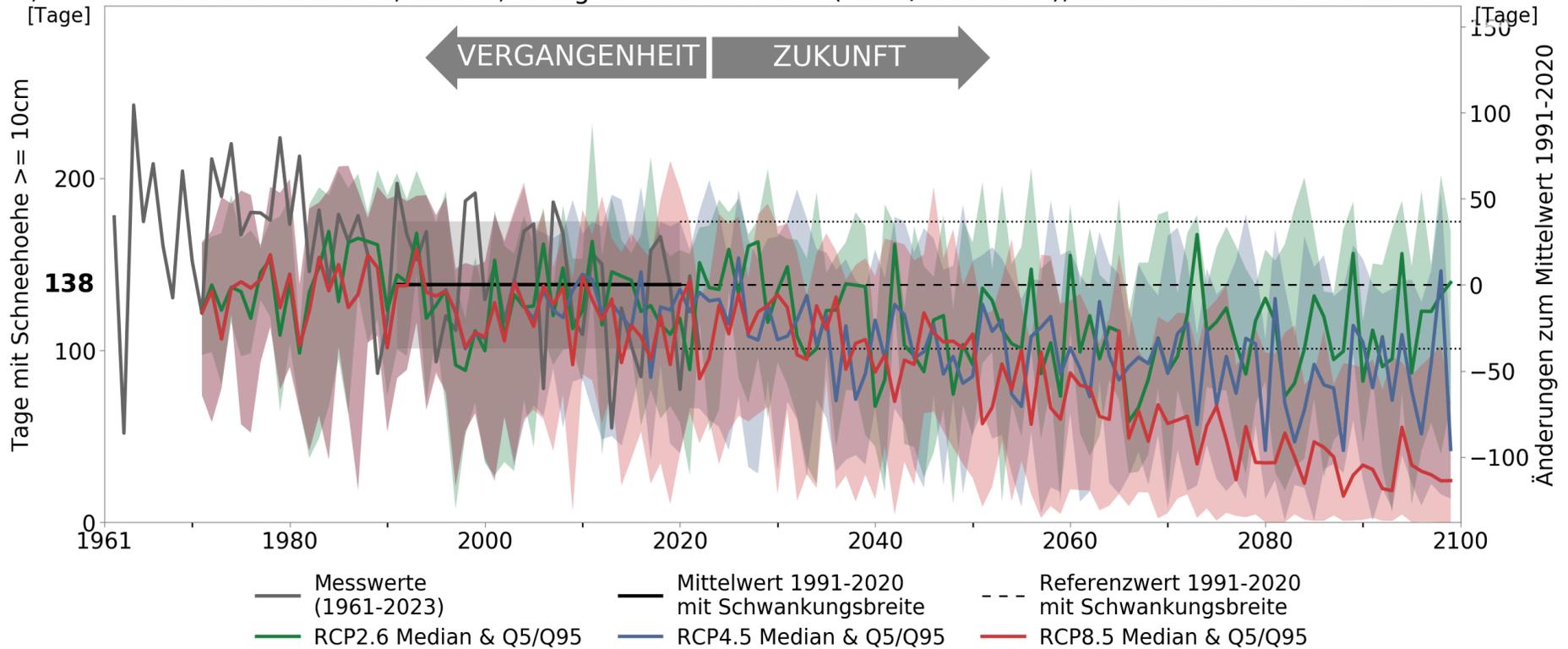


Abbildung 7-2: Entwicklung der Schneedeckendauer im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 1200 - 1400 m.

Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1700 bis 1900 m

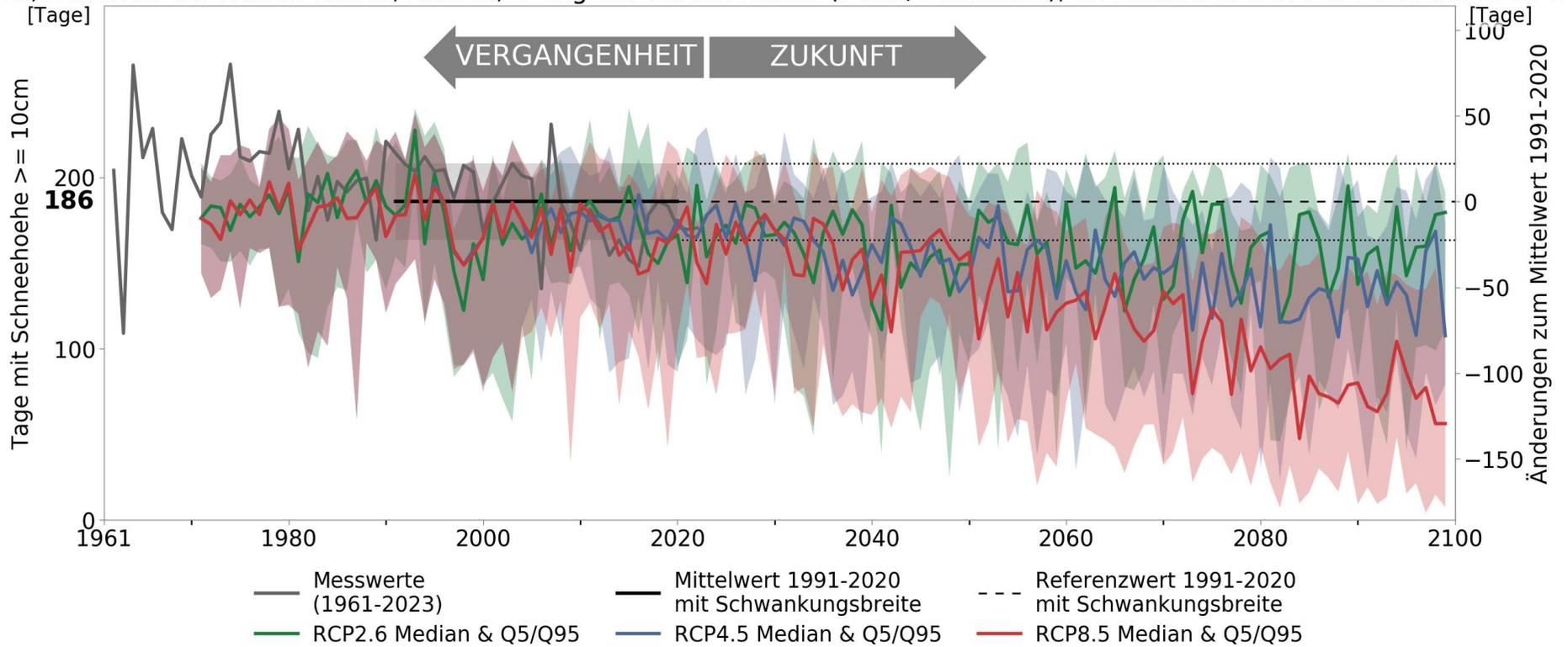


Abbildung 7-3: Entwicklung der Schneedeckendauer im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 1700 - 1900 m.

7.2 Abbildungen zu den potenziellen Beschneistunden auf Basis $T_f < -4 \text{ °C}$

In diesem Abschnitt werden alle erzeugten Grafiken der potenziellen Beschneistunden auf Basis $T_f < -4 \text{ °C}$ gezeigt. Sie umfassen den Höhenbereich von 700 - 1900 m über dem Meeresspiegel und die Monate November bis Februar. Der ausgewiesene Referenzwert der Periode 1991 – 2020 (fett gedruckt) kann aus Rundungsgründen fallweise um 1 Stunde vom Referenzwert in Tabelle 4-4 in der Spalte „Vergangenheit 1991 – 2020“ abweichen.

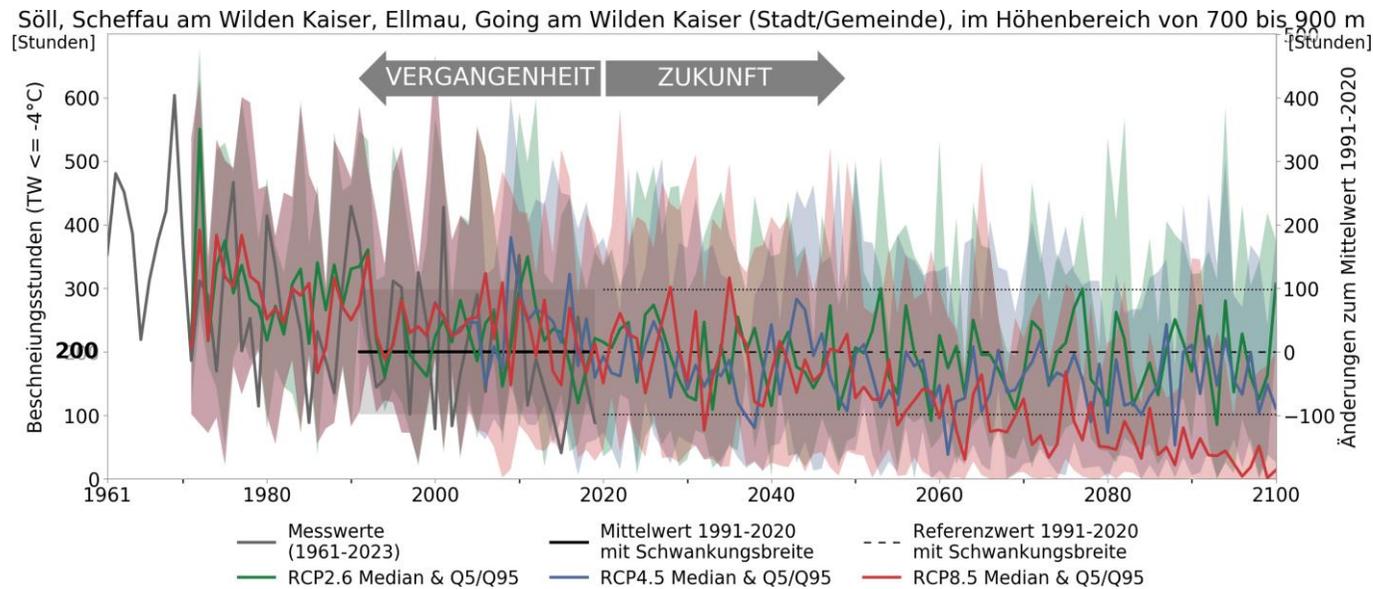
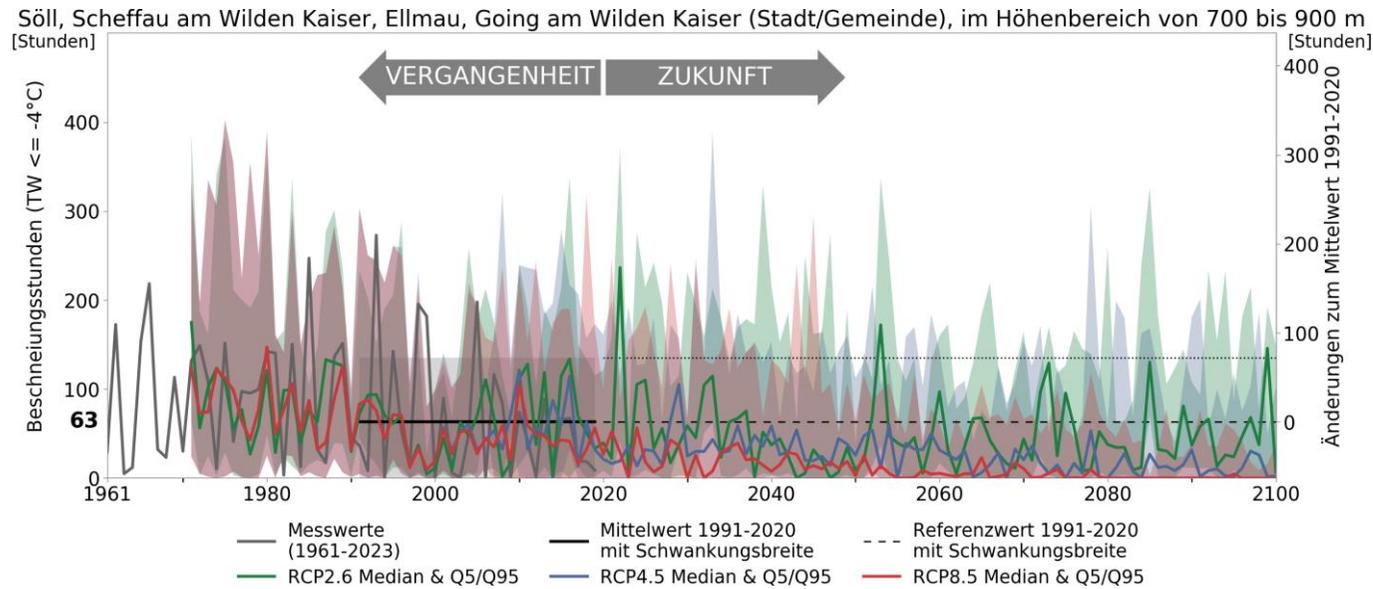


Abbildung 7-4: Entwicklung der potenziellen Beschneistunden ($T_r < -4^\circ\text{C}$) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 700 - 900 m im November (oben) bzw. Dezember (unten).

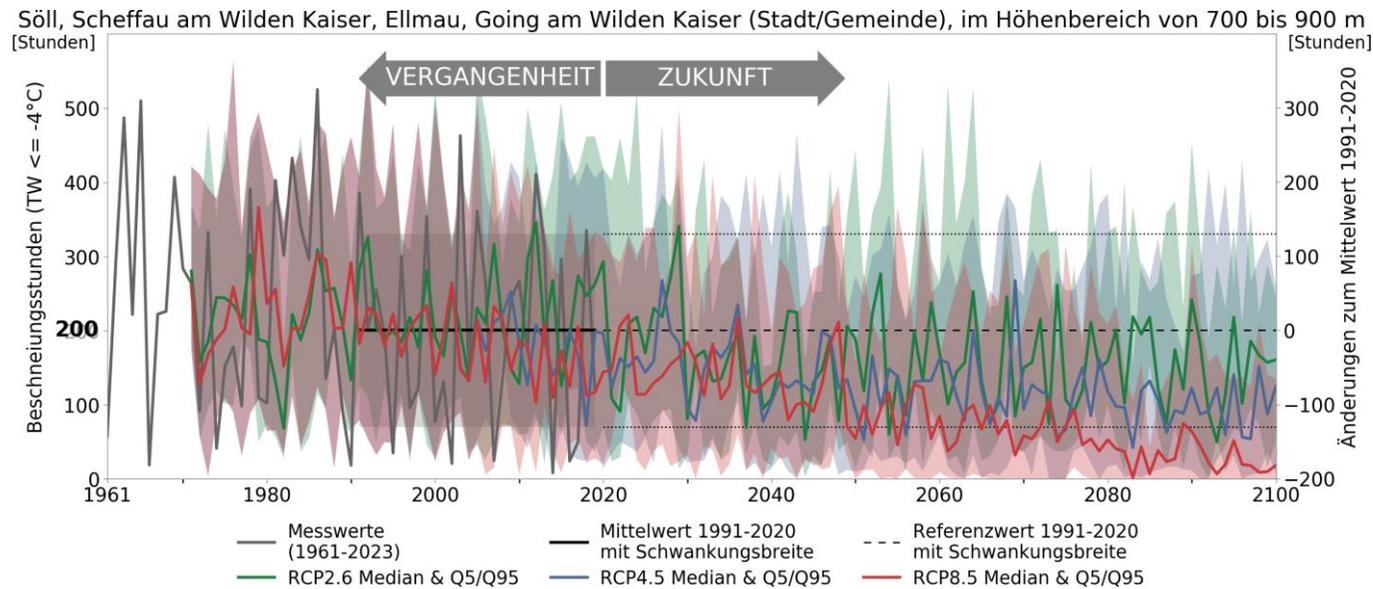
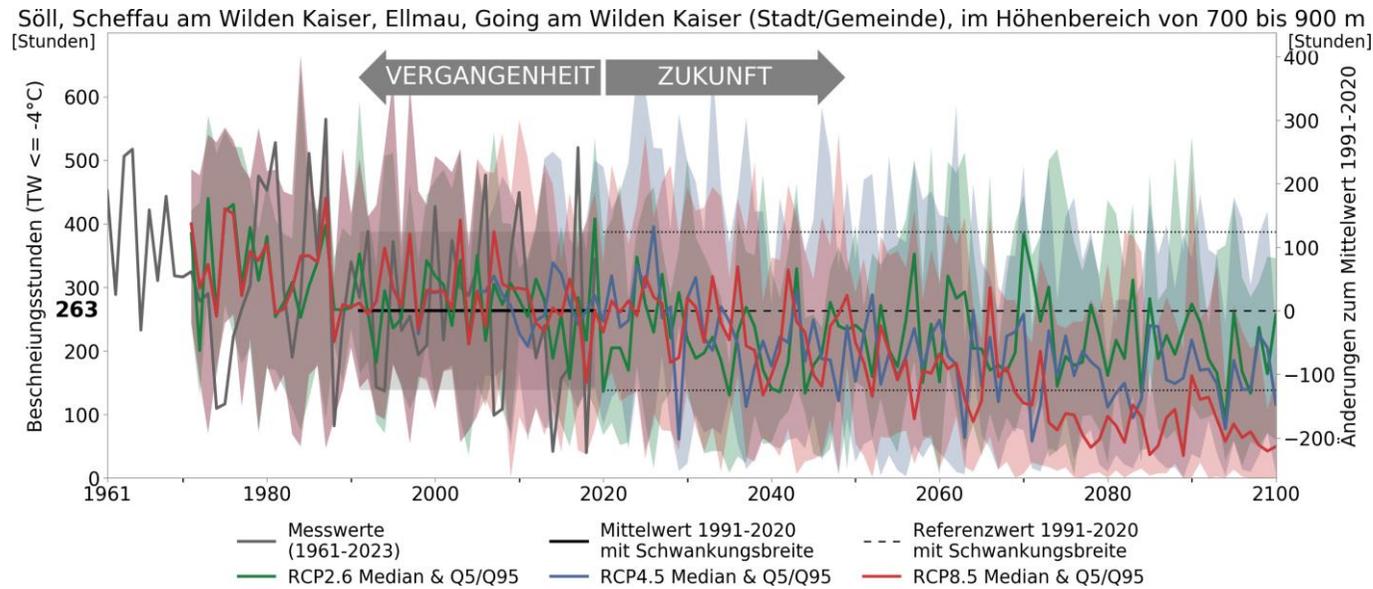
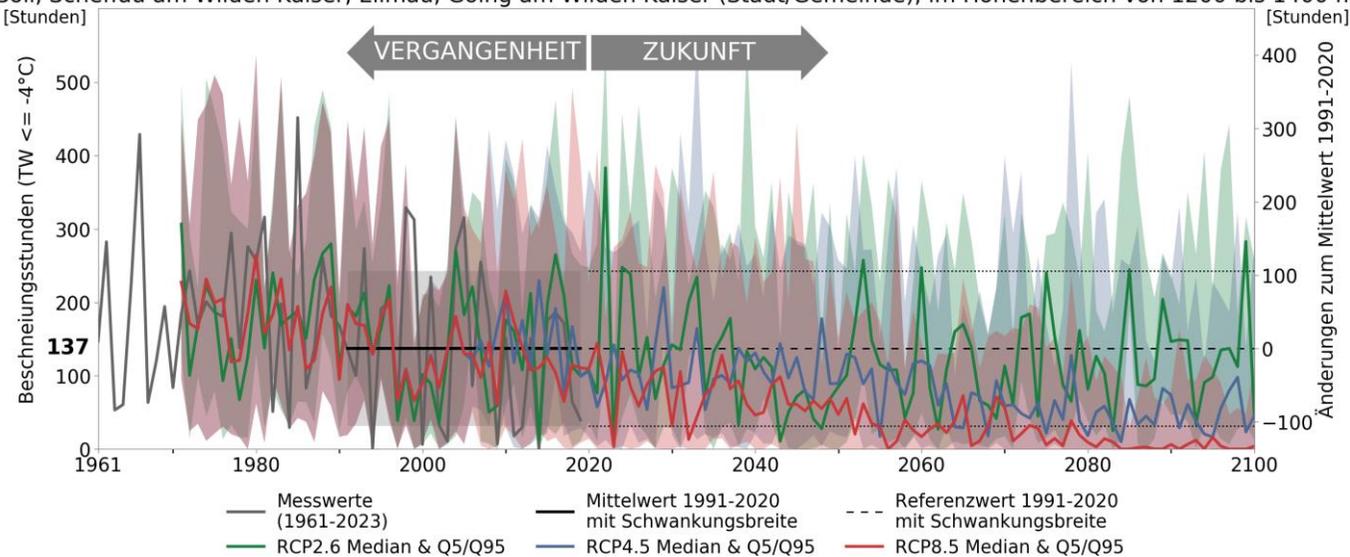


Abbildung 7-5: Entwicklung der potenziellen Beschneistunden ($T_f < -4^\circ\text{C}$) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 700 - 900 m im Jänner (oben) bzw. Februar (unten).

Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1200 bis 1400 m



Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1200 bis 1400 m

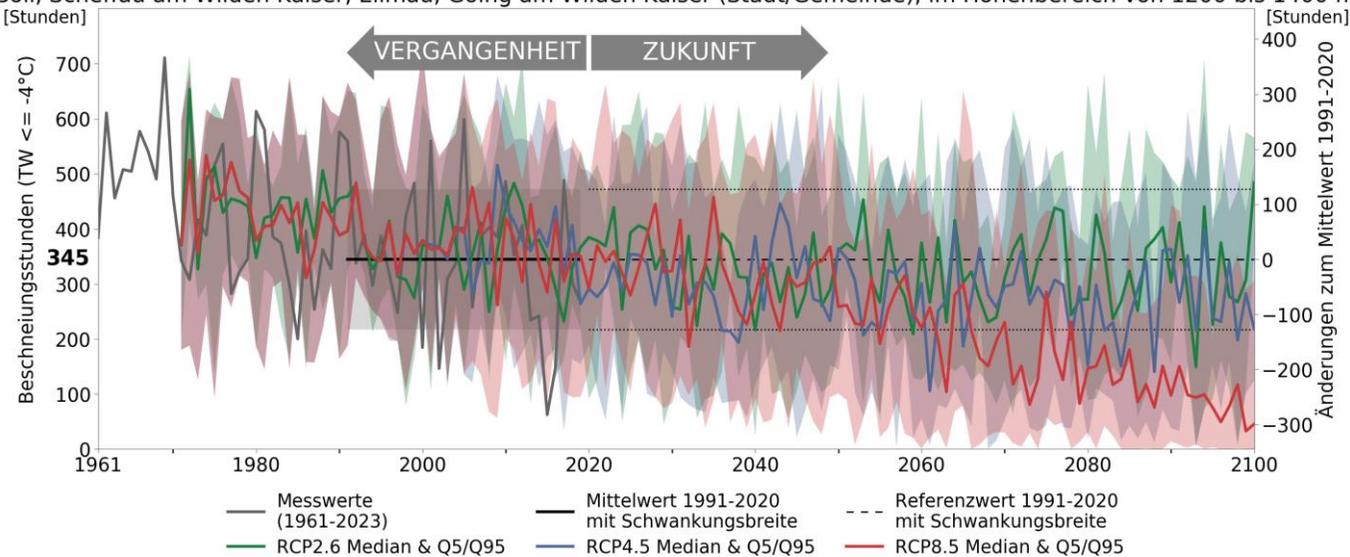


Abbildung 7-6: Entwicklung der potenziellen Beschneistunden ($T_f \leq -4^\circ\text{C}$) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 1200 - 1400 m im November (oben) bzw. Dezember (unten).

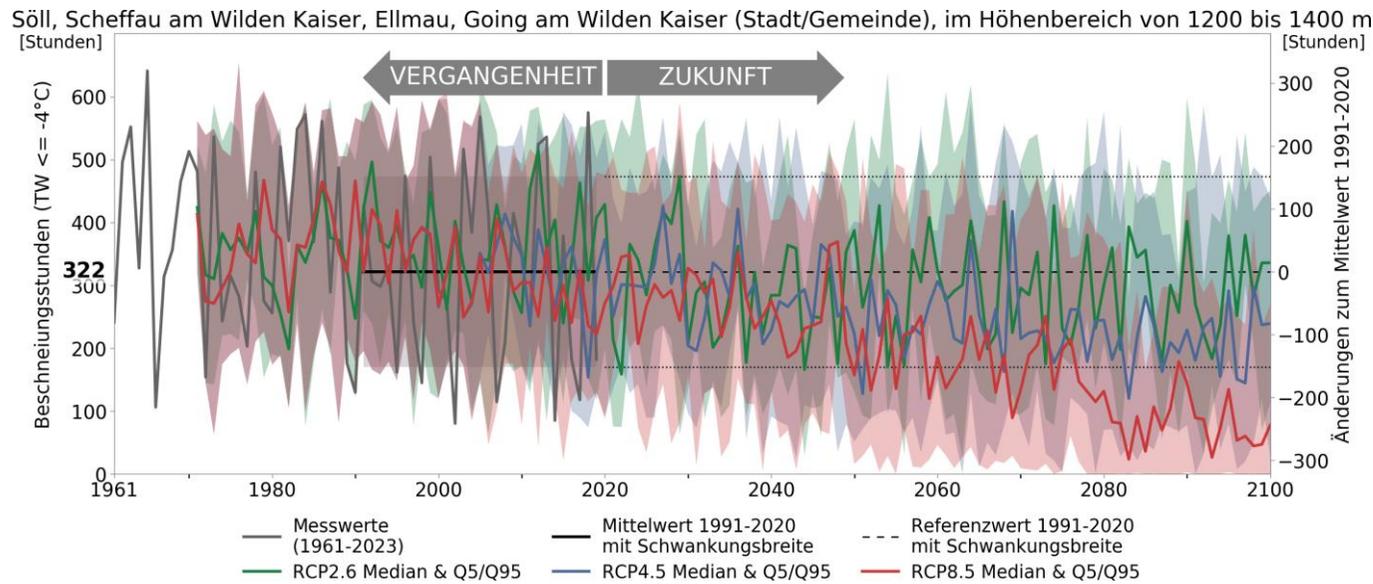
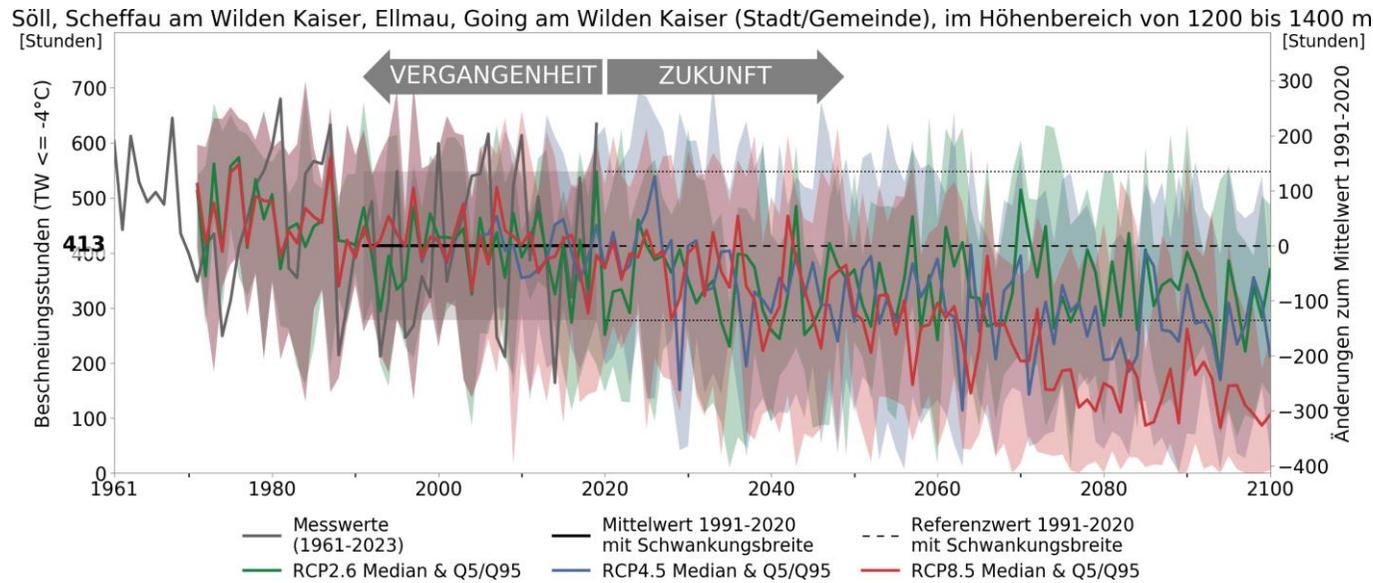
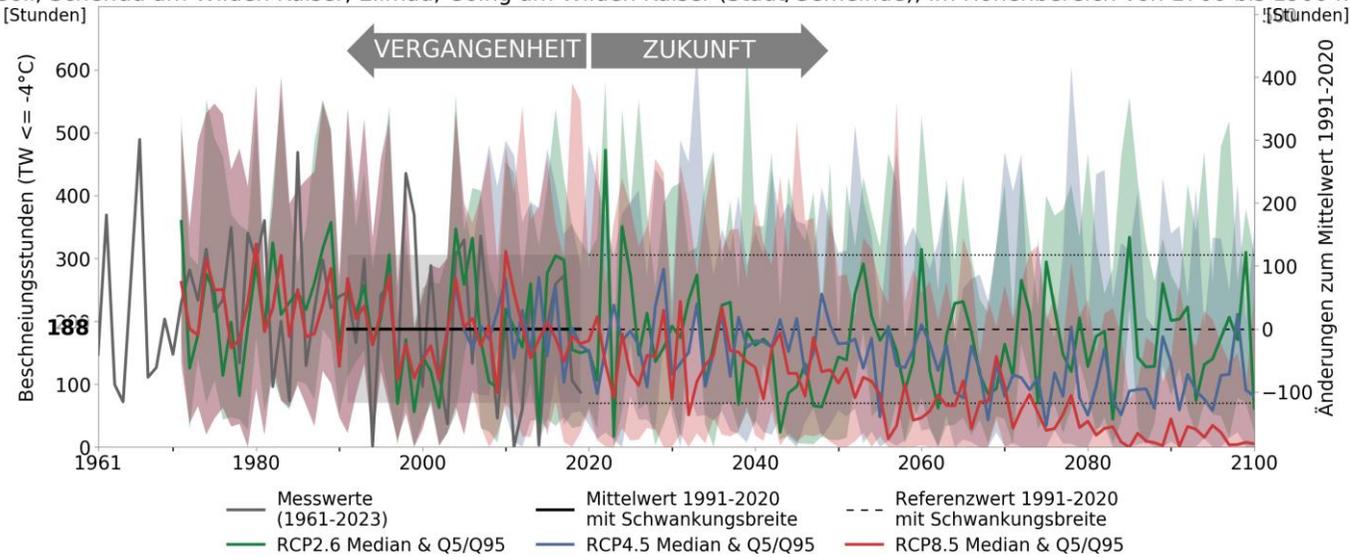


Abbildung 7-7: Entwicklung der potenziellen Beschneistunden ($T_f \leq -4^\circ\text{C}$) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 1200 - 1400 m im Jänner (oben) bzw. Februar (unten).

Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1700 bis 1900 m



Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1700 bis 1900 m

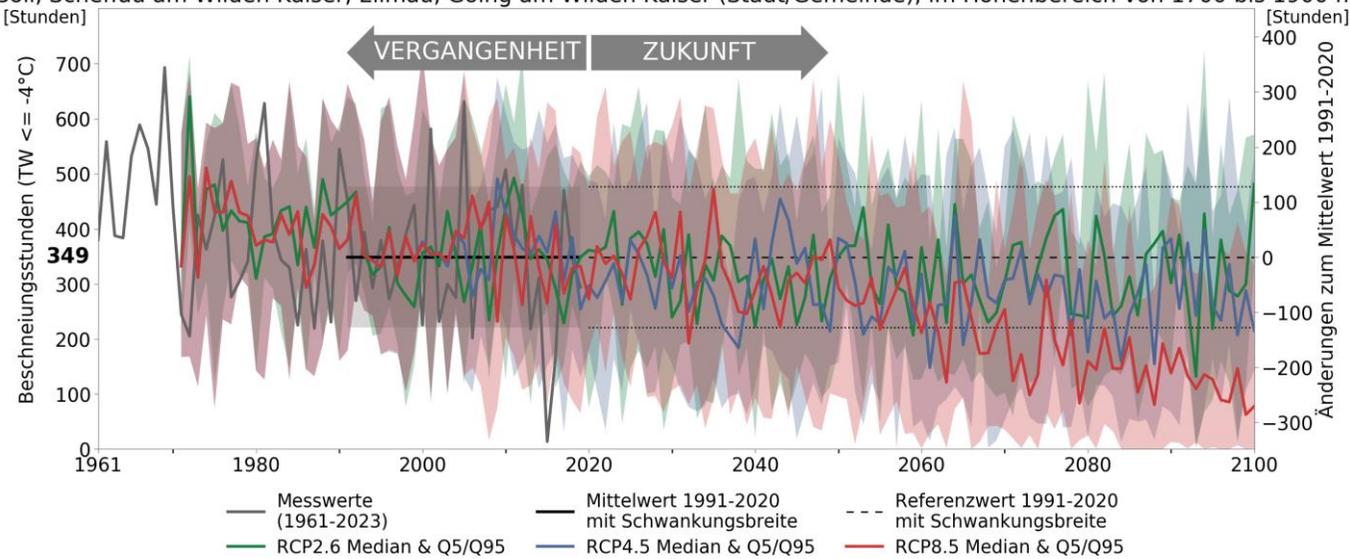
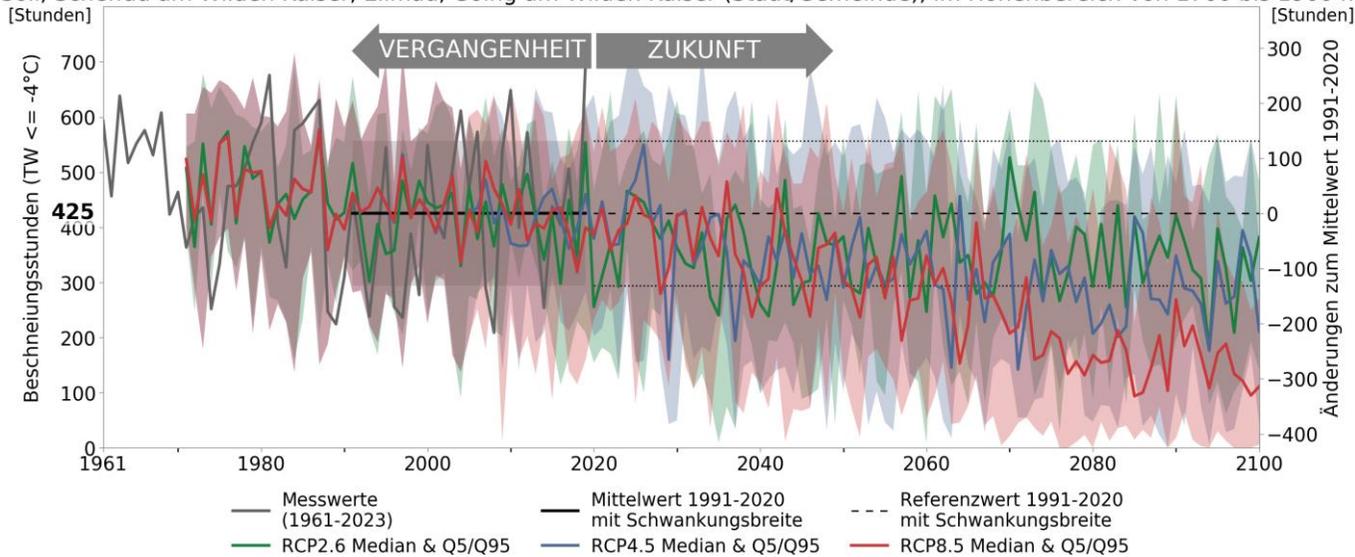


Abbildung 7-8: Entwicklung der potenziellen Beschneistunden ($T_r \leq -4^\circ\text{C}$) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 1700 - 1900 m im November (oben) bzw. Dezember (unten).

Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1700 bis 1900 m



Söll, Scheffau am Wilden Kaiser, Ellmau, Going am Wilden Kaiser (Stadt/Gemeinde), im Höhenbereich von 1700 bis 1900 m

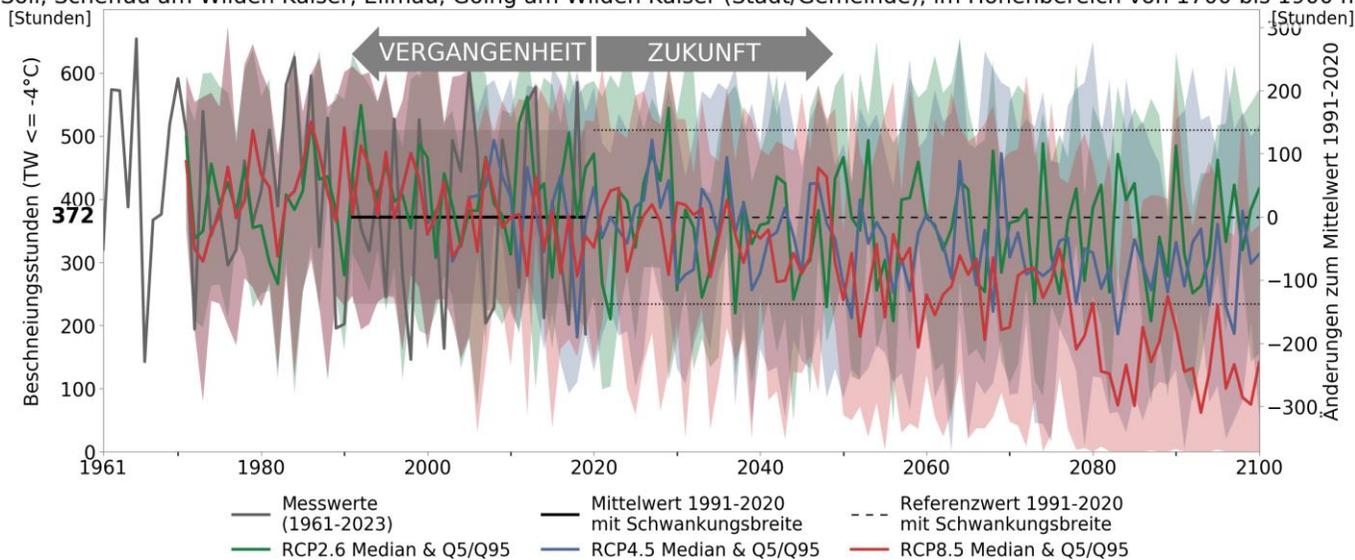


Abbildung 7-9: Entwicklung der potenziellen Beschneistunden ($T_f < -4^\circ\text{C}$) im Untersuchungsgebiet von 1961 - 2020 und Zukunftsszenarien bis 2100 in der Höhenstufe 1700 - 1900 m im Jänner (oben) bzw. Februar (unten).