

Studie zur Schneedeckenentwicklung

Zusammenfassung allgemeiner Ergebnisse



R. Koch, M. Olefs, B. Niedermoser

März 2019



Inhaltsverzeichnis

Studie zur vergangenen und zukünftigen Schneedeckenentwicklung in ausgewählten Skigebieten in Salzburg	3
Studienautoren:.....	3
Projektrahmen und Zeitschiene:.....	3
Wie wird der Naturschnee modelliert?.....	4
Wie kommt man zur flächendeckenden Schneeklimatologie?	4
Wie gut kann man die Schneedecke modellieren?	5
Wie wird die technische Schneeproduktion modelliert?.....	5
Wie macht man Klimaänderungen für eine Abfahrt oder ein Skigebiet sichtbar?	6
Die Schneedeckenentwicklung in der Vergangenheit ab 1961	7
Naturschnee und technische Schneeproduktion	8
Entwicklung der Beschneigungsstunden.....	9
Gab es grobe Muster und Veränderungen in der Strömung?	11
Die Schneedeckenentwicklung in der Zukunft bis 2050.....	12
Die Entwicklung der Naturschneedecke.....	12
Die Entwicklung der Naturschneedecke in Kombination mit technischen Schnee.....	15
Zusammenfassung.....	19

Studie zur vergangenen und zukünftigen Schneedeckenentwicklung in ausgewählten Skigebieten in Salzburg

Im vorliegenden Dokument werden allgemeine Aussagen aus drei Detailstudien zusammengeführt. Die zugrundeliegenden Detailstudien befassen sich mit der Schneeeentwicklung in einem sich ändernden Klima im Bundesland Salzburg. In den Studien wird sehr konkret auf Klimawandel-Fragestellungen von Skibieten eingegangen. Es werden neue Methoden angewandt und Aussagen getroffen, die in dieser räumlichen und zeitlichen Auflösung bisher nicht möglich waren.

Die Studien wurde im Auftrag des Landes Salzburg (Abteilung 5: Natur- & Umweltschutz, Gewerbe) erstellt, um den Skigebieten eine wissenschaftlich fundierte Planungsgrundlage für Entscheidungen zu liefern. Auf Basis der aktuellsten Klimaprojektionen (ÖKS15).

In die Detailstudien fließen auf Grund der hohen Auflösung und der gezielten Fragestellungen betriebsinterne Informationen und Know-How der einzelnen Skigebiete ein. Aus diesem Grund sind die Skigebiete in dieser Zusammenfassung nicht explizit genannt bzw. sind Abbildungen und Aussagen „neutralisiert“ dargestellt.

Studienautoren:

Roland Koch¹, Marc Olefs¹, Bernhard Niedermoser²

¹ ZAMG – Abteilung Klimaforschung, Wien

² ZAMG – Salzburg und Oberösterreich, Salzburg

Projektrahmen und Zeitschiene:

20.03.2017	Erstgespräch Land Salzburg - ZAMG
12.05.2017	Auftrag ZAMG, Beginn der Umsetzung
19.07.2017	Vorgespräch mit Seilbahnwirtschaft
21.09.2017	Abstimmung mit Skigebieten
11/17-02/18	Detailgespräche mit Skigebieten
09.08.2018	Besprechung, Diskussion der Ergebnisse mit Skigebieten, einzeln
30.08.2018	Besprechung der allgemeinen Ergebnisse mit allen Skigebieten
08.11.2018	Präsentation der Ergebnisse der Landesregierung Salzburg
12.03.2019	Präsentation der Ergebnisse, St. Johann im Pongau, Pressekonferenz

Wie wird der Naturschnee modelliert?

Die Schneedecke wird mit dem an der ZAMG entwickelten Schneedeckenmodell SNOWGRID modelliert. Dieser Ansatz wird erfolgreich in vielen Anwendungen der Praxis angewandt (Lawinenwarndienst, Straßenwinterdienst, Wasserwirtschaft, Katastrophenschutz, Hochgebirgsbaustellen). SNOWGRID berechnet die zeitliche Änderung der Schneedecke in einer horizontalen Auflösung von 100 m in 15-Minuten-Zeitschritten und stündlicher Analyse. SNOWGRID liefert Gesamt- und Neuschneehöhen, Schneewasseräquivalent, Schneetemperaturen und berücksichtigt Prozesse wie das Schmelzen und die Setzung. Beispiel einer SNOWGRID-Anwendung mit Echtzeitdaten siehe Abbildung 1.

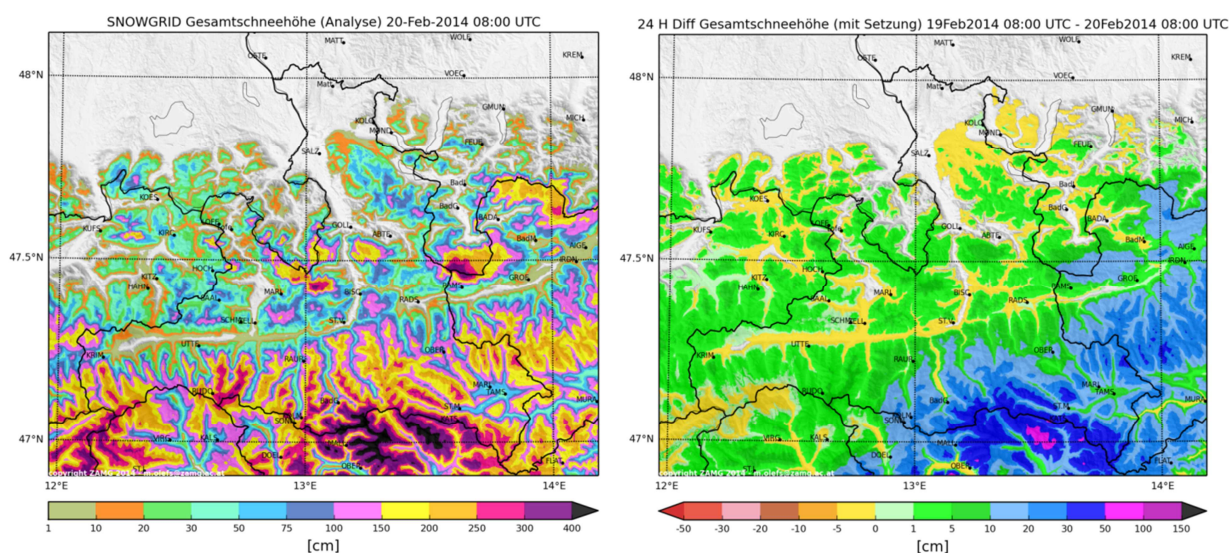


Abb. 1: ZAMG SNOWGRID Gesamtschneehöhe (links) und Änderung in 24 Stunden (rechts); Quelle: ZAMG

Wie kommt man zur flächendeckenden Schneeklimatologie?

Um die vergangene Entwicklung der Schneedecke zu modellieren, wird das Schneedeckenmodell SNOWGRID-CL (Klimaversion von SNOWGRID) mit gegitterte Datensätze der **SPARTACUS** Beobachtungsdaten (Tmin, Tmax, RR) angetrieben. Der **SPARTACUS** Beobachtungsdatensatz der ZAMG hat eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und liefert Temperatur (Tmin, Tmax) und Niederschlag (RR) auf Tagesbasis ab 1961.

Um die zukünftige Entwicklung der Schneedecke mittels SNOWGRID-CL zu modellieren, werden gegitterte Klimadatensätze (Tmin, Tmax, RR) aus dem Projekt **ÖKS15** verwendet. Diese haben ebenfalls eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und liefern Temperatur- und Niederschlag auf Tagesbasis bis 2100.

Die ÖKS15 Klimaprojektionen sind Stand der Technik und Wissenschaft in Bezug auf Klimamodellierung in Österreich. Sämtliche Planungen und Entscheidungen fußen auf diesem Modell und deren abgeleiteten

Aussagen. Betrachtet werden die geläufigen Emissionsszenarien RCP4.5 (Klimaschutzszenario) und RCP8.5 (business as usual). Je Szenario wird ein Ensemble von jeweils 13 Klimamodellen (EURO-CORDEX) berechnet. Dadurch bekommen die Aussagen zum einen eine mögliche Bandbreite und zum anderen eine Aussage über die Signifikanz.

Wie gut kann man die Schneedecke modellieren?

Das Schneedeckenmodell SNOWGRID-CL und deren Anwendung auf die Vergangenheit mit SPARTACUS-Daten lassen sich anhand von guten Handmessungen validieren.

Abbildung 2 zeigt eine Gegenüberstellung. Es zeigt sich – so wie bei vielen Standorten – eine gute bis sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und Beobachtung!

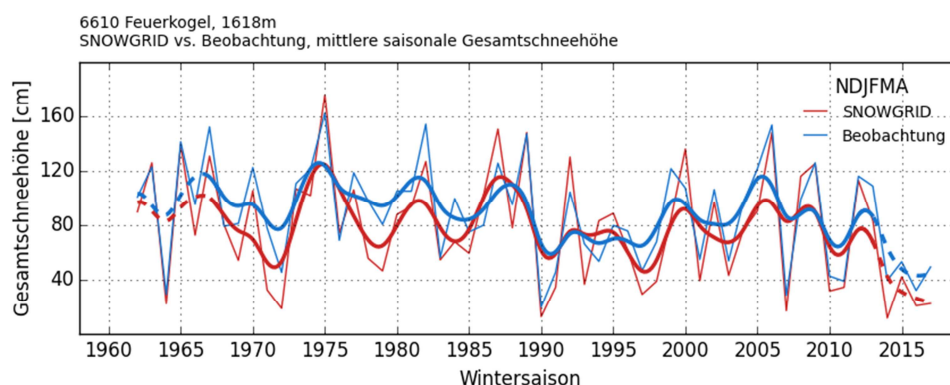


Abb. 2: Vergleich von gemessenen und berechneten saisonalen Schneehöhen in den letzten 55 Jahren am Feuerkogel; Quelle: ZAMG

Wie wird die technische Schneeproduktion modelliert?

Für die Modellierung der technischen Schneeproduktion sind folgende Festlegungen wichtig:

Die Feuchtkugeltemperatur (T_f) ist maßgebend. Diese wird durch Minimum- und Maximumtemperatur der Lufttemperatur auf Tagesbasis bei einer gleichzeitigen Parametrisierung der Luftfeuchtigkeit über Monatsmittelwerte sehr praxisnah angenähert.

Trotz Tageswert können – über einen Parametrisierungsansatz – jene Stunden eines Tages gezählt werden, an denen die Feuchtkugeltemperatur kleiner als ein vordefinierter Schwellwert ist.

Aus operationeller Sicht werden nur Propellermaschinen herangezogen. Schneelanzen spielen wegen geringerer Leistung eine untergeordnete Rolle und werden in naher Zukunft zunehmend verschwinden.

Der ganzen Modellierung liegt der Ansatz zu Grunde, dass sich die Schneileistung der Gegenwart nicht ändert,

d.h. man nimmt an, dass keine technische Entwicklung stattfindet. Dies ist ein sehr konservativer Ansatz. Siehe Abbildung 3.

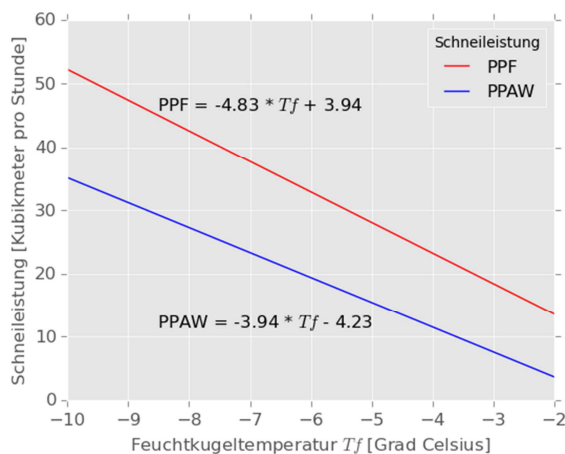


Abb. 3: Schneileistung von Lanzen (PPAW) und Propeller (PPF) als Funktion der Feuchtkugeltemperatur; Quelle: ZAMG

Wie macht man Klimaänderungen für eine Abfahrt oder ein Skigebiet sichtbar?

Um Änderungen sichtbar zu machen, ist es sinnvoll Fragestellungen zu formulieren und diese in sogenannte Indikatoren zu gießen. Die angewandten Indikatoren und Fragestellungen wurden gemeinsam mit den drei Skigebieten ausgearbeitet.

Unterschieden wird zwischen Indikatoren, die ein ganzes Skigebiet betreffen und Indikatoren, die kleinräumige Fragestellungen für eine einzelne Abfahrt beantworten.

Klimawandelindikatoren für einzelne Skipisten sind zum Beispiel:

- **Saisonal gemittelte Gesamtschneehöhe** der täglichen mittleren Gesamtschneehöhe
- **Maximale saisonale Gesamtschneehöhe**
- **Saisonale Schneedeckendauer:** Anzahl der Tage mit einer täglichen Schneehöhe ≥ 30 cm
- **Dauer der Skisaison:** Anzahl der Tage, an denen ein Skibetrieb möglich ist bezogen auf einen Start- und Endzeitpunkt innerhalb der Wintersaison. Startzeitpunkt: zum ersten Mal an 5 aufeinanderfolgenden Tagen ist Schneehöhe ≥ 30 cm. Endzeitpunkt ist Zeitpunkt, an dem dies zum letzten Mal eintritt.
- **Anzahl der Beschneigungsstunden** für Schwellwerte der Feuchtkugeltemperatur (-3, -7, -10 °C)
- **Anomalien:** Abweichungen zu einem langjährigen Mittel. Referenzperiode ist 1981 bis 2010.

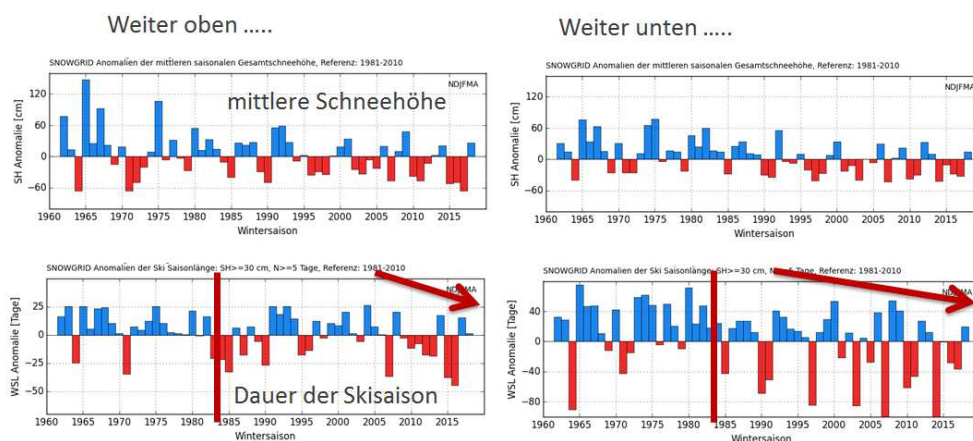
Klimawandelindikatoren für ein ganzes Skigebiet:

- **Anzahl der Starkschneefälle:** Tagesmitteltemperatur ≤ -1 °C in 1500 m und mindestens 20 mm Niederschlag in 2 aufeinanderfolgenden Tagen
- **Anzahl der Kaltluftvorstöße:** Tagesmitteltemperatur ≤ -5 °C in 1500 m für mindestens 3 (7) aufeinanderfolgende Tage
- **Anzahl der Warmluftvorstöße:** Tagesmitteltemperatur ≥ -0 °C in 3000m für mindestens 3 (7) aufeinanderfolgende Tage
- **Wetterlagen:** Ändern sich bestimmte Strömungsmuster.

Die Indikatoren für einzelnen Skipisten und Abfahrten benötigen sehr kleinräumige und teilweise auch betriebsinterne Eingangsdaten aus den Skigebieten. Dazu zählen zum Beispiel Informationen über die Beschneigungsstrategie und allgemeine Details der Steilheit, Ausrichtung und minimaler und maximaler Schneeauflage eines Pistenabschnittes.

Die Schneedeckenentwicklung in der Vergangenheit ab 1961

In den folgenden Kapiteln werden Abbildungen zusammengestellt aus unterschiedlichen Skigebietsdetailstudien. Es handelt sich hierbei um einen Auszug um beispielhaft und exemplarisch allgemein gültige Aussagen aus dem inneralpinen Bereich im Pinzgau und Pongau zu zeigen. Der volle Umfang und die spezifischen Aussagen als Planungsunterlage stehen ausschließlich den Skigebieten zur Verfügung.



- Hohe Jahr zu Jahr Variabilität (starke Änderungen)
- Vermehrt negative Anomalien ab ca. Anfang der 1980er Jahre
- Meist unterdurchschnittliche Wintersaisons in den letzten Jahren

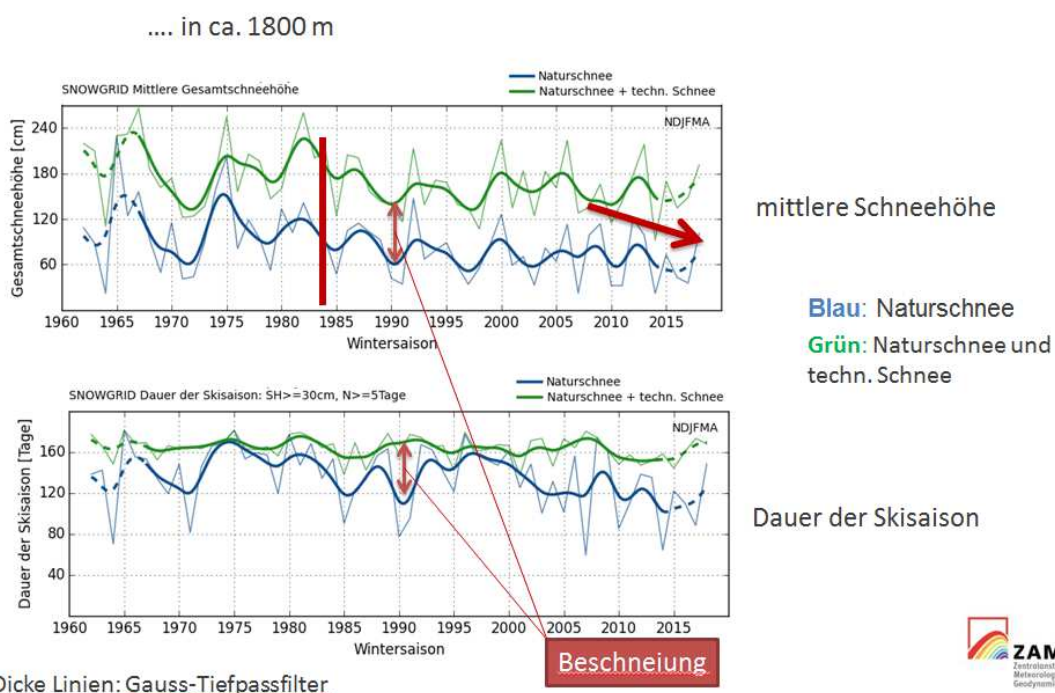
Abb. 4: Analyse der mittleren saisonalen Gesamtschneehöhe und Saisonlänge für einen Bereich im Gipfelniveau („Weiter oben ...“) und einem Bereich in Talstationsnähe („Weiter unten ...“); Quelle: ZAMG

Die Analyse der mittleren saisonalen Gesamtschneehöhe und Saisonlänge (Abbildung 4) zeigt einen Bruch Mitte der 1980er und eine Häufung von schneearmen Wintern im Zeitraum 2005 bis 2015. Der Bruch in den 1980er ist gut erforscht und im gesamten Alpenraum beobachtbar. Seit den 1980ern wechseln schneereichere mit schneearmeren Wintern mit starker Variabilität. Dies gilt für den Pinzgau und Pongau, andere Zonen in Österreich werden von anderen Strömungsmustern überlagert.

Naturschnee und technische Schneeproduktion

Abbildungen 5 und 6 zeigen den Effekt der technischen Beschneigung. Die untere (blaue) Linie zeigt die Naturschneeeentwicklung. Die obere (grüne) Linie zeigt die Schneehöhe bzw. Skigebietsdauer, wenn rein fiktiv in der Vergangenheit bei ausreichend kalten Temperaturen beschneit worden wäre. Rein fiktiv deshalb, weil die technische Beschneigung erst Ende der 1990er im größeren Umfang angewandt wurde.

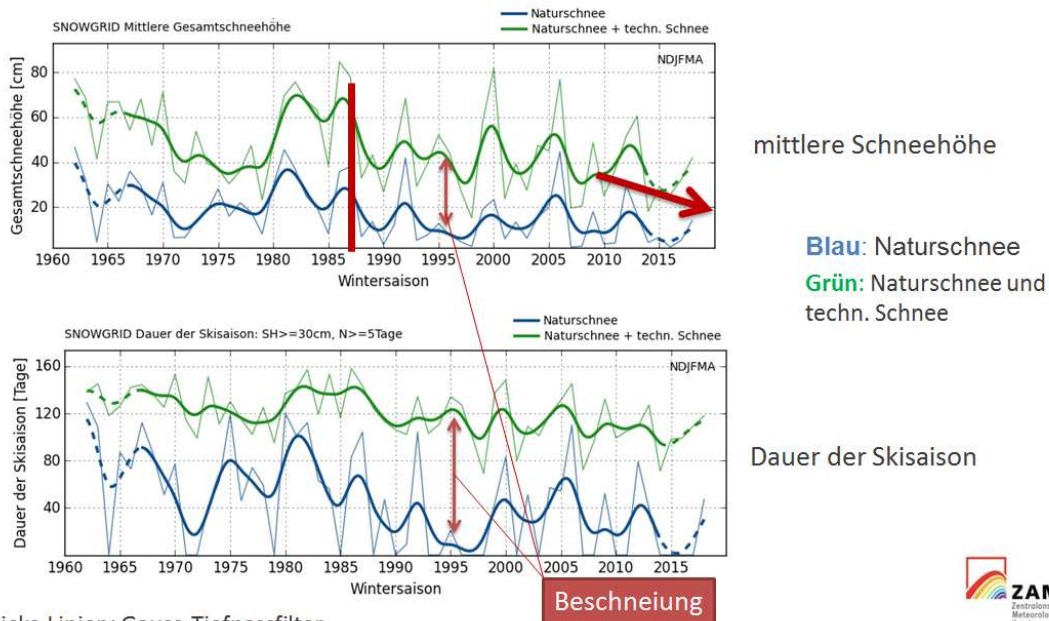
Es zeigt sich auch hier der Bruch in den 1980ern. Es zeigt sich auch, dass die technische Beschneigung zum einen das Niveau deutlich anhebt und zum anderen für geringere Schwankungen und mehr Stabilität und Verlässlichkeit sorgt.



Dicke Linien: Gauss-Tiefpassfilter

Abb. 5: Analyse der mittleren saisonalen Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1800 m für „Naturschnee“ und „Naturschnee plus technischem Schnee“; Quelle: ZAMG

... in ca. 1000 m



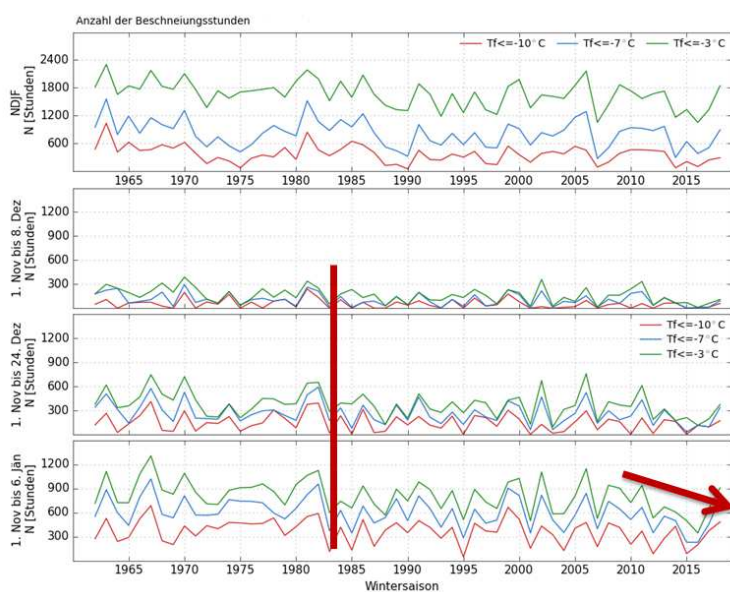
Dicke Linien: Gauss-Tiefpassfilter

Abb. 6: Analyse der mittleren saisonalen Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1000 m für „Natureschnee“ und „Natureschnee plus technischem Schnee“; Quelle: ZAMG

Entwicklung der Beschneigungsstunden

Abbildungen 5 und 6 zeigen die Änderungen der potenziellen Beschneigungsstunden. Gut zu erkennen ist der Bruch in den 1980ern, der in unterschiedlichen Höhen unterschiedlich stark ausgeprägt ist sowie die Abnahme zwischen 2005 und 2015 vor allem in den tieferen Niveaus und insbesondere in der Frühwinterphase.

... in ca. 1800 m



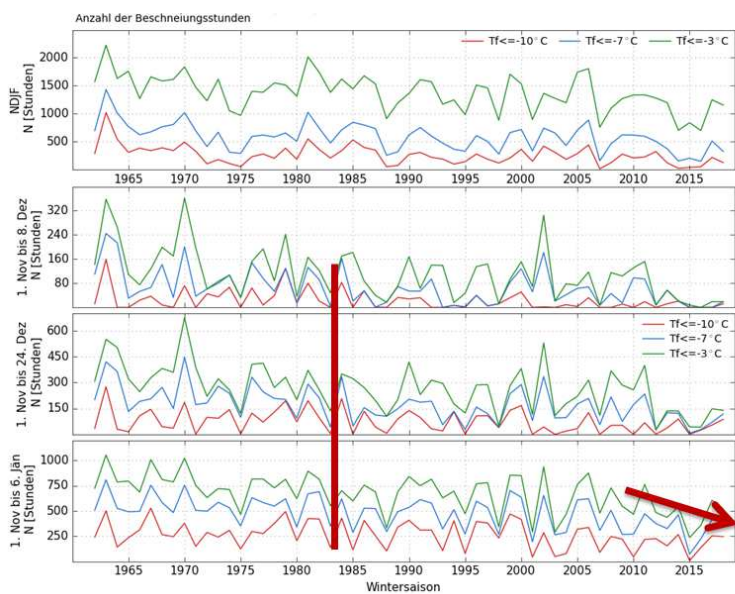
Rot: Tf <= -10 °C
Blau: Tf <= -7 °C
Grün: Tf <= -3 °C

Abnahme der
Beschneigungsstunden
seit ca. Beginn der
1980er Jahre und ab
2007



Abb. 7: Analyse der Beschneigungsstunden in ca. 1800 m Seehöhe. Ausgesplittet für unterschiedliche Feuchtkugeltemperaturen und unterschiedliche Zeitabschnitte; Quelle: ZAMG

... in ca. 1000 m



Rot: Tf <= -10 °C
Blau: Tf <= -7 °C
Grün: Tf <= -3 °C

Abnahme der
Beschneigungsstunden
seit ca. Beginn der
1980er Jahre und ab
2007



Abb. 8: Analyse der Beschneigungsstunden in ca. 1000 m Seehöhe. Ausgesplittet für unterschiedliche Feuchtkugeltemperaturen und unterschiedliche Zeitabschnitte; Quelle: ZAMG

Gab es grobe Muster und Veränderungen in der Strömung?

Maßgeblich für die Schneedeckenentwicklung sind Wetterlagen und großräumige Strömungen. Ändern sich diese stark und nachhaltig, so kann sich die Schneedeckensituation grundlegend ändern. Die Fragestellungen der Skigebiete gingen daher stark in diese Richtung.

Die starke saisonale und jährliche Variabilität erschwert das Erkennen von Trends. Ein passender Filter ist die MASH-Analyse, die in zwei Dimensionen glättet und dadurch wesentliche Verschiebungen sichtbar macht.

Abbildung 9 zeigt im unteren Bereich eine deutliche und signifikante Erwärmung im April und in den letzten 10 Jahren auch im November. Diesen Effekt beobachtet man in allen Höhen, in den tieferen Lagen stärker als weiter oben. Der Winter bzw. die kalte Jahreszeit wird kürzer.

Der obere Bereich der Abbildung zeigt die zeitliche Verteilung von trockenen und niederschlagsreicheren Zeiten. Hier zeigt sich ein Fleckerlteppich. Es ist kein Trend zu erkennen. Weder blockierende Hochdruckgebiete noch Störungszonen folgen im Winterhalbjahr im Untersuchungsraum einer Regelmäßigkeit. Dies gilt für den Pinzgau und Pongau.

Gut zu erkennen in Abbildung 9, dass der Kernwinter vor dem Bruch in den 1980ern deutlich kälter war als in den letzten 25 Jahren. Betrachtet man herausgelöst nur die letzten 25 Jahre, so zeigt der Kernwinter hier eine leichte Abkühlung.

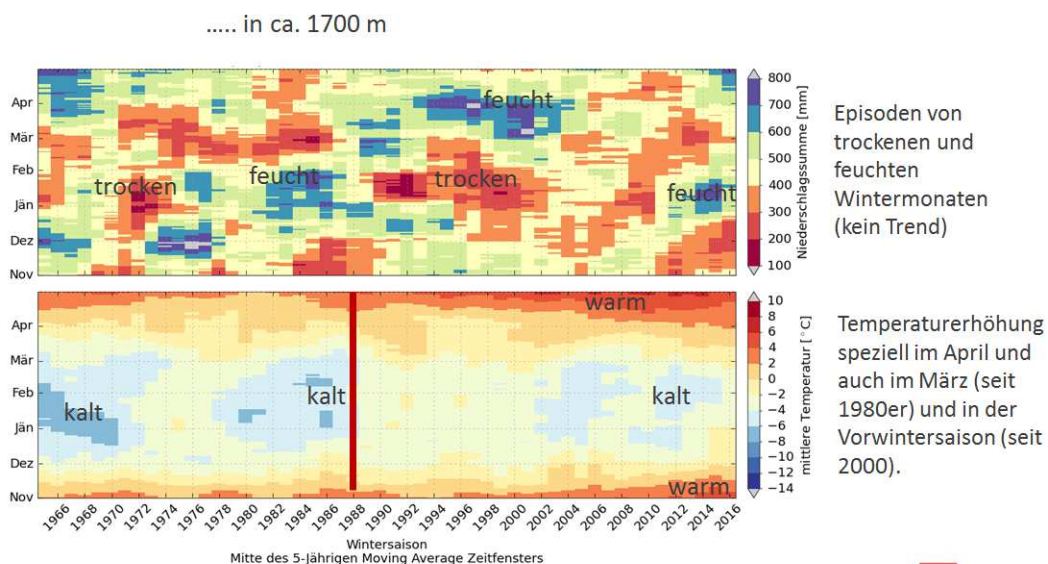
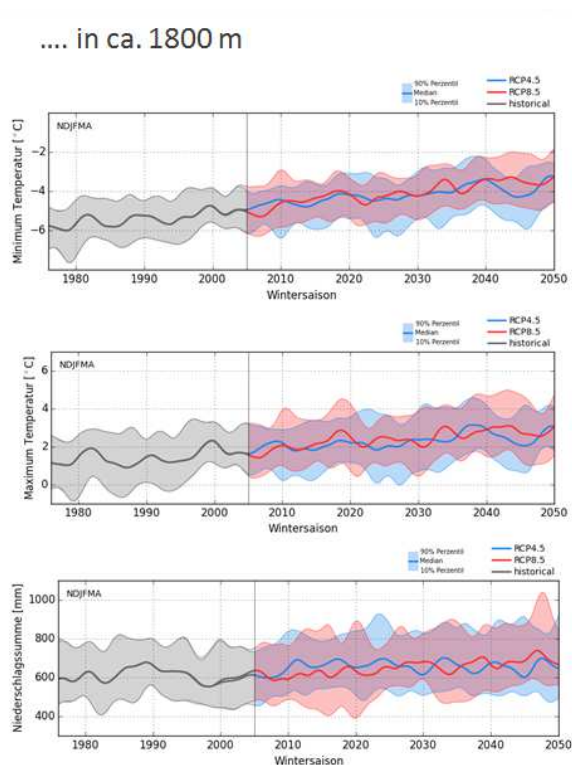


Abb. 9: MASH-Analyse für einen Bereich um 1700 m. Oben der Niederschlag, unten die Lufttemperatur; Quelle: ZAMG

Die Schneedeckenentwicklung in der Zukunft bis 2050

Der Blick in die Zukunft wird von zwei Szenarien (RCP4.5 und RCP8.5) vorgegeben. Abgebildet sind für jedes Szenario der Median (quasi als wahrscheinlichste Entwicklung) und die Perzentilen der verschiedenen Modellläufe, die ein Maß sind für die Bandbreite (oder Unsicherheit) und Signifikanz der Entwicklung.

Abbildung 10 zeigt einen Anstieg der mittleren Lufttemperatur (November bis April) in Wellen bis 2050 bei gleichzeitiger Zunahme der Winterniederschlagsmenge. Die Detailbetrachtung von oben zeigt, dass sich vor allem die Winterrandmonate deutlich stärker erwärmen als der Kernwinter.



Dargestellt sind Ensemble-Median, 10% und 90% Perzentile

Bis 2005: Historischer Modelllauf
Ab 2006: Klimaszenarien

Minimum Temperatur

Temperaturen steigen,
Tiefstwerte etwas stärker als die
Höchstwerte

Maximum Temperatur

Niederschlag nimmt zu,
im RCP8.5 Szenario auch stärker

Niederschlagssumme

Abb. 10: ÖKS15 Prognose für einen Bereich in ca. 1800 m Seehöhe. Entwicklung der Lufttemperatur und Niederschlagsmenge im Winter(NDJFMA; November bis April); Quelle: ZAMG

Die Entwicklung der Naturschneedecke

Nachfolgend sind Abbildungen für vergleichbare Seehöhen aus unterschiedlichen Skigebietsdetailstudien zusammengestellt. Abbildungen 11 bis 14 zeigen die Entwicklung der Naturschneehöhen in unterschiedlichen Niveaus. Beginnend vom Bergstationsniveau in ca. 2000 m Seehöhe bis runter zur Talstationsnähe in ca. 1000 m Seehöhe.

Im Höhenbereich 1800 bis 2000 m ändert sich der Naturschneewinter bis 2050 nicht wesentlich. Siehe Abbildung 11. Der Winter, so wie wir ihn kennen, bleibt in dieser Höhe erhalten. Auch mit den starken Schwankungen und Fluktuationen. Nach 2030 ist eine leichte Abnahme bzw. beim RCP8.5-Szenario auch stärkere Ausreißer nach unten angedeutet.

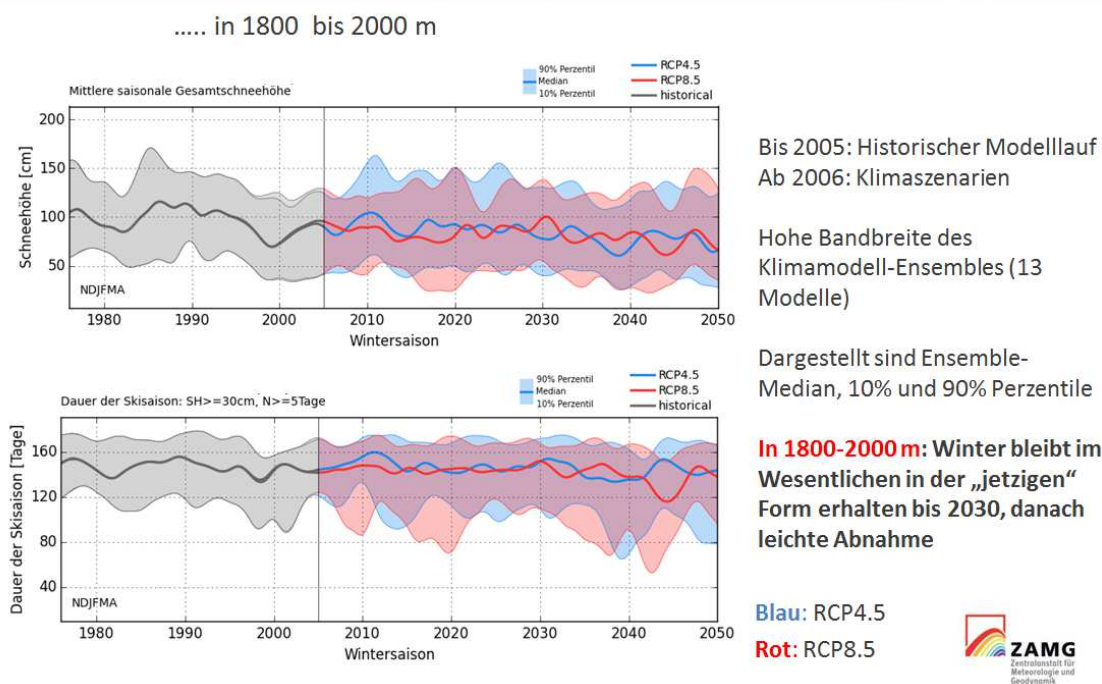
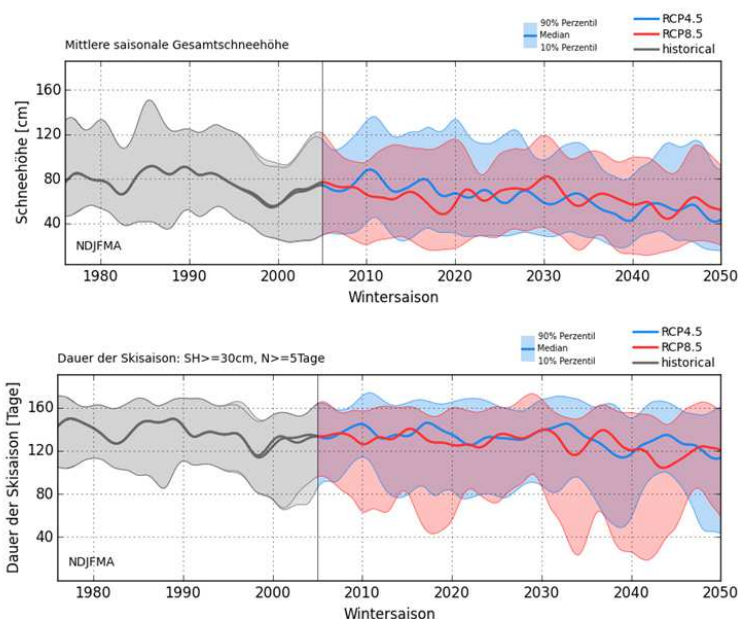


Abb. 11: Entwicklung Naturschnee bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1800 bis 2000 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

Im Höhenbereich 1600 bis 1700 m ändert sich im Mittel bis 2050 die mittlere Gesamtschneehöhe um ca. 20 %, wobei diese Abnahme hauptsächlich auf die Zeit nach 2030 fällt. Siehe Abbildung 12. In Bezug auf die Dauer der Skisaison nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass nach 2030 ein schneearmer Naturschneewinter dabei ist, zu.

.... in 1600 bis 1700 m



Dargestellt sind Ensemble-Median, 10% und 90% Perzentile

In 1700 m: bis 2030 wenig Änderung, danach Abnahme um ca. 20 %

Ausreißer nach unten nehmen zu.

Blau: RCP4.5

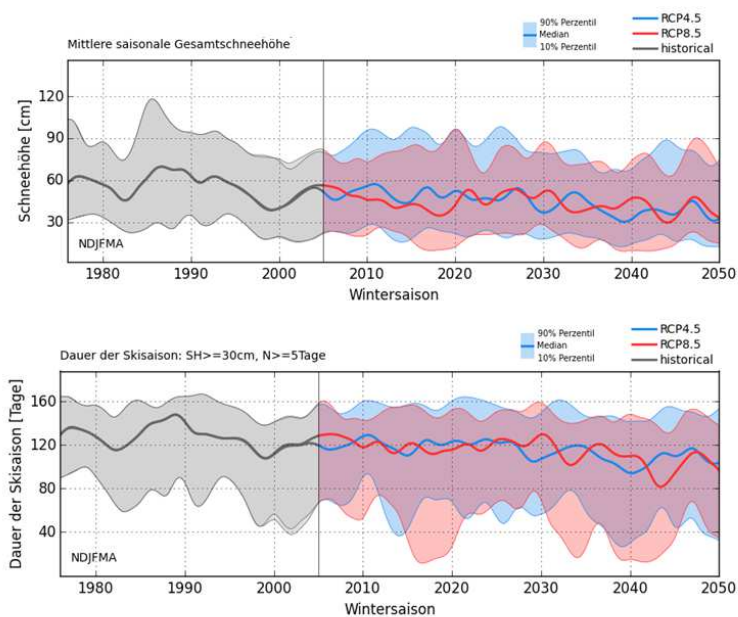
Rot: RCP8.5



Abb. 12: Entwicklung Naturschnee bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1600 bis 1700 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

Ähnlich sind der Trend und die Abnahme im Höhenbereich 1200 bis 1400 m, nur das Ausgangsniveau ist etwas niedriger als 400 Höhenmeter weiter oben (Abbildung 13).

.... in ca. 1200 bis 1400 m



In 1200-1400 m: Abnahme in „Wellen“, stärker ab 2030

Skisaisonlänge 2050 Naturschnee: im Mittel bei 90 Tage, um rund 30 Tage weniger als heute

Weniger Naturschnee im Tal bei 1200 m im Jahr 2050. In etwa die Hälfte von heute.

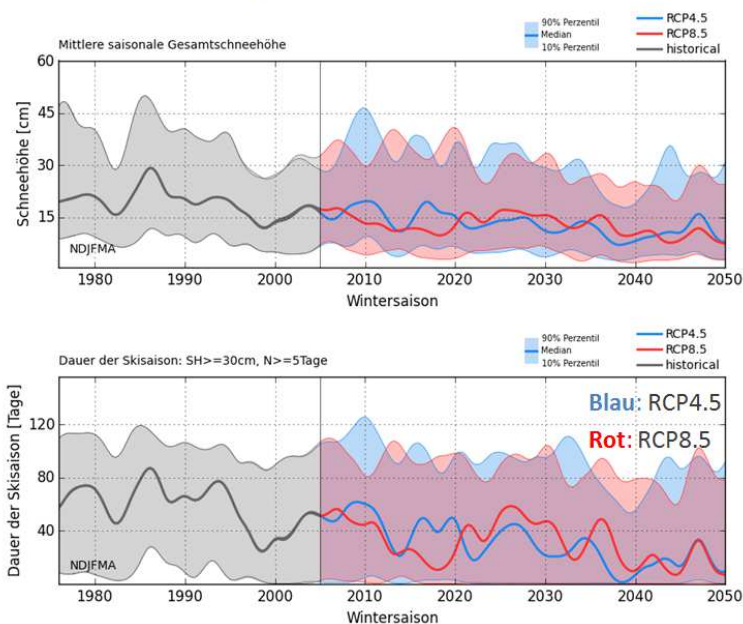
Ausreißer nach unten nehmen zu.



Abb. 13: Entwicklung Naturschnee bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1200 bis 1400 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

In tiefen Lagen, nahe den Talstationen, ist der Naturschneewinter aktuell schon starken Schwankungen ausgesetzt und das Niveau deutlich niedriger als weiter oben. Mit der Klimaveränderung in den kommenden Dekaden nimmt der Naturschnee in Wellen weiter ab. Im Jahr 2050 würde eine Skisaisonlänge die fiktiv nur auf Naturschnee basiert, in etwa nur 10 bis 15 Tage dauern. Skisaisonbetrieb würde bedeuten, dass es für diesen Pistenabschnitt eine Gesamtschneehöhe von mindestens 30 cm gibt.

... in ca. 1000 m



In 1000 m: nimmt spürbar ab, in „Wellen“, stärker ab 2030/2040

Wenig Naturschnee im Tal bei ca. 1000 m im Jahr 2050.

Skisaisonlänge 2050 Naturschnee: im Mittel bei 10-15 Tage

Abb. 14: Entwicklung Naturschnee bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1000 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

Die Entwicklung der Naturschneedecke in Kombination mit technischen Schnee

Nachfolgend ist analog zur Entwicklung der zukünftigen Naturschneedecke die Entwicklung einer Schneedecke, die aus Naturschnee und technischem Schnee besteht, abgebildet. Auch hier werden für eine allgemein gültige Aussage Abbildungen aus unterschiedlichen Skigebietsdetailstudien zusammengefasst. In den Detailstudien für die Skigebiete werden spezifische Planungsaussagen für einzelne Pistenabschnitte getroffen.

Die Abbildungen 15 bis 18 zeigen die Entwicklung der Naturschneehöhen in unterschiedlichen Niveaus. Beginnend vom Bergstationsniveau in ca. 2100 m Seehöhe bis runter zur Talstationsnähe in ca. 1000 m Seehöhe.

In allen Höhen zeigt sich der stabilisierende Effekt der technischen Beschneigung, wie bereits in Abbildungen 5 und 6 gezeigt. Stabilisierend heißt: deutlich geringere Schwankungen und eine Anhebung des Niveaus.

Im Höhenbereich um 2000 m ändert sich ein Skigebietswinter der sich aus Naturschnee und technischem

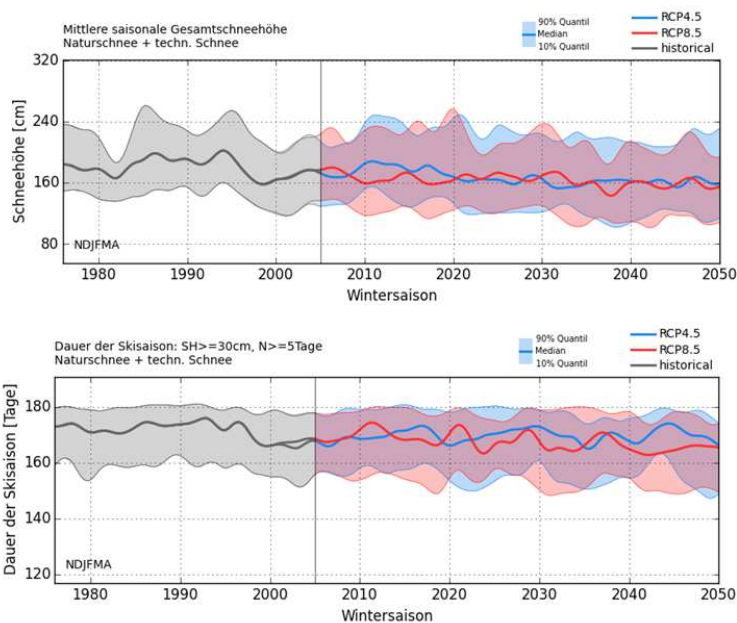
Schnee (mit der derzeit vorhandenen Beschneigungstechnologie) bis 2050 nicht (Abbildung 15).

Auch im Höhenbereich 1600 bis 1800 m bleibt der aktuelle Skigebietswinter im Wesentlichen erhalten, allerdings mit einer leichten mittleren Abnahme der Schneehöhen bzw. Zunahmen von negativen Ausreißern ab 2030/2040. Hier manifestiert sich offenbar eine Abnahme an potenziellen Beschneigungsstunden im Frühwinter. (Abbildung 16)

Ähnlich ist das Bild im Höhenbereich 1200 bis 1300 m (Abbildung 17), nur das Ausgangsniveau ist etwas niedriger. Die mittlere Skisaisonlänge im Höhenbereich 1200 bis 1300 m beträgt 150 Tage.

In Talstationsnähe, im Höhenbereich um 1000 m, gehen in den kommenden 35 Jahren die mittleren Gesamtschneehöhe und die Skigebietslänge langsam zurück. Im Jahr 2050 würde im Mittel der aktuelle Skigebietsbetrieb mit der Beschneigungstechnologie von heute auf 100 Tage Skibetrieb kommen. Ein möglicher Ausreißer nach unten (10 % Perzentil) würde auf 60 bis 70 Tage Skibetrieb kommen.

... in ca. 2000 bis 2100 m



Bis 2005: Historischer Modelllauf
Ab 2006: Klimaszenarien

Hohe Bandbreite des
Klimamodell-Ensembles (13
Modelle)

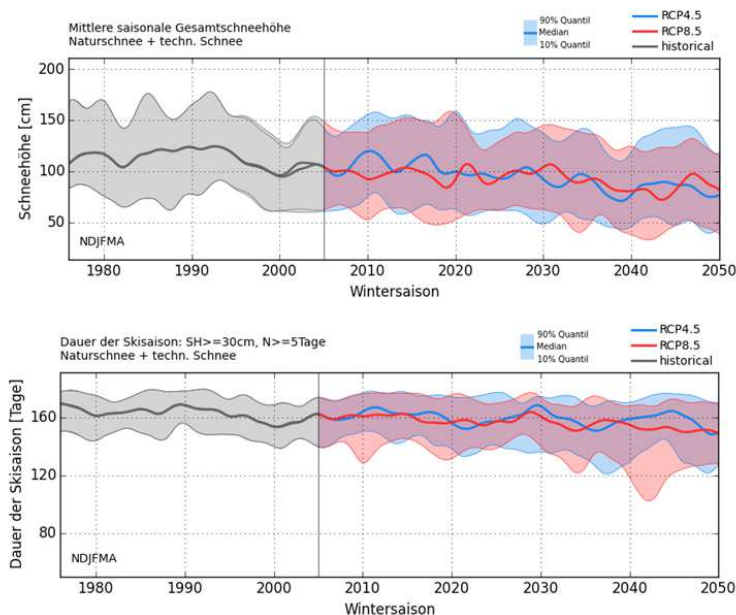
Dargestellt sind Ensemble-
Median, 10% und 90% Perzentile

**In 2000 m: nimmt leicht ab,
Winter bleibt im Wesentlichen
aber in der „jetzigen“ Form
erhalten bis 2050**

**Skisaisonlänge 2050: im Mittel
165 Tage (150 bis 175 Tage)**

Abb. 15: Entwicklung „Naturschnee plus technischer Schnee“ bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 2000 bis 2100 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

... in ca. 1600 bis 1800 m



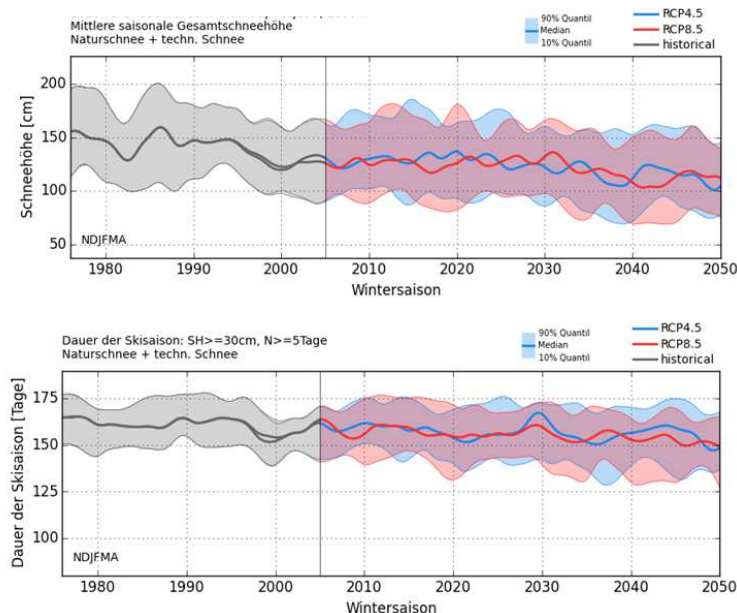
In 1800 m: nimmt ab ca. 2030 leicht ab, Winter bleibt im Wesentlichen aber in der „jetzigen“ Form erhalten vor allem in Bezug auf die Skisaisonlänge

Ausreißer nach unten nehmen ab 2030/2040 zu

Skisaisonlänge 2050: im Mittel 155 Tage (125 bis 170 Tage)

Abb. 16: Entwicklung „Natschnee plus technischer Schnee“ bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1600 bis 1800 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

... in ca. 1200 bis 1300 m

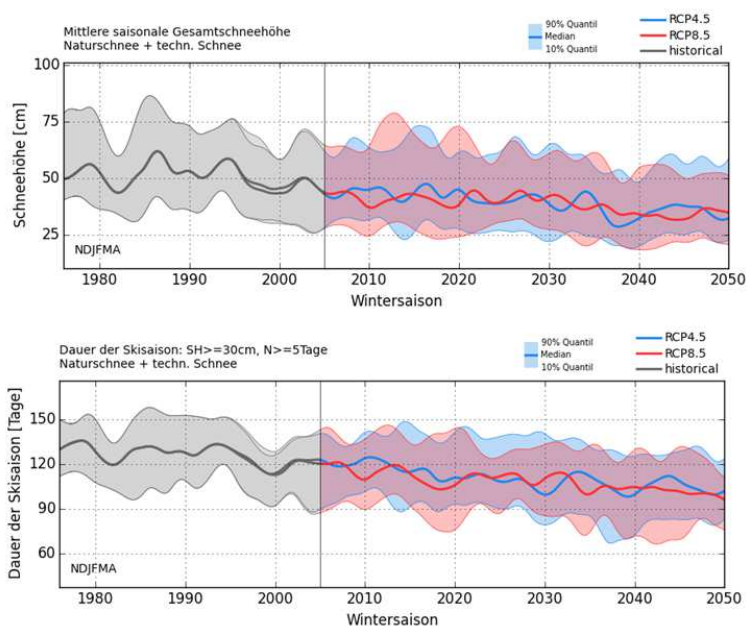


In 1200 m inkl. technischem Schnee (Technologie von heute): nimmt leicht ab, stärker ab 2030, in „Wellen“

Skisaisonlänge 2050: im Mittel um 150 Tage (125 bis 170 Tage)

Abb. 17: Entwicklung „Natschnee plus technischer Schnee“ bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1200 bis 1300 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

... in ca. 1000 m



**In 1000 m inkl. technischem
Schnee (Technologie von heute):
nimmt ab, in „Wellen“**

**Skisaisonlänge 2050: im
Mittel bei 100 Tagen
(80 bis 120 Tage)**

**Ausreißer nach unten
auf 60-70 Tage Skisaisonlänge
(10% Perzentile)**

Abb. 18: Entwicklung „Naturschnee plus technischer Schnee“ bis 2050, abgebildet durch die mittlere saisonale Gesamtschneehöhe und Saisonlänge in ca. 1000 m Seehöhe im Untersuchungsraum; Quelle: ZAMG

Zusammenfassung

Im vorliegenden Dokument werden allgemein gültige Aussagen zusammengefasst, die sich aus feinauflösenden Detailstudien dreier Skigebiete im Bundesland Salzburg ableiten lassen. Ziel der Detailstudien ist es, den Skigebieten eine sachliche und wissenschaftlich fundierte Planungsgrundlage zur Verfügung zu stellen. Dabei werden neue und innovative Methoden mit den aktuellsten Klimaprojektionen (ÖKS15) kombiniert.

Die Vergangenheit ab 1961

Die stärksten klimatischen Veränderungen gab es in den 1980ern und in den letzten 5 bis 8 Jahren

Der Naturschnee hat unter 1500 m abgenommen (um 30 %). In höheren Lagen um ca. 10 %.

Die potenziellen Beschneigungsstunden haben in tiefen und mittleren Höhen abgenommen (um 10 bis 30 %). In höheren Lagen blieben sie fast unverändert.

Die Dauer der Skisaison (inkl. techn. Schnee) hat in tiefen Lagen um ca. 10 % abgenommen.

Niederschlag, auch Starkschneefälle, Kalt- und Warmluftvorstöße haben sich nicht signifikant verändert.

Temperaturerhöhungen sind in der Vorsaison (November, Dezember) und vor allem in der Nachsaison (März, April) mess- und spürbar.

Zukunft bis 2050

Langsame Temperaturerhöhung. Im Kernwinter wahrscheinlich in Wellen, unabhängig vom Klimaszenario. Der Winter wird kürzer.

Der Niederschlag nimmt tendenziell zu.

Schneehöhe und Skisaisonlänge nehmen je nach Höhe unterschiedlich stark ab. In 1800/2000 m verkürzt sich die Saisonlänge (inkl. techn. Schnee) bis 2050 im Mittel leicht um -2%, in 1400/1600 m um -5%, in 900/1000 m um ca. -15%.

Die Beschneistunden im Frühwinter (1.11.-24.12.) werden in allen Höhenlagen signifikant um 35 bis 45 % ($T_f \leq -7^\circ$) abnehmen, bei gleichbleibender Technologie (um 20 bis 30 % bei $T_f \leq -3^\circ$). In tiefen Lagen sind die Auswirkungen in Zukunft spürbar, die Zeitfenster zum Beschneien werden kürzer. In mittleren Höhen und Höhen um 2000 m hat man trotz der signifikanten Abnahme im Mittel noch deutlich mehr Beschneigungsreserve.

Skigebietsbetrieb ist bis 2050 weiterhin möglich. In 1800/2000m ohne markanter Änderung zu heute. In Lagen unter 1300 m wird der technische Aufwand hingegen deutlich zunehmen, insbesondere in Bezug auf das Ausnutzen von Beschneigungszeiten im Frühwinter.