

Untersuchung der Schneesicherheit und der potenziellen Beschneigungszeiten in Schladming und Ramsau

Herbert Formayer, Michael Hofstätter, Patrick Haas



Endbericht
zum Projekt STRATEGE
Auftraggeber: Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung
im Rahmen des Forschungsprogramms ProVISION

Institut für Meteorologie (BOKU-Met)
Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien

September 2009

ISSN 1994-4179 (Print)
ISSN 1994-4187 (Online)

Herbert Formayer, Michael Hofstätter, Patrick Haas

**Untersuchung der Schneesicherheit und
der potenziellen Beschneiungszeiten in
Schladming und Ramsau**

Endbericht

zum Projekt STRATEGE

Auftraggeber: Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung
im Rahmen des Forschungsprogramms ProVISION

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Formayer, H., Hofstätter, M., Haas, P. (2009): Untersuchung der Schneesicherheit und der potenziellen Beschneigungszeiten in Schladming & Ramsau (Endbericht STRATEGE, Oktober 2007).

BOKU-Met Report 11, ISSN 1994-4179 (Print), ISSN 1994-4187 (Online). Verfügbar unter: http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_11_online.pdf

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Meteorologie, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich

URL: <http://met.boku.ac.at/>

STRATEGE

Endbericht

Untersuchung der Schneesicherheit und der Potenziellen Beschneiungszeiten in Schladming und Ramsau

HERBERT FORMAYER, MICHAEL HOFSTÄTTER, PATRICK HAAS

Universität für Bodenkultur
Institut für Meteorologie
Peter-Jordan-Str. 82, A-1190 Wien



OKTOBER 2007

Inhalt

1. EINLEITUNG	3
2. MOTIVATION UND PROJEKTZIEL	3
2.1. Geographie.....	3
2.2. Meteorologie.....	4
3. METHODIK.....	7
3.1. Allgemeines	7
3.2. Die Beobachtungsdaten	7
3.3. Das Schneemodell	8
3.4. Regionale Klimaszenarien.....	10
3.5. Der Wettergenerator	14
3.6. Berechnung der Beschneigungszeit auf Stundenbasis.....	15
3.7. Berechnungsablauf und Auswerteverfahren	18
4. ERGEBNISSE	21
4.1. Klimatische Differenzierung innerhalb des Skigebietes.....	21
4.2. Bereits beobachtete Klimaänderung	25
4.3. Auswirkungen der Klimaszenarien	27
4.4. Möglichkeiten der Beschneigungstechnologie	32
5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUßFOLGERUNGEN.....	36
6. DANKSAGUNG:.....	39
7. BIBLIOGRAPHIE	40
TABELLENVERZEICHNIS.....	41
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	42

1. EINLEITUNG

Die in diesen Bericht dargestellten Ergebnisse sind Teil des inter- und transdisziplinären Forschungsprojektes STRATEGE „Strategien zur nachhaltigen Raumentwicklung von Tourismusregionen unter dem Einfluss der globalen Erwärmung am Beispiel der Wintersportregion um Schladming“. Hierbei soll in einem interdisziplinären Ansatz durch die Klimaforschung, Raumforschung, Empirische Sozialforschung und die Freizeit- und Tourismusplanung eine Beurteilung der Sensitivität und Verletzlichkeit der Region Schladming bezüglich Klimawandel erarbeiten und anschließend mit den lokalen Akteurinnen und Akteuren diskutiert werden, um sinnvolle Strategien für die Region zu erarbeiten.

Dieser Bericht beinhaltet die disziplinären Arbeiten der Klimaforschung zu dieser Fragestellung. Dennoch fließen natürlich auch in diese Arbeit die zahlreichen Informationen aus den diversen Besprechungen mit den Partnern des Projektes mit ein.

Eine umfassende Darstellung des Gesamtprojektes kann auf der Projekthomepage eingesehen werden.

<http://www.klimawandel-wintersport.at/index.html>

2. MOTIVATION UND PROJEKTZIEL

Ziel des klimatischen Teils des Forschungsprojektes STRATEGE ist es eine quantitative Analyse der meteorologischen Rahmenbedingungen im Skigebiet Schladming - Planai hinsichtlich natürlicher Schneebedeckung und dem Potenzial an künstlicher Beschneigung durch zu führen. Hierbei soll neben dem Istzustand auch eine Analyse des bereits beobachteten Klimawandels in der Region erstellt werden und Aussagen über die mögliche Entwicklung der meteorologischen Rahmenbedingungen innerhalb der nächsten 20 bis 50 Jahr abgeleitet werden.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Abschätzung der Verletzlichkeit des Wintertourismus in dieser Region gegenüber dem Klimawandel und dienen als Basis für die Erarbeitung von Gegenstrategien.

2.1. GEOGRAPHIE

Das Untersuchungsgebiet Ramsau / Schladming - Planai, liegt am oberen Eingang des Ennstals in der Region Dachstein / Hohe Tauern. Das Tal weist eine Ost-West Orientierung auf und wird an dieser Stelle im Norden durch das Dachsteinmassiv (2995m) sowie im Süden durch die Schladminger Tauern (2863m) begrenzt. Beide Gebirgsstöcke beeinflussen in signifikanter Weise das lokale Wettergeschehen, wie z.B. Niederschlags- und Strahlungsverhältnisse. Zudem kommt es

durch den orographischen Einfluss des Tals auch zu veränderten Bedingungen im Temperaturregime vor allem in Höhenlagen unterhalb von 1300m.

2.2. METEOROLOGIE

Für Schladming und die Planai liegen kontinuierliche Messreihen des Hydrographischen Dienstes seit 1961 vor. An diesen Stationen, die sich auf 740 m und 1820 m Seehöhe befinden, werden auf täglicher Basis die Niederschlagsmenge sowie die Neuschneehöhe gemessen. Aus der Analyse der beiden Messstationen wurde eine mittlere jährliche Niederschlagssumme von 1013 mm in Schladming und 1115mm auf der Planai errechnet. Das Maximum im jährlichen Verlauf liegt im Sommer, in dieser Zeit fällt nahezu 40 % des Jahresniederschlags, der Rest teilt sich zu je 20 % auf die Winter-, Frühlings- und Herbstperiode auf. Beide Standorte sind sich in der Niederschlagscharakteristik sehr ähnlich.

Obwohl sich die Niederschlagssummen für den Winter von ca. 195 mm, an den beiden Stationen kaum voneinander unterscheiden, ist aufgrund der starken Höhenabhängigkeit der mittleren Lufttemperatur (Hydrologischer Atlas, Mohnl, Schöner 2004) eine vielfach größere Neuschneemenge (Abbildung 1) auf der Planai als im Tal in Schladming im Zeitraum 1961-1990 zu beobachten. Die Ursache dafür liegt, abgesehen von der höheren Windverfrachtung auf der Planai und der dadurch verursachten Unterschätzung der gemessenen Niederschlagsmenge bei Schneefall, zu einem Hauptteil in der deutlich geringeren Schneedichte.

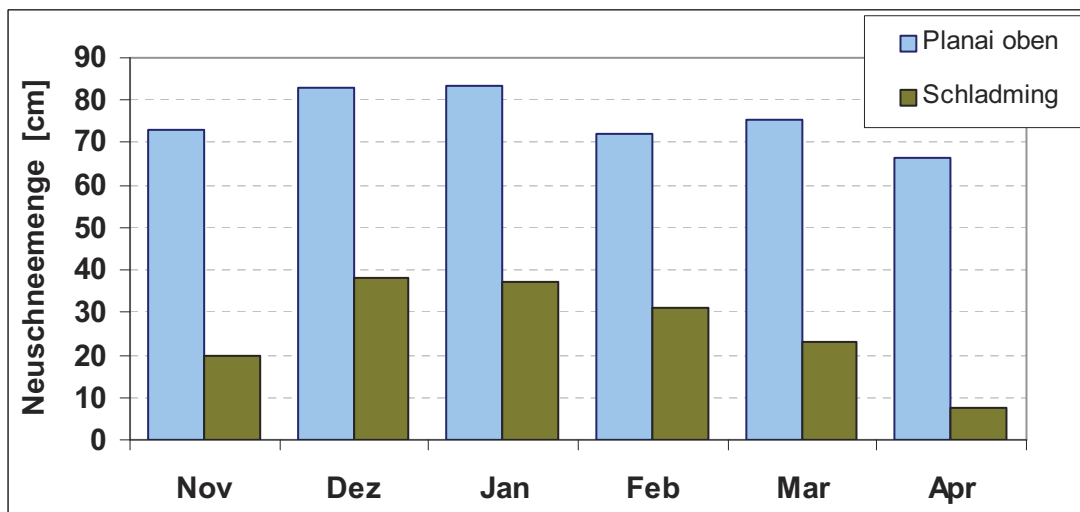


Abbildung 1: Mittlere Neuschneesumme 1961-1990 für Planai und Schladming in cm.

Tabelle 1: Anteil der monatlichen Neuschneesumme am Gesamtjahr, Planai & Schladming

	Neuschneesumme [cm]		Anteil am Gesamtjahr	
	Planai oben	Schladming	Planai oben	Schladming
Nov	73	20	13 %	12 %
Dez	83	38	15 %	24 %
Jan	83	37	15 %	23 %
Feb	72	31	13 %	19 %
Mar	75	23	14 %	14 %
Apr	66	8	12 %	5 %
Gesamtjahr	558	161	82 %	97 %

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der monatlichen Neuschneesummen sowie deren Anteil an der Jahressumme. Es zeigt sich dass die Neuschneemengen auf der Planai im monatlichen Verlauf viel gleichmäßiger verteilt sind, da der begrenzende Faktor hier mehr der Niederschlag ist, als die Temperatur. Durch die niedrigeren Tagesmitteltemperaturen ist der Anteil an festem Niederschlag folglich höher.

In Abbildung 2 werden die Minimumtemperaturen der Winterperiode (Dez, Jan, Feb), zwischen der Berg- und Talstation verglichen. Während es auf der Planai (2.1 °C) im Jahresmittel um ca. 6 Grad kühler als in Schladming (7.9 °C) ist, sind in den Wintermonaten kaum Unterschiede in den Minimumtemperaturen zwischen beiden Stationen erkennbar, obwohl der Höhenunterschied mehr als 1100 m beträgt.

Dieses Phänomen ist typisch für die winterlichen Temperaturverhältnisse in den Alpentälern, da sich in dieser Zeit vermehrt Inversionslagen bilden. Bei Inversionslagen liegt im Tal eine mehrere hunderte Meter dicke Luftschicht mit kalter Luft, teilweise bildet sich an deren Obergrenze eine Hochnebeldecke. Knapp oberhalb dieser Inversion sind im Hangprofil die höchsten Temperaturen zu beobachten, ehe sich weiter nach oben hin wieder eine feuchtadiabatische Temperaturabnahme von ca. 0.65 Grad/100m einstellt.

Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie eine räumliche Differenzierung in 3 verschiedenen Höhenlagen: Tal, Mittelstation und Gipfel vorgenommen, um fundierte Aussagen über die unterschiedlichen Schneesverhältnisse und Beschneigungsmöglichkeiten dieser Standorte tätigen zu können. Aufgrund der topologischen Verhältnisse im Talverlauf im Raume Schladming kann man davon ausgehen, dass die Mittelstation der Planaibahnen (1300 m) knapp oberhalb der klimatologischen Inversionsgrenze liegt.

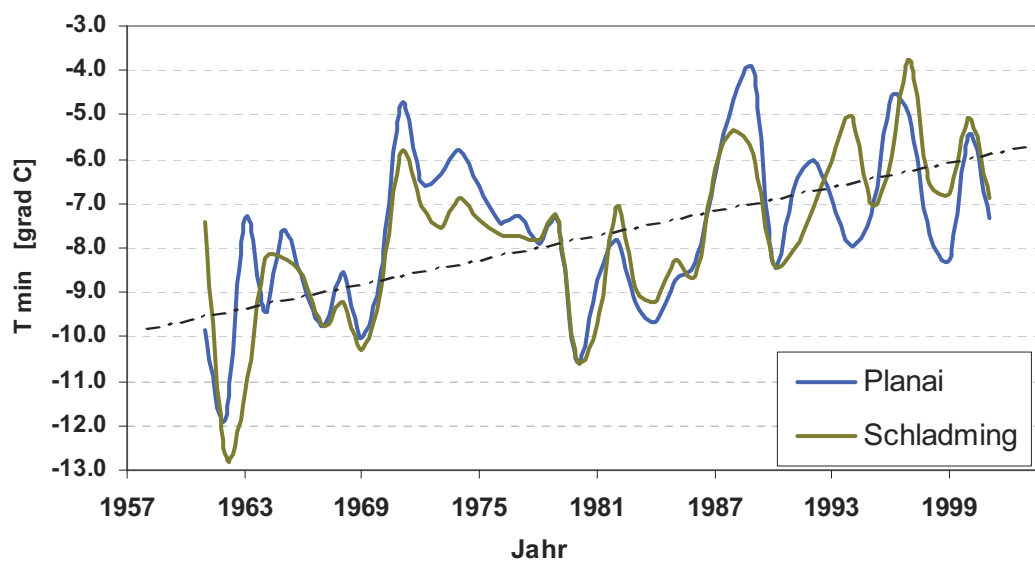


Abbildung 2: Wintermittel (DJF) der Minimumtemperatur für 1961-2002, Planai und Schladming

In Abbildung 2 ist des weiteren die besonders starke Änderung der Minimumtemperaturen im Winter (DJF) erkennbar, deren Anstieg mehr als 0.7 Grad pro Dekade in den letzten 40 Jahren in dieser Region betrug. Bemerkenswert ist, das im Frühwinter der Temperaturanstieg bedeutend geringer ist, bzw. im November überhaupt kein Temperaturanstieg in diesem Zeitraum beobachtet wurde. Diese Beobachtung ist von großer Bedeutung, wenn man bedenkt dass gerade die tiefen Temperaturen für die Einsatzzeiten von Geräten zur künstlichen Beschneigung sehr wichtig sind.

3. METHODIK

3.1. ALLGEMEINES

In der vorliegenden Studie wurden die klimatologischen Schneebedingungen und Temperaturverhältnisse in Hinblick auf Schneesicherheit und die Möglichkeit einer künstlichen Beschneigung untersucht.

Die Verhältnisse der Standorte Ramsau, Schladming, Planai-Mittelstation, und Planai-Bergstation wurden für die Vergangenheit (1961-1990, 1973-2002) untersucht und im Anschluss diese vorliegenden Stationsbeobachtungen durch statistisches Downscaling von REMO UBA-Klimaszenarien auch auf zukünftige Perioden projiziert (2006-2035, 2036-2065).

3.2. DIE BEOBACHTUNGSDATEN

Der verwendete Basisdatensatz der 4 Standorte, wurde unterschiedlich erstellt. In der Ramsau betreibt die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) eine automatische Wetterstation, an der alle notwendigen Parameter in 10 minütiger zeitlicher Auflösung gemessen werden. Lediglich die Schneehöhe wird nur einmal am Tag bestimmt. Aufgrund einer Verlegung der Station, konnten diese Daten jedoch erst seit 1991 verwendet werden, da ansonsten die Gefahr einer Inhomogenität bestand.

Im Gegensatz dazu gibt es im Bereich des Skigebiets Planai keine ZAMG Stationen, sondern lediglich 2 Niederschlags-Messstationen des hydrographischen Dienstes. Hier liegen seit zumindest 1961 Zeitreihen der täglichen Niederschlagsmenge und der Schneehöhe vor. Die Station auf der Bergstation der Planai verfügt ab 1998 auch über Temperaturmessungen. Für unseren vierten Untersuchungs-Standort, die Mittelstation (1300m), wurden die Niederschlagsmessungen der Planai Bergstation verwendet. Diese Annahme wird gerechtfertigt durch die Nähe der beiden Standorte und der in Punkt 2.2 angesprochenen, ähnlichen Niederschlagsklimatologie im Bereich der Planai.

Um eine repräsentative Zeitreihe der Temperatur für den Zeitraum 1961-2002 der Berg- und Mittelstation der Planai (1300m und 1950m) zu bekommen, wurden Monatsmittelwerte des vertikalen Temperaturgradienten für Temperaturminimum und Temperaturmaximum zwischen den ZAMG Stationen Ramsau (1203 m) und Krippenstein (2050 m) errechnet. Mit diesen konnte im Anschluss direkt ein Zusammenhang mit den gesuchten Standorten auf der Planai hergestellt und die notwendigen Temperaturreihen erstellt werden.

Für die Erstellung der Temperaturzeitreihe für Schladming wurden ebenfalls Monatsmittelwerte des vertikalen Temperaturgradienten für Temperaturminimum und Temperaturmaximum zwischen den ZAMG Stationen im Ennstal, Aigen (640 m) und Radstadt (850 m) verwendet.

Für die Ableitung des Modells für die Bestimmung der Beschneigungsstunden wurden die Stationen Gmunden und Feuerkogel der ZAMG verwendet, da diese über langjährige Temperaturzeit-

reihen auf Stundenbasis verfügen. Die Station Zell am See wurde zusätzlich verwendet, um die Bedingungen in einem engen Alpental zu Berücksichtigen.

3.3. DAS SCHNEEMODELL

Die Kenngrößen Temperatur und Niederschlag können direkt aus den lokalen Klimaänderungsszenarien übernommen und analog zu den historischen Beobachtungen ausgewertet werden, für Schnee ist dies jedoch nicht möglich, da es sich hierbei um eine kumulative Größe handelt. Regionale Klimamodelle berechnen zwar die Neuschneemenge, aber selbst mit der derzeit bestmöglichen Auflösung von 10km, kann die lokale Akkumulation und Schmelze des Schnees nicht mit ausreichend Qualität beschrieben werden. Für unsere Anwendung haben wir uns daher entschieden, die Schneedecke mit einem bestehenden Schneemodell selbst zu berechnen. Dadurch ist es uns möglich auf kleinräumige meteorologische Gegebenheiten Rücksicht zu nehmen und so fundierte Aussagen über die unterschiedlichen Verhältnisse von Schneehöhen und Schneedeckendauer zu tätigen. Weiters erlaubt eine explizite Schneemodellierung eine Einbeziehung der künstlichen Beschneigung.

Zur Modellierung des Schnees wurde das "Modular Modeling System" (USACE, 1998) ausgewählt. Das MMS wurde von George Lavesley (U.S. Geological Survey, University of Colorado at Boulder, george@snow.cr.usgs.gov) entwickelt und liegt in seiner entgültigen Version 1.1.7 vor (mehr Information findet sich z.B. unter <http://wwwbrr.cr.usgs.gov/mms/>). Das Modell wurde konzipiert um Abflussmengen aus Niederschlag und Schmelzwasser eines Einzugsgebiets zu bestimmen. Aufgrund seines modularen Aufbaus und der Verwendung der Sprachen C bzw. Fortran, ist es jedoch möglich, nur ausgewählte Komponenten zu verwenden und diese bei Bedarf auch selbst zu modifizieren. Eines dieser Kernmodule, das zur Berechnung der Schneeakkumulation und -schmelze dient, wurde von Martin Fuchs (Fuchs 1998) erweitert, und wird von uns in dieser Studie verwendet.

Dieses Schneemodell benötigt als Eingabedaten lediglich Temperatur und Niederschlag auf Tagesbasis und wurde in Österreich für hydrologische Fragestellungen bereits erfolgreich angewandt (Nachtnebel und Fuchs, 2000). Um lokale Gegebenheiten optimal zu erfassen, ist das Modell separat für jeden der 3 Standorte an denen Schneebeobachtungen vorlagen (Ramsau, Schladming, Planai), an die Beobachtungsreihen der Schneehöhe angepasst worden.

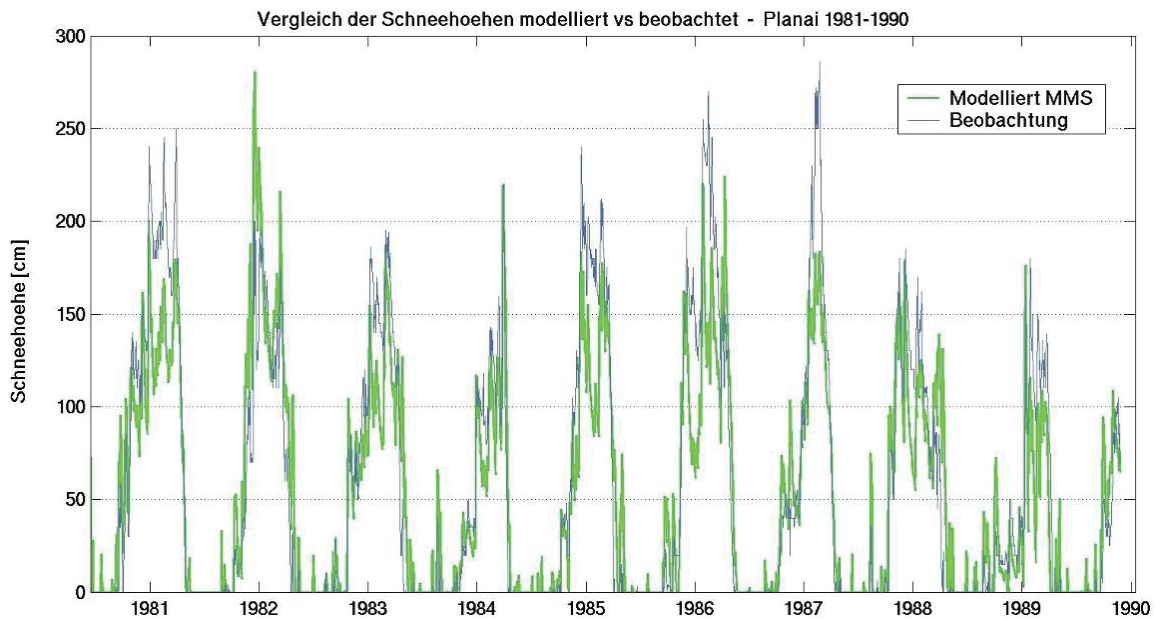


Abbildung 3: Vergleich der Schneehöhen modelliert vs. beobachtet – Planai 1981 - 1990

Abbildung 3 zeigt die Gegenüberstellung der Zeitreihen von beobachteter Schneehöhe und modellierter, für den ausgewählten Zeitraum 1981-1990 an der Bergstation der Planai (1820 m). Sowohl die Akkumulation von Neuschnee, als auch der Abschmelz- und Setzungsprozess werden vom Modell gut wiedergegeben.

Tabelle 2: Vergleich von Modell und Beobachtung bezüglich der Anzahl der Tage in der Winterperiode (Nov.-April) an denen eine bestimmte Schneehöhe erreicht oder überschritten wurde

SCHLADMING	APER	> 5cm	> 20 cm	> 30 cm	> 50 cm	> 75 cm	> 100 cm
Beobachtung	79.2	92.1	55.2	36.4	11.4	0.6	0.0
Modellierung	59.4	99.2	55.0	30.7	7.1	0.5	0.1

Die Anzahl der Tage in der Winterperiode (1.11.-30.4., 181 Tage), an denen eine bestimmte Schneehöhe erreicht oder überschritten wurde, ist in Tabelle 2 exemplarisch für Schladming dargestellt. Es zeigt sich auch hier eine gute Übereinstimmung der Beobachtung mit dem Modell, wenn auch die Anzahl der aperen Tage vom Modell unterschätzt wird. In Schladming ist offensichtlich die Anzahl der Tage groß, an denen einige wenige cm Neuschnee auf aperen Boden fallen und liegen bleiben. Dass Schneemodell unterschätzt die Dauer dieser dünnen Schneedecke systematisch.

Da in dem Schneemodell auch an Tagen ohne Schneedecke die „potenzielle Schmelzmenge“ berechnet wird, kann das Schneemodell auch die künstliche Beschneigung mit berücksichtigen. Hierzu wird in einem ersten Schritt das Schneemodell mit T_{min}, T_{max} und Niederschlag betrieben, um die natürliche Schneedecke zu bestimmen. In einem zweiten Schritt wird für jeden Tag die Menge an Kunstschnee bestimmt (abhängig von der Anzahl an Beschneigungsstunden und der „Schlagkraft“ der Beschneiungsanlage) und die Summe aus Kunst- und Naturschnee berechnet.

3.4. REGIONALE KLIMASZENARIEN

Basis für die Erstellung der regionalen Klimaszenarien für die vier Standorte im Schigebiet bildet das globale, gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM5/MPI-OM vom Max Planck Institut für Meteorologie in Hamburg (Roeckner, 2005). Da jedoch globale Modelle aufgrund ihrer groben räumlichen Auflösung die Bedingungen innerhalb des Alpenraumes nicht auflösen können, wurden die dynamisch regionalisierten Klimaszenarien des regionalen Klimamodells REMO des Max Planck Institut für Meteorologie in Hamburg (Jacob, 2005) verwendet. Dieses REMO-UBA Szenarien liegen für den Kontrolllauf 1950-2000 (beobachtete Treibhausgaskonzentration) und die Szenarienläufe 2000-2100 für die verschiedenen IPCC SRES-Szenarien (B1, A1B, A2) vor.

Aber selbst die derzeit höchstauflösten regionalen Klimamodelle mit etwa 10 km Gitterpunktweite sind nicht in der Lage die inneralpinen Verhältnisse, und hier insbesondere die Niederschlagsverhältnisse mit einer Genauigkeit wieder zu geben, die eine direkte Verwendung der Modelldaten erlaubt. In Abbildung 4 ist eine Evaluierung einiger regionaler Klimamodelle für den Winterniederschlag im Alpenbogen dargestellt. Alle Modelle überschätzen den Winterniederschlag, wobei REMO-UBA mit etwa 65 % Überschätzung noch relativ gut abschneidet und ebenso überschätzen alle Modelle die Niederschlagshäufigkeit. Durch diese Überschätzung nahezu aller Niederschlagskennzahlen im Winter, kann natürlich von den Modellen auch keine realistische Schneeakkumulation erwartet werden.

Aufgrund der Qualität der Absolutwerte wird klar, dass auch von den regionalen Modellen nur die Änderungen der meteorologischen Größen unter Klimaänderungsbedingungen verwendet werden dürfen. Hierzu wird die Differenz zwischen Kontrolllauf und Szenarienlauf gebildet. Zwei Beispiele für solche Änderungen wie sie der REMO-UBA Datensatz liefert, sind in Abbildung 5 und 6 und zu sehen. Beide Bilder zeigen Ergebnisse des Modells für das A1B Szenario für Österreich.

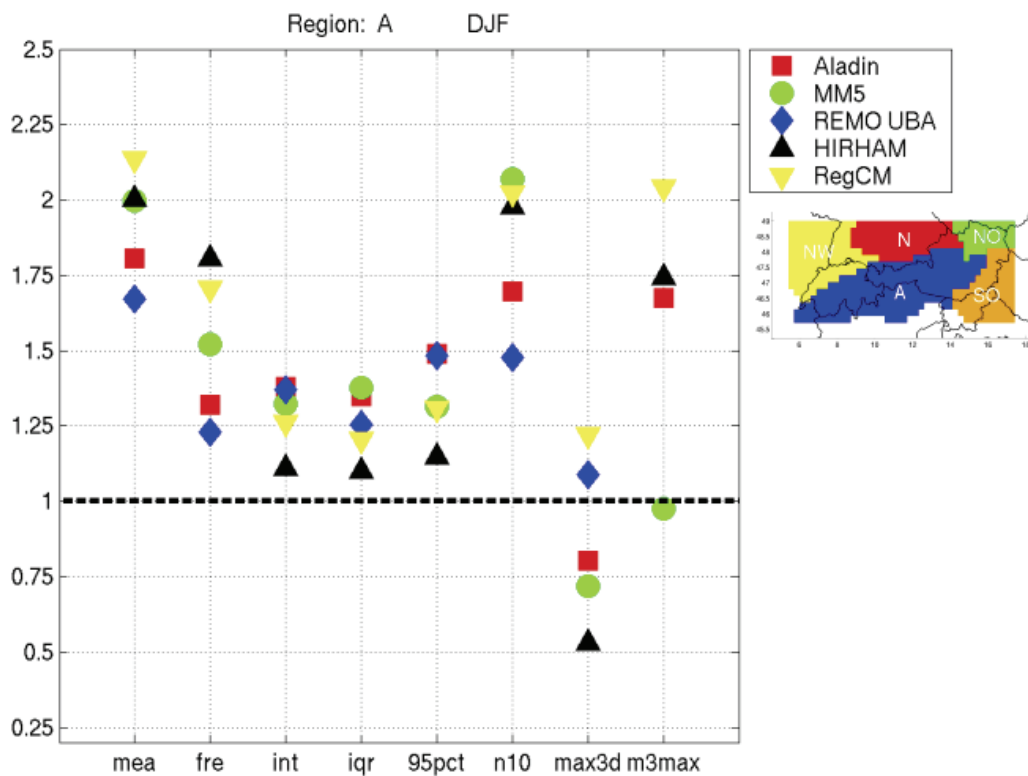


Abbildung 4: Niederschlagskennzahlen (Quotient Modell/Beobachtung) für den Winter im Alpenraum für verschiedene regionale Klimamodelle mit etwa 10 km Auflösung. Mea=Mittelwert, fre=Niederschlagshäufigkeit (> 1mm), int= Intensität, iqr=Interquantiläre Range, 95pct= 95 % Perzentile, n10= Anzahl an Tagen mit mehr als 10 mm Niederschlag, max3d=Maximaler Dreitagesniederschlag, Niederschlagssumme der 3 höchsten Gitterpunktniederschlagswerten.

Abbildung 5 zeigt die Änderung der durchschnittlichen Jahrestemperaturen der Periode 2020-2050 relativ zur Klimanormalperiode 1961-1990. Da die Temperatur räumlich relativ homogen ist, ergeben sich keine kleinräumigen Strukturen und wir sehen eine allgemeine Erwärmung am Alpennordrand von 1-1.5 Grad im Jahresmittel.

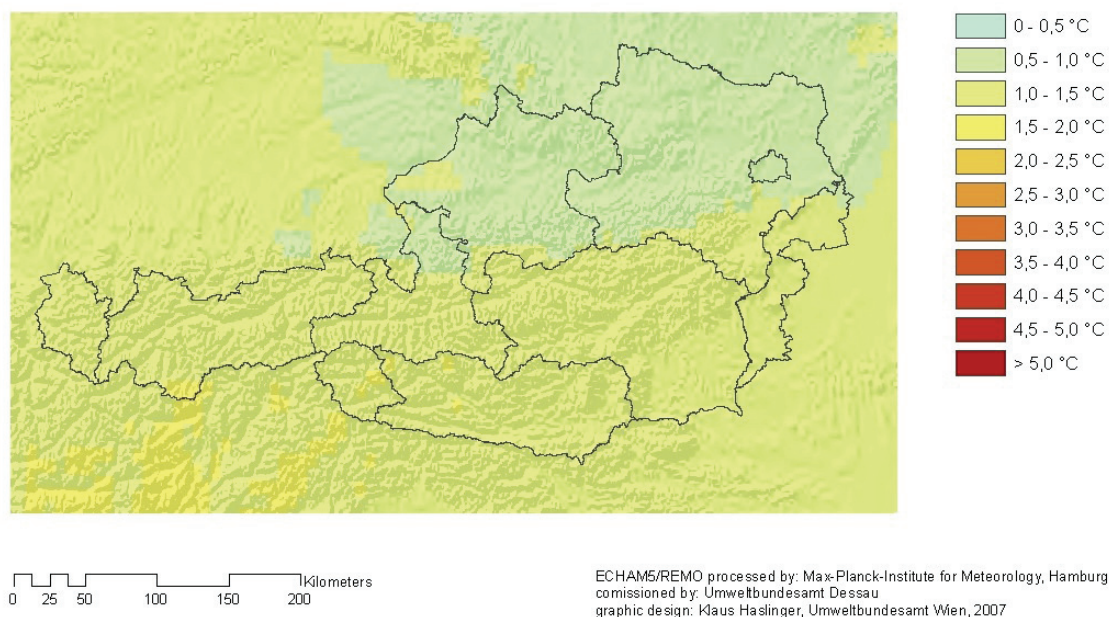


Abbildung 5: Änderung der Jahrestemperaturen zu 61/90, Mittel über 30 Jahre, Szenario A 1B

Abbildung 6 zeigt die Veränderung der durchschnittlichen Jahresniederschläge. Hier sind kleinräumige Strukturen erkennbar und im wesentlichen ist im Norden Österreichs eine Zunahme des Jahresniederschlags aus den REMO Daten zu erkennen. Um das Rauschen des Klimaänderungssignales zwischen einzelnen Gitterpunkten zu vermeiden, folgen wir der Empfehlung von Frau Jacobs, den Mittelwert von mehreren Gitterpunkten zu verwenden. Konkret haben wir 8 Gitterpunkte verwendet, die in der Modelltopographie südlich des Dachsteinmassives liegen.

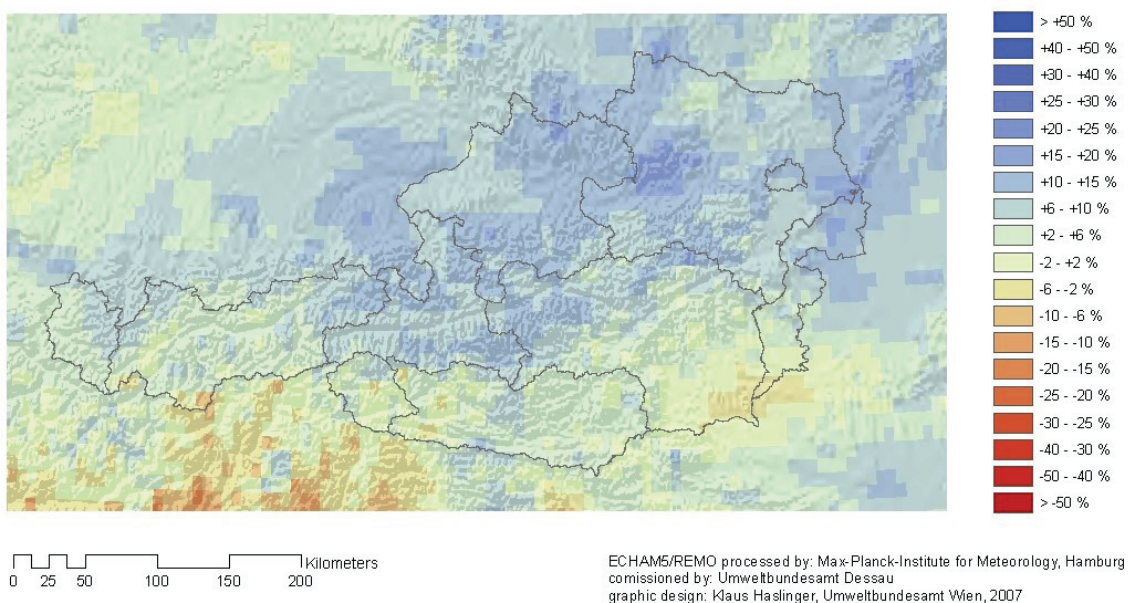


Abbildung 6: Änderung des Jahresniederschlags zu 61/90, Mittel über 30 Jahre, Szenario A 1B

Zur Bestimmung des lokalen Klimaänderungssignals von Temperatur und Niederschlag wird ein Wettergenerator (Lars WG, siehe auch nachfolgendes Kapitel) verwendet. Hierzu wird der Wettergenerator mit jeweils 30 jährigen Zeitscheiben (1961-1990, 1973-2002, 2006-2035, 2036-2065) mit den über 8 Gitterpunkte gemittelten täglichen REMO_UBA Daten für Temperaturminimum und -maximum und Niederschlag kalibriert und die Änderungen in den jeweiligen Statistiken der Zeitscheiben bestimmt. In Abbildung 7 sind die Ergebnisse für die 2 Zukunftsperioden und das von uns verwendete A1B Emissionsszenario dargestellt. Generell zeigen die REMO-UBA Szenarien einen klaren Jahrgang beim Klimasignal im Raume Schladming. Der Temperaturanstieg zeigt im Frühjahr und hier speziell im April ein Minimum, ja für den Zeitraum 2006-2035 zeigt sich sogar noch eine Abkühlung. Beim Niederschlag wiederum ergibt sich in den ersten vier Monaten eine Zunahme und in den Sommermonaten eher eine Abnahme.

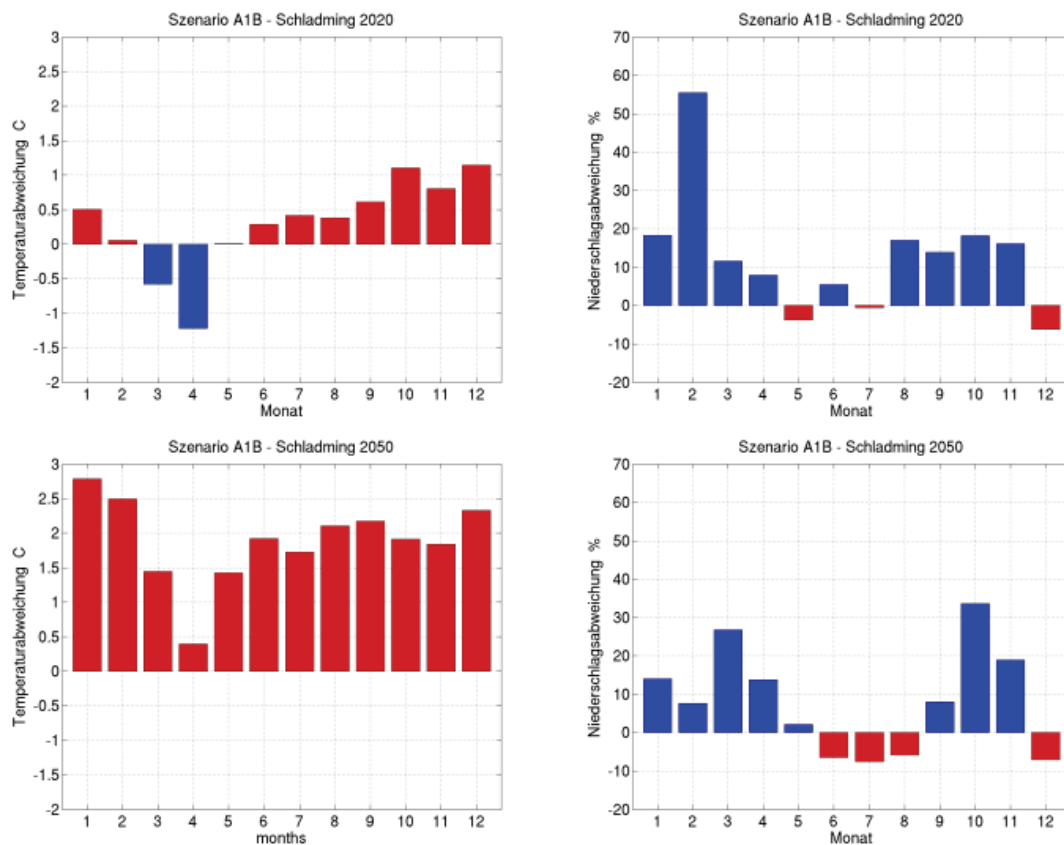


Abbildung 7: Klimaänderungssignal im Raume Schladming. Differenz zwischen den Perioden 2006-2035 „2020“ und 2036-2065 „2050“ gegenüber dem Zeitraum 1973-2002 REMO-UBA Szenario A 1B.

Die geringe Erwärmung in den ersten drei Dekaden des 21. Jahrhunderts und das kühle Frühjahr im Ostalpenraum scheinen eine Eigenschaft des globalen Modelles ECHAM5 zu sein und sollten

nicht überinterpretiert werden. In den ersten drei Dekaden ist die, durch den Anstieg der Treibhausgase verursachte Energiegewinn noch gering und daher der „Klimaantrieb“ noch klein verglichen mit den modellinternen dekadischen Schwankungen. Dennoch wurde das regionale Klimaänderungssignal in dieser Form für die weitere Analyse und die Schneemodellierung verwendet. Eine Abstützung der regionalen Szenarien durch die Verwendung eines zweiten Regionalen Klimamodells, jedoch mit einem anderen Globalen Klimamodell betrieben wäre wünschenswert, konnte aber im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt werden.

3.5. DER WETTERGENERATOR

Da aufgrund der Qualität der regionalen Klimamodelle nur das mittlere Änderungssignal verwendet werden kann, für die Modellierung des Schnees jedoch kontinuierliche Zeitreihen auf tagesbasis notwendig sind, werden diese Zeitreihen künstlich mit Hilfe eines Wettergenerators erzeugt.

Als Wettergenerator wurde der LARS-WG (Long Ashton Research Station Weather Generator (Semenov 1997)) ausgewählt und getestet. Ein Wettergenerator ist ein stochastisches Modell für die Generierung von synthetischen Wetterdaten, die der beobachteten Statistik entsprechen. Dies ist eine einfache und schnelle Methode um lange meteorologische Zeitreihen mit konstantem Klima zu erhalten. Anwendungen finden sich u.a. in Land- und Forstwirtschaftsmodellen, in der Hydrologie und allgemein in der Klimafolgenforschung.

In einem ersten Schritt berechnet der Wettergenerator aus einer vorliegenden Beobachtungs-Zeitreihe alle notwendigen statistischen Kenngrößen wie Mittelwerte, Standardabweichung und Häufigkeitsverteilungen, von Temperatur und Niederschlag, sowie die Andauer und Häufigkeit von Trocken- oder Regenperioden. Umgekehrt kann der Wettergenerator nur aus diesen Kennwerten, Zeitreihen der Temperatur und des Niederschlags berechnen, die abgesehen von stochastischen Limitierungen, genau die statistischen Kenngrößen der Beobachtung reproduzieren.

Die für jeden Standort (Ramsau, Schladming, Planai, Mittelstation) ermittelte Statistik des beobachteten Wetters, dient im weiteren als Grundlage zur Berechnung der Zeitreihen von Temperatur und Niederschlag für verschiedene zukünftige Klima-Szenarien.

Als ein Beispiel aus der Validierung des LARS-WG ist in Abbildung 8 ein Vergleich der Häufigkeitsverteilungen von Beobachtungsdaten und Daten generiert mit LARS-WG zu sehen. Die Ergebnisse zeigen den Winterniederschlag in Schladming und stimmen sehr gut überein.

Zur Erstellung der regionalen Klimaszenarien auf Tagesbasis, wird dem für die jeweilige Station im Skigebiet kalibrierte Wettergenerator das Klimaänderungssignal für die jeweilige Periode (sowohl mittlere Änderungen, als auch Änderung der Variabilität) mitgeteilt und Zeitreihen für das neue Regionalklima erstellt. Für jede der vier betrachteten Zeitscheiben mit je 30 Jahren wurden synthetische Zeitreihen mit 200 Jahren Länge erstellt. Dies erlaubt eine stabilere statistische Auswertung für Ereignisse die selten Vorkommen. Unsere Auswertung erfolgte in erster Linie für die 80er und 95er Perzentile, was Ereignissen mit einer Wiederkehrswahrscheinlichkeit von 5 bzw. 20 Jahren entspricht.

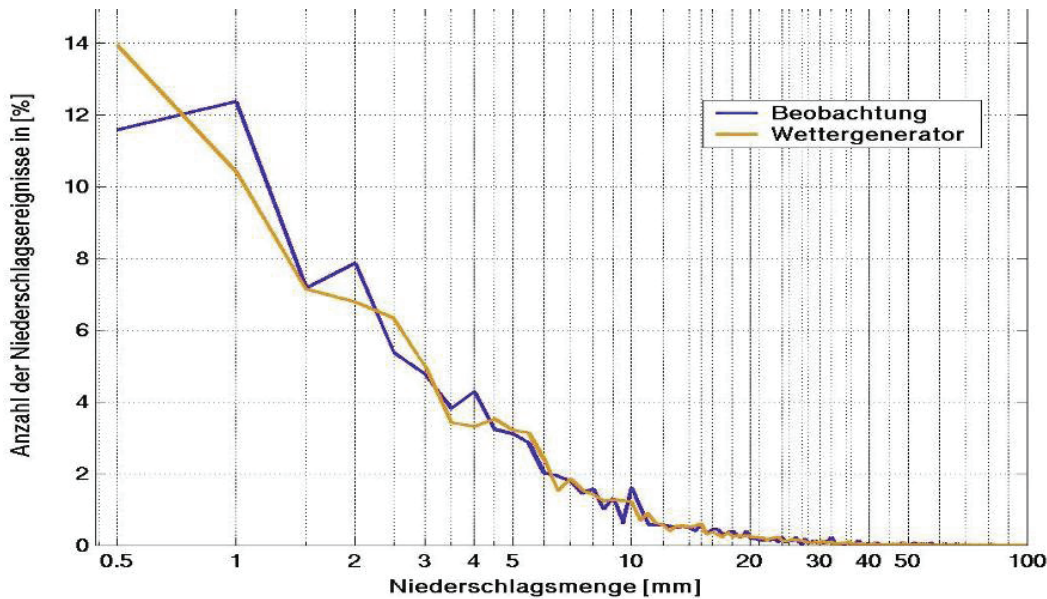


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung des Winterniederschlags (Nov.-April) - Schladming 61/90

3.6. BERECHNUNG DER BESCHNEIUNGSZEIT AUF STUNDENBASIS

Bisherige Arbeiten bezüglich Schneesicherheit in Skigebieten beziehen sich ausschließlich auf die natürliche Schneedecke wie etwa die Studie der OECD (Abegg, 2006), oder arbeiten oft mit grob vereinfachten Klimakenngrößen wie den Tagesmitteltemperaturen und der Abschätzung von Beschneigungstagen (z.B. Steiger 2006), was mit den realen Beschneigungsmethoden in den Skigebieten sehr wenig zu tun hat. Um eine praxisnahe Bestimmung der Beschneigungszeiten zu erreichen, musste ein Modell entwickelt werden, das die Berechnung von Beschneigungsstunden nur aus Standardklimakenngrößen ermöglicht.

Theoretisch hängt es von der Feuchttemperatur ab, ob eine Beschneigung möglich ist oder nicht. Die Feuchttemperatur kann man mittels eines befeuchteten und ventilerten Thermometer messen, aber auch aus der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit berechnen. Praktisch kann bei einer Feuchttemperatur über 0 Grad nicht mehr beschneit werden, jedoch ist es schon ab einer Feuchttemperatur über -2 Grad nicht sehr sinnvoll, da die Schneequalität sehr schlecht ist (Vereisung), und große Schmelzverluste auftreten. Ein genauer Zusammenhang ist von Hofstätter in Abbildung 9 zusammengestellt worden (Hofstätter, 2007).

Aufgrund der bei uns im Winter typischen Luftfeuchteverhältnissen, kann man grob davon ausgehen, dass optimale Beschneigungsbedingungen nur bei Temperaturen unter -4°C vorherrschen und nur bei sehr trockenen Bedingungen mit Luftfeuchtigkeiten unter 45 % kann bei wärmeren Bedingungen beschneit werden. Diese Zusammenhänge erlauben es Schwellwerte für die optimalen Beschneigungsbedingungen allein anhand von Temperaturwerten abzuleiten. Ab -6°C ist man faktisch unabhängig von der Luftfeuchtigkeit, meistens geht es ab -4°C , und darüber nur unter trockenen Bedingungen.

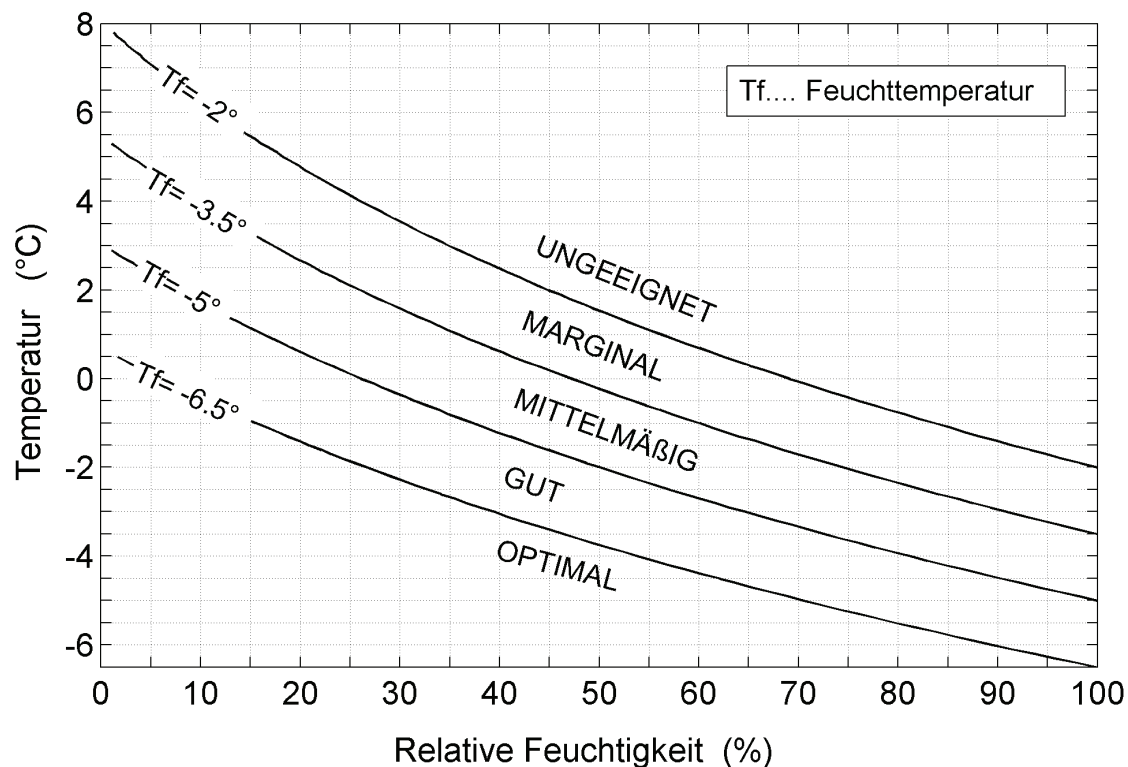


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Temperatur, relativer Feuchte und Feuchttemperatur (Tf) und die jeweilige Eignung für die künstliche Beschneuerung mit derzeitig Standardtechnologie.

Ziel der hier entwickelten Methode ist jene Zeit eines Tages zu ermitteln in der die Temperatur unterhalb eines gewissen Grenzwertes liegt und damit eine künstliche Beschneuerung möglich ist. Um diese Zeiten alleine aus Temperaturminimum und -maximum ableiten zu können ist es notwendig den zeitlichen Verlauf der Temperatur aus den stündlichen Beobachtungsdaten abzuleiten. Um nicht zeitliche Verschiebungen im täglichen Temperaturgang berücksichtigen zu müssen, werden zu Beginn die 24 stündlichen Werte (jeweils aus dem Zeitraum 14-13 Uhr MEZ) jedes einzelnen Tages in ansteigender Reihenfolge sortiert. Die Auswahl dieses Zeitfensters ermöglicht das Auswerten zusammenhängender Kälteepisoden die naturgemäß in den Nacht- und frühen Morgenstunden am wahrscheinlichsten auftreten. Danach erfolgt eine Normieren der stündlichen Temperaturen eines jeden einzelnen Tages um einen relativen Temperaturverlauf zu erhalten bei dem die Temperatur der Stunde 1 bei 0 startet und nach 24 Stunden beim Tageshöchstwert 1 endet:

$$T'_{nm} = (T_{nm} - T_{n1}) * (T_{n24} - T_{n1})^{-1}$$

wobei: T'_{nm} = Temperaturmatrix sortiert und normiert $\in (0,1)$
 T_{nm} = Temperaturmatrix sortiert
 n = Index für den Tag

$m =$ Index für die Stunde des Tages (0,24)

Anschließend wird auf Monatsbasis jede Stunde des Tages gemittelt. Der Verlauf dieses gereihten und normierten Tagesganges kann mittels Polynom 8ten Grades sehr genau geschätzt werden. Um die Unterschiede zwischen bewölkten und klaren Witterungsbedingungen zu berücksichtigen wurde noch zusätzlich zwischen Tagen mit starkem Tagesgang und solchen mit geringen Tagesgang unterschieden. In Abbildung 10 ist der Verlauf der Temperaturen für die Station Zell am See im Jänner dargestellt.

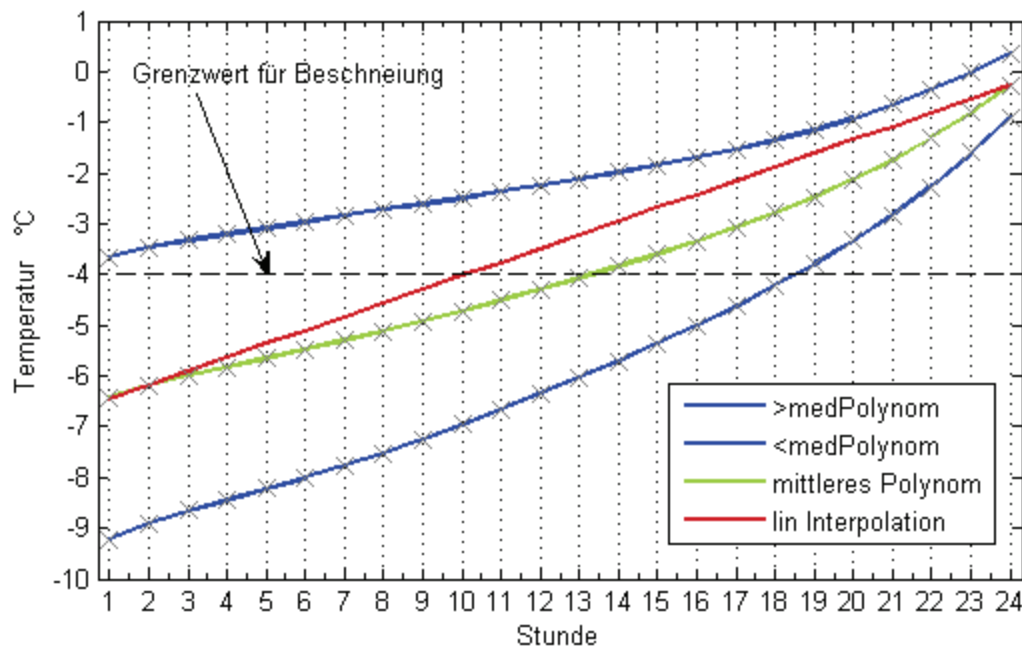


Abbildung 10: Monatsmittelwerte der gereihten stündlichen Temperatur für Jänner an der Station Zell am See. Dazu in Farbe die angepassten Polynome bzw. der Verlauf der linearen Interpolation. Strichliert: Möglicher Grenzwert für künstliche Beschneigung.

Durch die Anwendung des Polynoms auf das aktuelle Temperaturminimum und –maximum, kann für jeden Tag der gereichte Temperaturverlauf, und damit natürlich auch die Zeiten unter einem bestimmten Grenzwert bestimmt werden.

Eine Evaluierung des Modells zeigte eine gute Übereinstimmung zwischen aus Stundendaten berechnete und mittel Modell geschätzten Beschneigungsstunden. Die mittleren Absoluten Fehler liegen großteils unter 5 %. Ergebnisse für die Bergstation Feuerkogel und die Talstation Gmunden sind in Tabelle 3 zusammengestellt und in Abbildung 11 dargestellt. An der guten Übereinstimmung der Standardabweichung erkennt man, das nicht nur die mittleren Monatssummen gut getroffen werden, sondern auch die Variabilität von Tag zu Tag stimmt.

Tabelle 3: Evaluierung der Schätzung der Beschneigungsstunden an den Stationen Gmunden und Feuerkogel. (Jänner, Grenzwert -4°C)

Stationen	(1) R ²	(2) Mittel Obs	(3) Mittel Modell	(4) std Obs	(5) std Modell	(6) MAE
Feuerkogel	0.9972	211.8	209.3	144.6	146.4	8.2
Gmunden	0.9960	110.4	110.5	107.6	107.4	6.8

- 1: Korrelation zwischen den aus Stundendaten berechneten und den aus Temperaturminimum und -maximum geschätzten Beschneigungsstunden je Tag.
- 2: Mittlere Anzahl an Beschneigungsstunden berechnet aus Stundendaten
- 3: Mittlere Anzahl an Beschneigungsstunden geschätzt.
- 4: Standardabweichung der Beschneigungsstunden berechnet aus Stundendaten.
- 5: Standardabweichung der Beschneigungsstunden geschätzt.
- 6: Mittlerer absoluter Fehler.

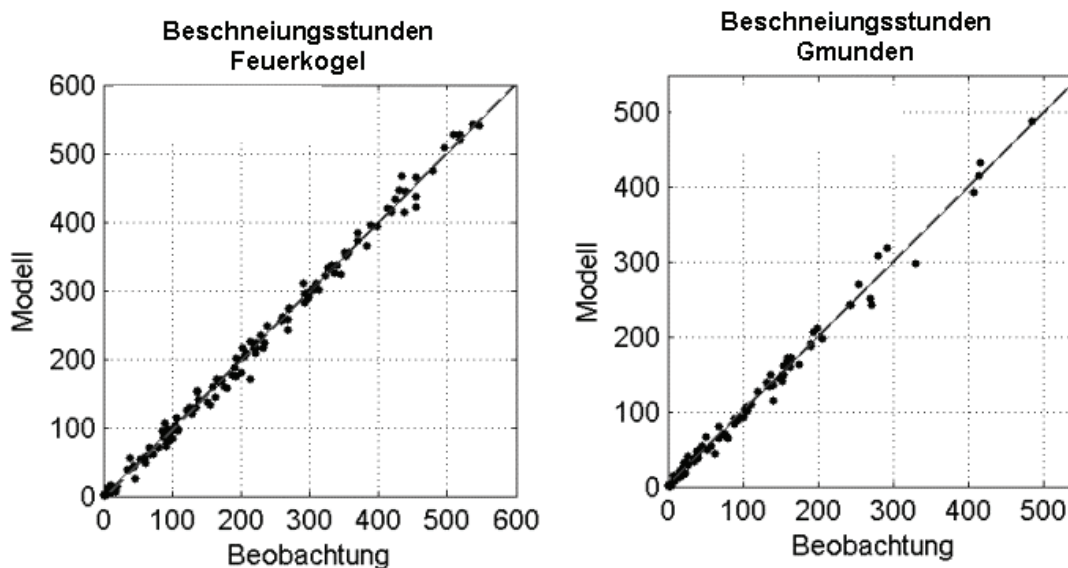
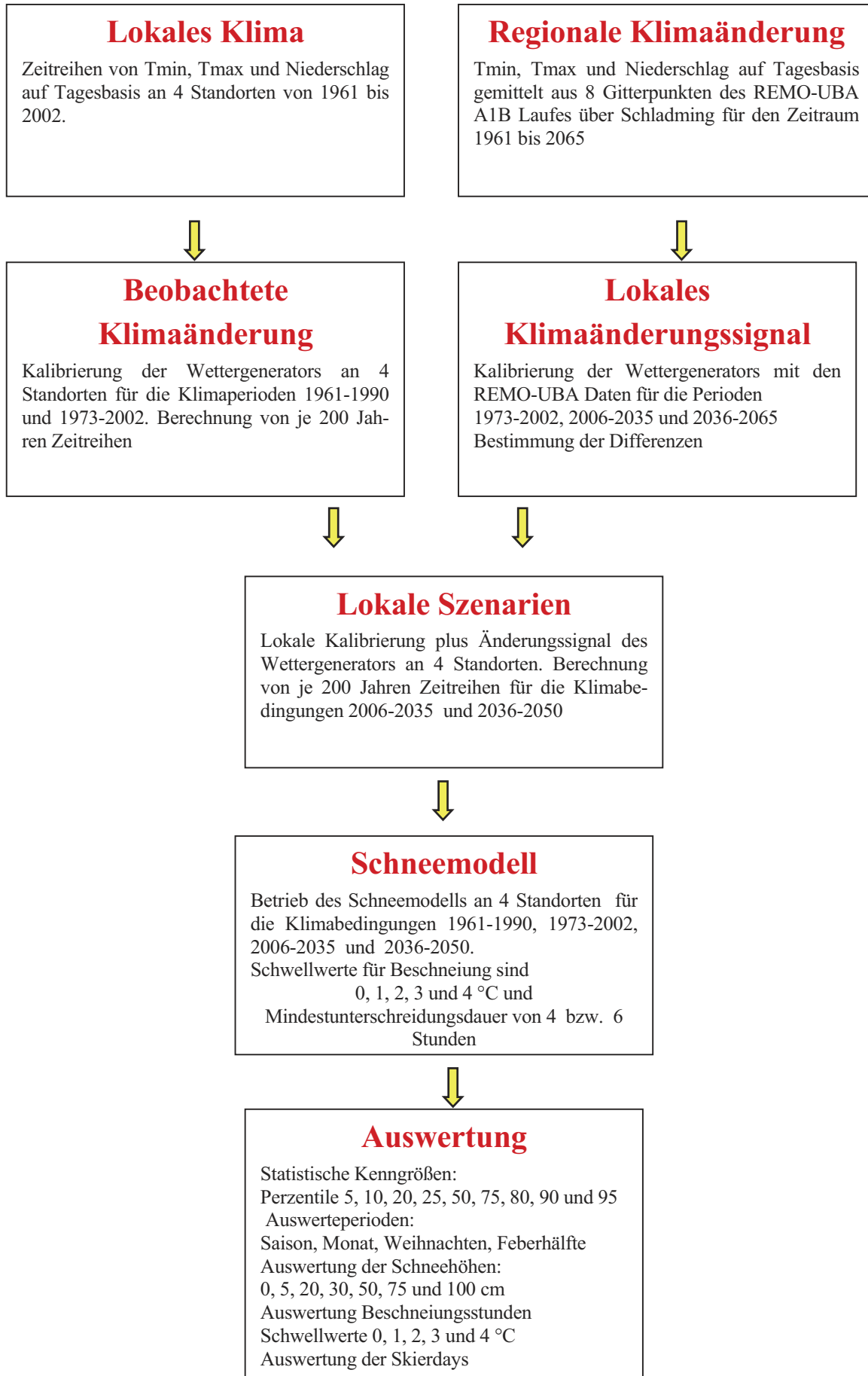


Abbildung 11: Berechnete und mittels Modell geschätzte Monatssummen der Beschneigung an den Stationen Feuerkogel und Gmunden im Jänner, für den Schwellwert -4°C .

3.7. BERECHNUNGSABLAUF UND AUSWERTEVERFAHREN

Die erarbeiteten Modellkomponenten erlauben eine Berechnung der Schneelage auf Tagesbasis für vier ausgesuchte Standorte innerhalb des Skigebietes unter Berücksichtigung der künstlichen Beschneigung. Der Ablauf der Arbeitsschritte ist auf der nächsten Seite schematisch dargestellt.



Durch die Informationen der Seilbahnen Schladming über die Schlagkraft der Beschneigungsanlagen im Winter 2006/2007, konnte zusätzlich zur Auswertung der Beschneigungsstunden auch Szenarien über die Schneehöhe auf den Pisten und damit auch Berechnungen der Skierdays erfolgen. Als Skierday ist definiert, wenn ein Skipassinhaber zumindest einmal mit der Seilbahn fährt. Ein Ausfall eines Skierdays ist damit gleichbedeutend mit zum Skifahren ungeeignete Bedingungen. Als Kriterium für einen Ausfall eines Skierdays verwenden wir starker Regen oder zu wenig Schnee auf der Piste, beides im Mittelstationsbereich.

Als starker Regen gelten Tage mit mehr als 5 mm Regen im Mittelstationsniveau. Als Grenzwert für den Schnee wurde ein Wasseräquivalent (WÄ) von 50 mm (Natur- und Kunstschnee) im Mittelstationsbereich angenommen. Bei geringerer Schneelage ist mit Problemen bei der Pistenpräparierung zu rechnen.

Zusätzliche Informationen von den Schladminger Seilbahnen bezüglich Beschneigung waren:

Die Grundbeschneigung mit ~ 30 cm Kunstschnee (150 mm WÄ) benötigt etwa 10 Tage. Daraus leiden wir eine mittlere Beschneigungskapazität von 0.5 mm WÄ pro Beschneigungsstunde ab. Die Beschneigung findet zwischen 1. November und 15. Februar immer statt sobald es von den Temperaturen geht, wobei bei sehr hoher Schneelage (> 250 mm WÄ) erst ab -6 °C beschneid wird. Derzeit wird eine Reaktionszeit von etwa 4 Stunden angesetzt, daher werden nur Beschneigungsstunden verwendet, wenn die Schwellwertunterschreidung länger als 4 Stunden ist.

Für die Auswertung der Schneelage, Beschneigungszeiten, Skierdays und Schmelzmengen wurde nicht das arithmetische Mittel, sondern die Perzentile verwendet, da nicht nur die mittleren Bedingungen günstig sein müssen, sondern in möglichst jedes Saison. Hierzu wurde eine Reihe von Perzentilen berechnet (siehe Ablaufschema), spezielle Aufmerksamkeit wurde aber den Werten 50, 80 und 95 gewidmet. Der Wert 50 entspricht dem Median. Bei diesem Wert liegt die Hälfte aller Werte darunter und die andere Hälfte darüber. Die 80er Perzentile wird sehr häufig für Risikountersuchungen verwendet. Diese entspricht einem Ereignis mit einer 5 jährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit. Derartige Ereignisse müssen verkräftet werden können, da sie doch recht häufig auftreten. Die 95er Perzentile entspricht einem 20 jährigen Ereignis. Derartig Ereignisse können schon als extrem bezeichnet werden, dennoch dürfen sie nicht außer Acht gelassen werden.

4. ERGEBNISSE

4.1. KLIMATISCHE DIFFERENZIERUNG INNERHALB DES SKIGEBIETES

Die natürliche Schneelage zeigt eine deutliche Seehöhenabhängigkeit. Eine Schneedecke von mindestens 30 cm, welche die OECD-Studie bezüglich Schneesicherheit verwendet hat (Abegg 2006), kommen im Ort Schladming im Mittel (Median) nur im Jänner und Februar (Abbildung 12) vor, im Mittelstationsbereich aber werden von Dezember bis März jeweils mehr als 24 Tage erreicht und an der Bergstation Planai erreicht jeder Tag von Dezember bis einschließlich April diesen Wert. Der Median für den ganzen Winter beträgt in Schladming nicht einmal 20 Tage, aber bereits im Mittelstationsbereich werden 120 Tage und auf der Planai sogar 160 Tage erreicht.

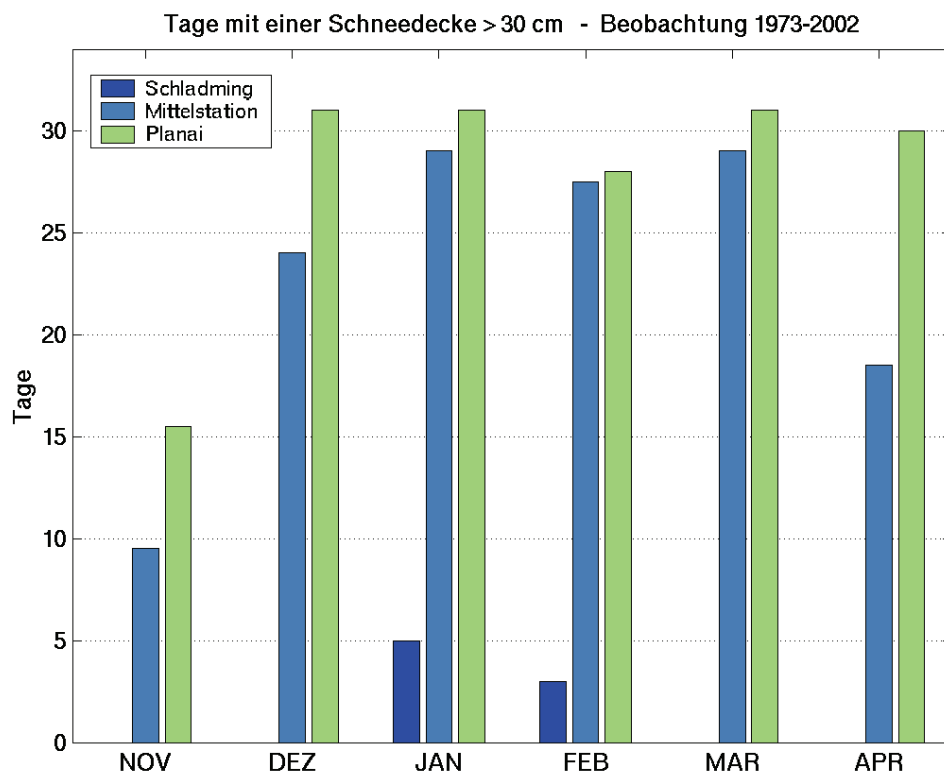


Abbildung 12: Mittlere Anzahl an Tagen (Median) mit einer natürlichen Schneedecke von mehr als 30 cm in den drei Höhenlagen.

Damit die Landschaft ein winterliches Erscheinungsbild bietet ist jedoch nur eine geringe Schneedecke notwendig. Bei den Tagen mit einer Schneedecke von mindestens 5 cm sieht es für Schladming unter den derzeitigen klimatischen Bedingungen noch recht gut aus. In den Wintermonaten Dezember bis Februar wird dieser Schwellwert auch im Tal an mehr als 20 Tagen überschritten. Von der Mittelstation aufwärts erreichen faktisch alle Tage der Monate Dezember bis März diesen Grenzwert (Abbildung 13).

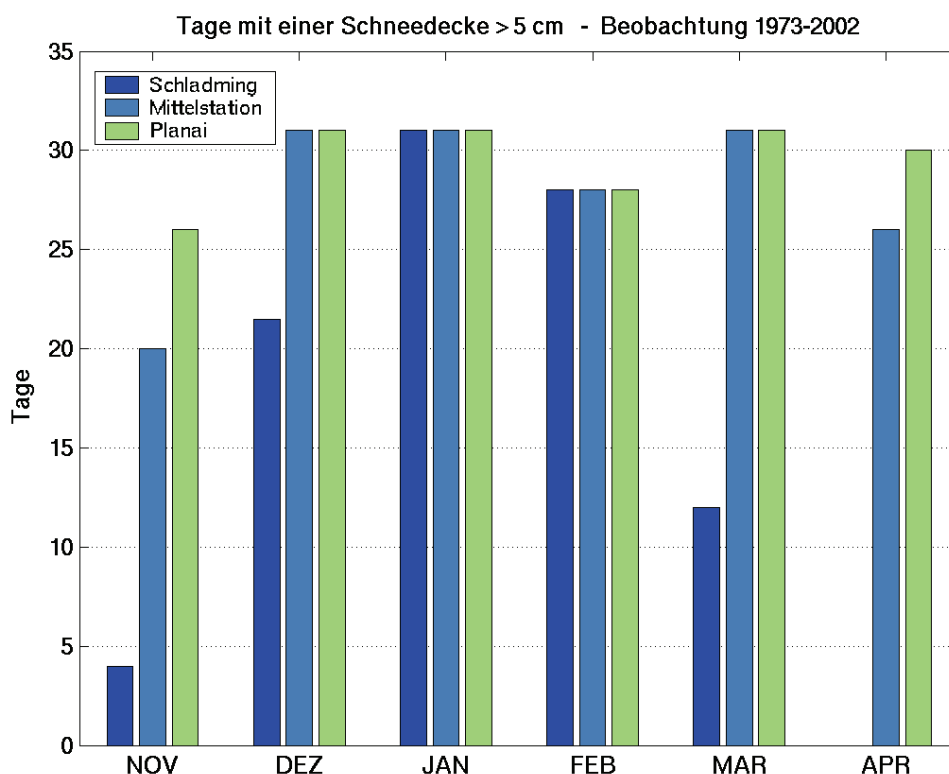


Abbildung 13: Mittlere Anzahl an Tagen (Median) mit einer natürlichen Schneedecke von mehr als 5 cm in den drei Höhenlagen.

Für den Wintertourismus sind aber nicht die mittleren Bedingungen relevant, da die Schneesicherheit möglichst jeden Winter gewährleistet werden soll. Daher spielt die interannuale Variabilität eine wesentliche Rolle. In Abbildung 14 ist in einer „Box and Whiskers“ Darstellung diese Variabilität der natürlichen Schneedecke von 30 cm dargestellt. Bei der „Box and Whiskers“ Darstellung befinden sich 50 Prozent aller Daten im Wertebereich der Box (Grenzen 25er bzw. 75er Perzentile), innerhalb der Querstriche 90 Prozent (Grenzen 5er bzw. 95er Perzentile), die Kreuze markieren die Extreme und die rote Linie markiert den Median. Zusätzlich wird das arithmetische Mittel als Zahl dazugeschrieben. Für Schladming ergibt sich, dass in der Hälfte aller Jahre weniger als 14 Tage vorkommen, an 5 Prozent aller Jahre werden die 30 cm gar nie erreicht, aber eben so oft gibt es mehr als 57 derartige Tage und das Maximum liegt über 70 Tage.

Bei der Mittelstation hingegen liegt der Median schon fast bei 70 Tagen und im Maximum werden an jeden Tag im Winter die 30 cm überschritten. Es hat aber zumindest auch ein Jahr gegeben, wo weniger als 20 Tage erreicht wurden. Auf der Planai sind die Bedingungen noch günstiger. Hier liegt der Median schon nahe bei 90 Tagen, aber selbst hier gab es ein Jahr mit nur knapp über 30 derartigen Tagen.

Diese hohe interannuale Variabilität zeigt, dass selbst in Gipfelbereich in Ausnahmejahren mit Mangel an Naturschnee gerechnet werden muss.

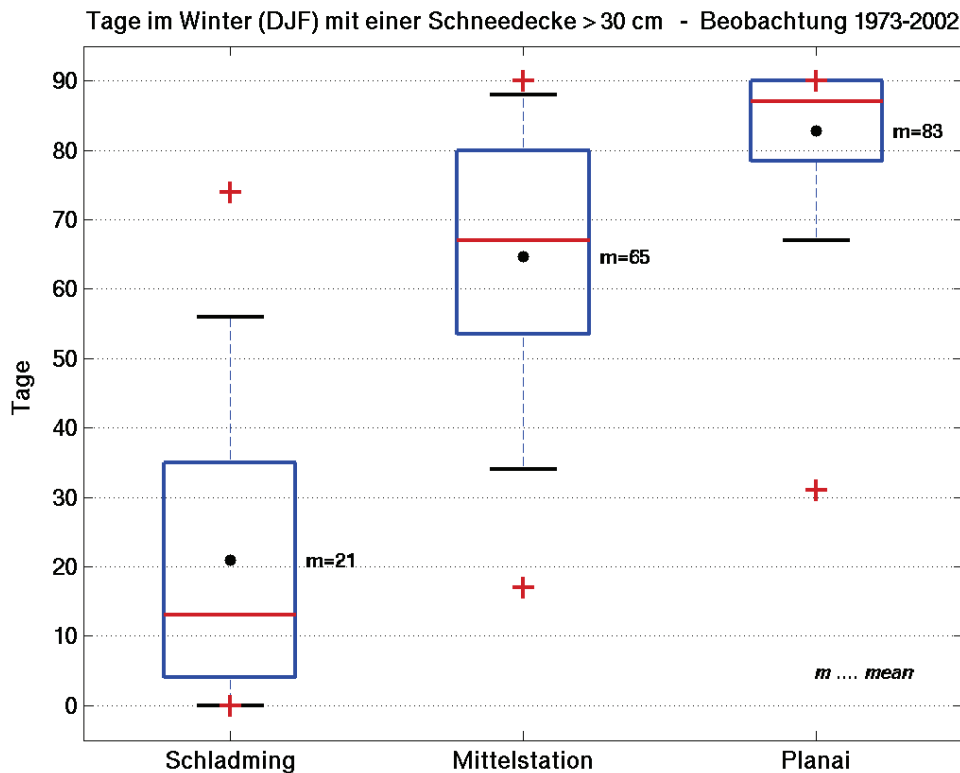


Abbildung 14: Anzahl an Tagen mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 30 cm in den drei Höhenlagen im Winter (Dezember, Januar und Februar).

Im Gegensatz zur natürlichen Schneelage zeigen die möglichen Beschneigungsstunden keine derart klare Seehöhenabhängigkeit. Dies liegt daran, dass bei Niederschlag meist eine gute Durchmischung und damit nahezu feuchtadiabatische Verhältnisse herrschen. Für die Beschneigungszeiten kommen aber auch die stabil geschichteten Hochdrucklagen in Frage und hier stellen sich in den Alpenen Tälern im Winter Inversionswetterlagen ein. In Abbildung 15 sind die mittleren Monatssummen an Beschneigungsstunden für den Schwellwert -4°C für die 3 Höhenstufen dargestellt. Es zeigt sich das im Talbereich von November bis Februar deutlich bessere Beschneivungsverhältnisse herrschen als im Mittelstationsbereich, der knapp über der klimatischen Inversionshöhe liegt. Erst im März kehren sich die Verhältnisse wieder um, da hier die wieder stärkere Einstrahlung zu einer besseren Durchmischung führt. In allen 3 Höhenlagen reichen die mittleren Beschneivungsverhältnisse jedoch leicht, um die notwendigen Beschneivungen durchführen zu können.

Neben den Beschneivungsstunden bestimmen die thermischen Verhältnisse aber auch die potenzielle Abschmelzung. Als Indikator für diese Abschmelzung haben wir die Temperaturstunden-summe bestimmt. Hierbei wird jede Stunde mit einer Temperatur größer als 0°C aufaddiert. Die Ergebnisse sind ähnlich wie bei den Beschneivungsstunden. Bis Februar sind die ungünstigsten Bedingungen im Mittelstationsniveau.

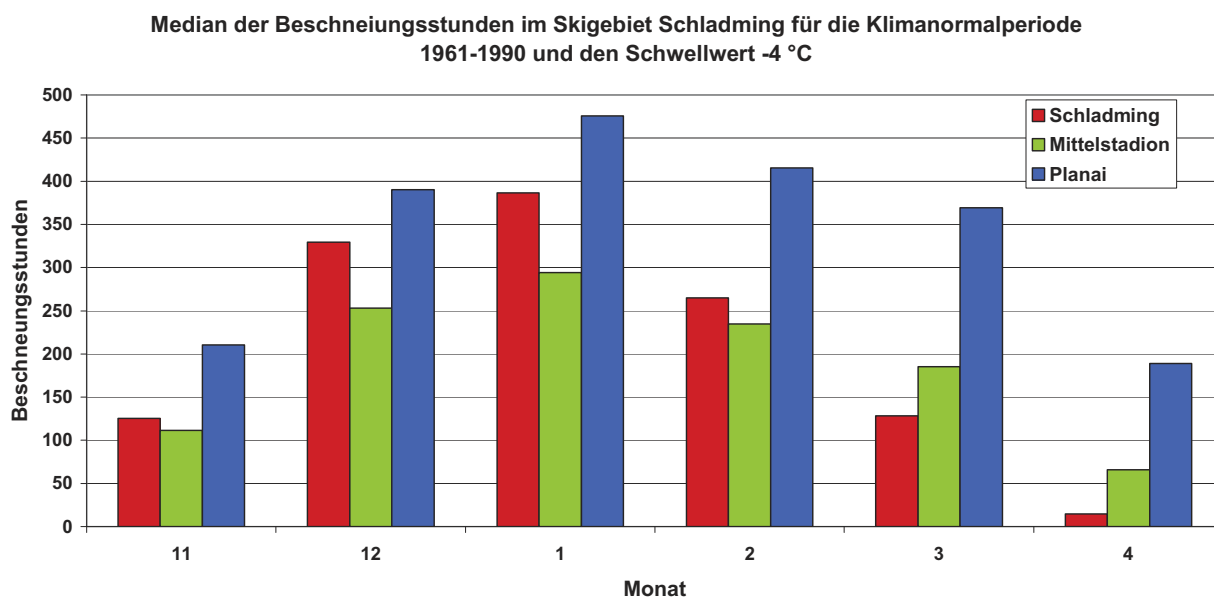


Abbildung 15: Median der Beschneigungsstunden (Schwellwert -4°C) in den drei Höhenlagen für die Klimanormalperiode 1961-1990.

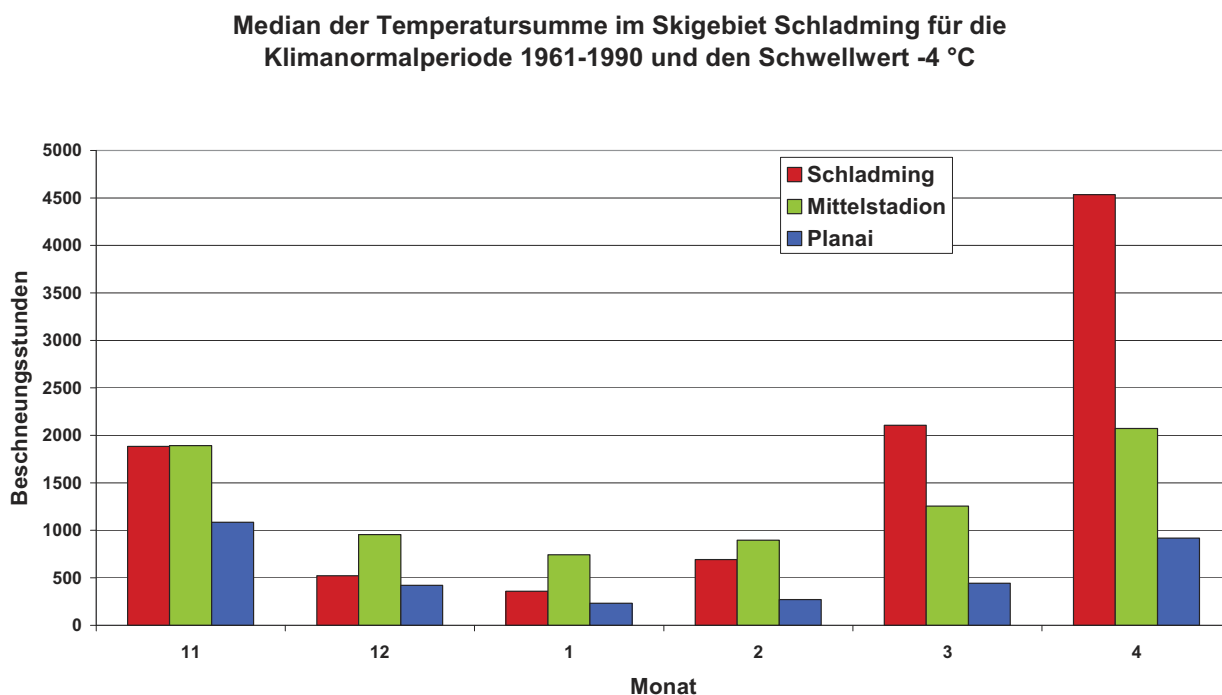


Abbildung 16: Median der Temperaturstundensumme ($T > 0^{\circ}\text{C}$) in den drei Höhenlagen für die Klimanormalperiode 1961-1990.

4.2. BEREITS BEOBACHTETE KLIMAÄNDERUNG

Für die Bestimmung des bereits beobachteten Klimawandels in der Region Schladming wurde der Klimanormalperiode 1961-1990 der Zeitraum 1973-2002 gegenüber gestellt. Der Zeitpunkt 2002 ergab sich aus den zur Verfügung stehenden Beobachtungsdaten. Zwar überlappen die beiden Zeiträume an 18 Jahren, dennoch war es uns wichtig jeweils 30 Jahre an Beobachtungsdaten zu verwenden, da ja auch der Wettergenerator mit diesen Daten kalibriert wurde.

In den Abbildungen 17 bis 19 sind die für die beiden Perioden berechneten mittleren Beschneigungszeiten an den drei Standorten für den Schwellwert -4°C dargestellt. In Schladming ergibt sich in allen Monaten eine Abnahme der Beschneigungsstunden, die im Dezember mit rund 60 Stunden am stärksten ausfällt. An den beiden höher gelegenen Standorten kommt es im November sogar zu einer Zunahme der Beschneigungsstunden. Dies widerspiegelt den geringen Temperaturtrend im Spätherbst in Österreich. An allen anderen Monaten nehmen jedoch die Beschneigungsstunden in der zweiten Periode ab, wobei die Abnahme im Jänner am Stärksten ist und auf der Planai besonders stark ausgeprägt ist.

Die relativ geringe Erwärmung im Frühwinter November und Dezember sind für die Beschneigung besonders günstig, da genau in diesem Zeitraum die Grundbeschneigung durchgeführt wird.

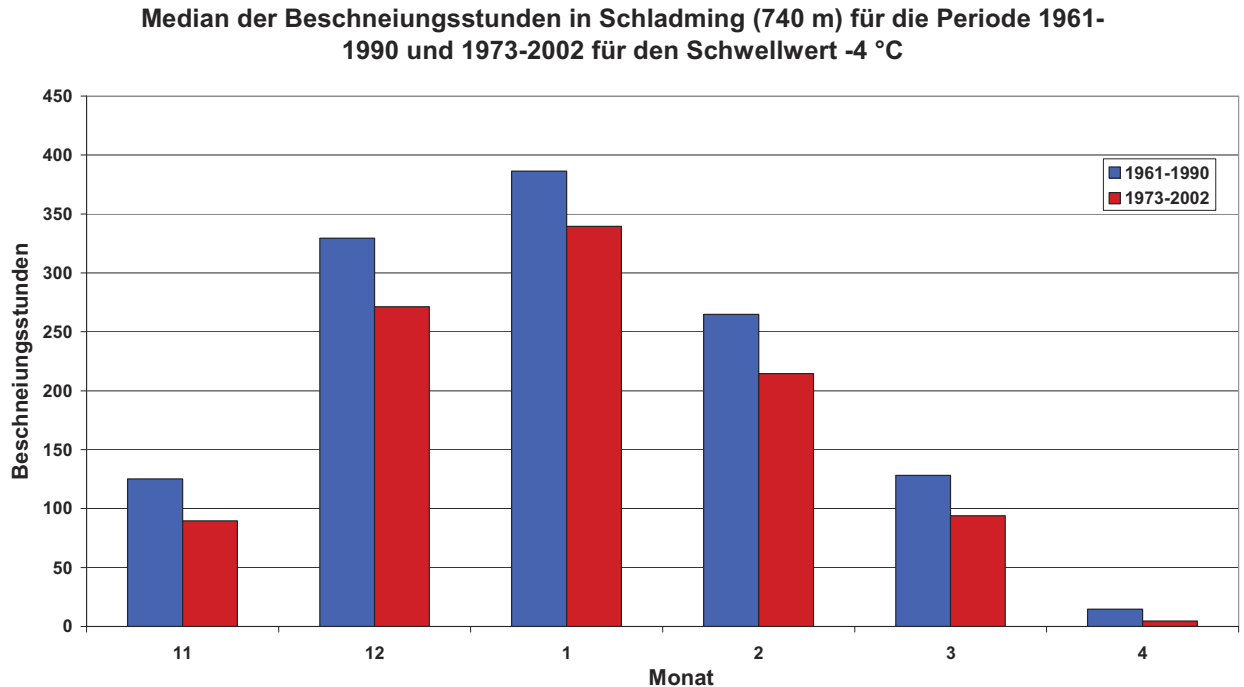


Abbildung 17: Median der Beschneigungsstunden in Schladming für die Klimanormalperiode 1961-1990 und den Zeitraum 1973-2002.

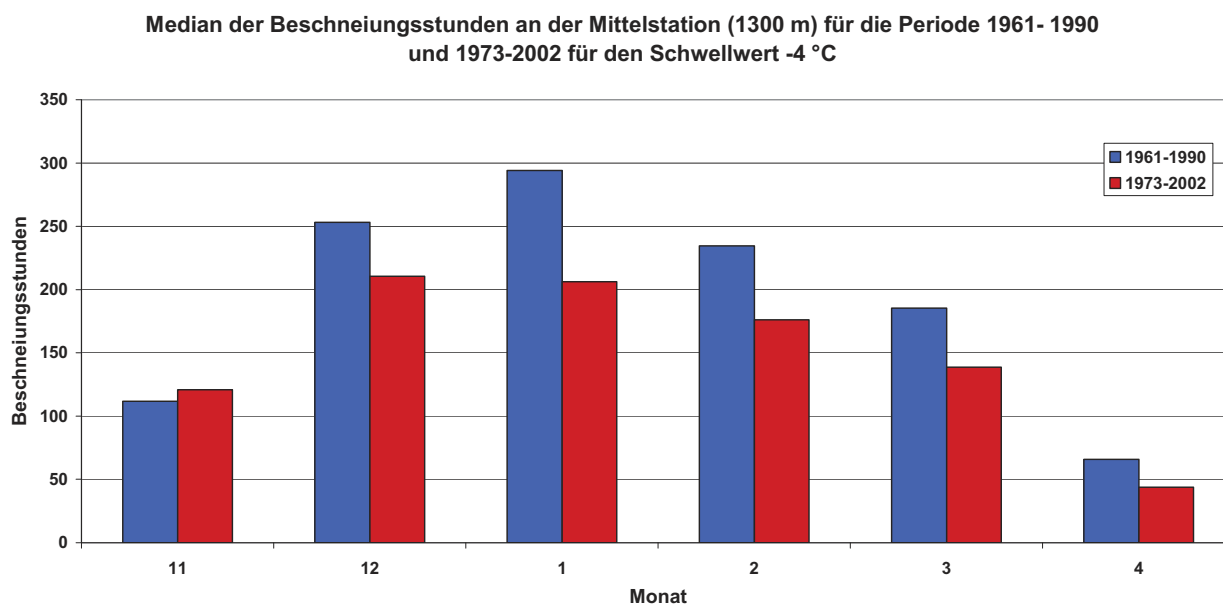


Abbildung 18: Median der Beschneigungsstunden im Mittelstationsbereich für die Klimanormalperiode 1961-1990 und den Zeitraum 1973-2002.

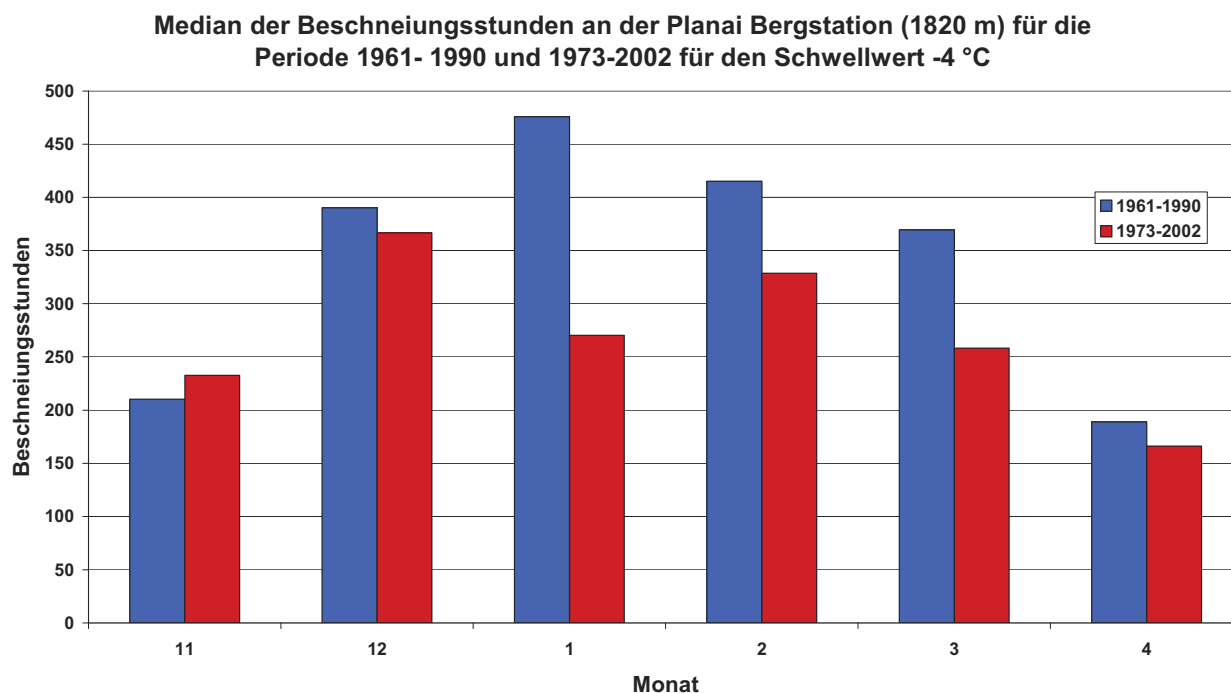


Abbildung 19: Median der Beschneigungsstunden auf der Planai-Bergstation für die Klimanormalperiode 1961-1990 und den Zeitraum 1973-2002.

4.3. AUSWIRKUNGEN DER KLIMASZENARIOEN

Die unterstellten lokalen Klimaszenarien wirken sich sowohl auf die natürliche Schneedecke, als auch auf das Potenzial für die künstliche Beschneigung aus. Speziell im Früh und Hochwinter führt die Erwärmung zu einer doch erheblichen Reduktion an Tagen mit einer Schneedecke von mindestens 30 cm vor allem im Mittelstationsbereich (siehe Abbildung 20). Diese nimmt bereits bis 2020 im Dezember und Jänner um je etwa eine Woche ab. Im Frühjahr ergibt sich für diese Periode hingegen sogar eine Zunahme, da ja im März und April hier eine Abkühlung und eine Niederschlagszunahme von den REMO_UBA Szenario vorgegeben ist. Für die Jahrhundertmitte ergibt sich natürlich in allen Monaten eine stärkere Abnahme als für 2020, auffallend ist jedoch das die stärkste Änderung im Februar auftritt und mehr als 2 Wochen beträgt. Aufgrund dieser starken Reduktion bereits bei den mittleren Jahren im Mittelstationsbereich kann man davon ausgehen, dass kein kontinuierlicher Schneedeckenaufbau über den Winter in dieser Höhenstufe mehr erfolgt.

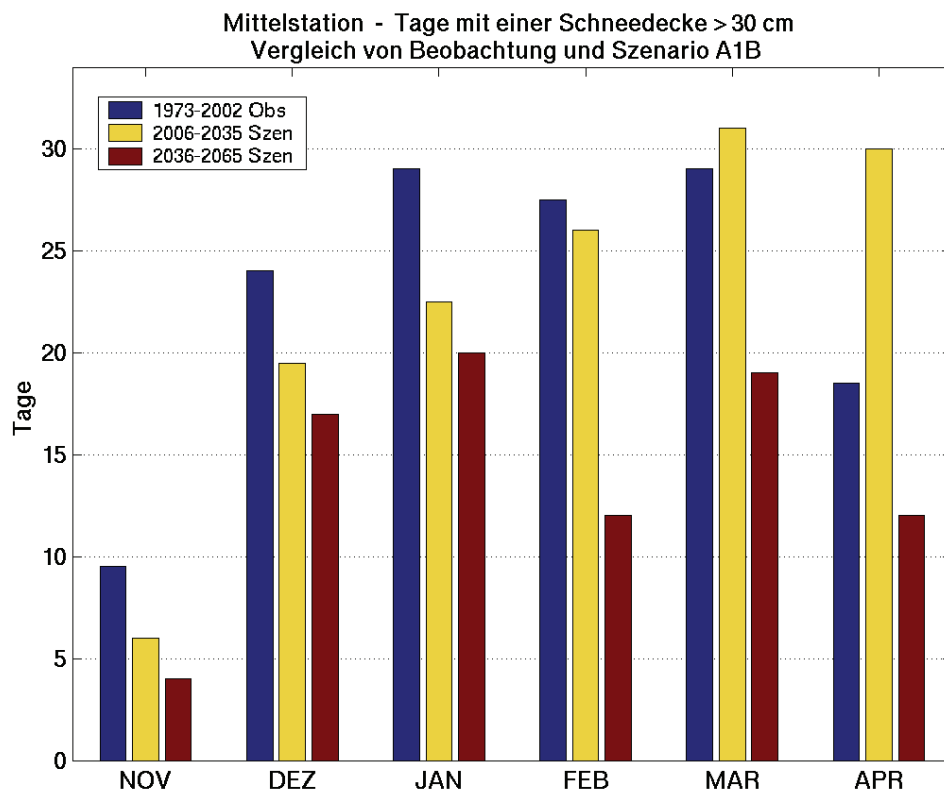


Abbildung 20: Median der Anzahl an Tagen mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 30 cm im Mittelstationsbereich

Für den Schwellwert von 5 cm Naturschnee, der ausreicht um ein winterliches Landschaftsbild zu erzeugen, ergibt sich von der Mittelstation aufwärts für 2020 noch keine nennenswerte Änderung in

mittleren Jahren und selbst in Schladming selbst (Abbildung 21) sind die Auswirkungen relativ gering mit einer maximalen Reduktion im Dezember von etwa 5 Tagen. Aber selbst dann kann man davon ausgehen, dass die gesamte zweite Dezemberhälfte zumindest eine dünne Schneedecke trägt. Massiv hingegen sind die Änderungen bis 2050. Zu diesem Zeitpunkt muss man selbst in der Hälfte aller Jänertage damit rechnen, dass keine natürliche Schneedecke im Tal vorhanden ist.

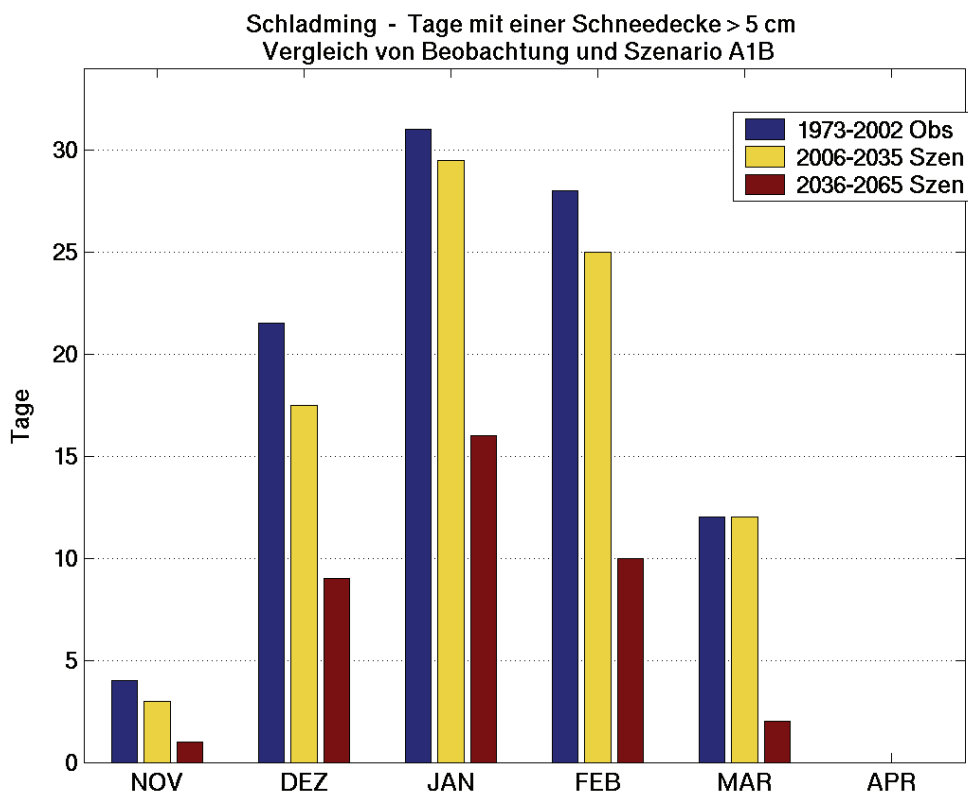


Abbildung 21: Median der Anzahl an Tagen mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 5 cm im Schladming.

Die Auswirkungen auf die potenziellen Beschneigungsstunden sind in Abbildung 22 für alle drei Seehöhenbereiche für die Beschneigung ab einer Grenztemperatur von -4 °C und 4 Stunden Reaktionszeit für den besonders kritischen Zeitraum der Grundbeschneigung (Zeitraum 1. November bis 31. Dezember) zusammengefasst. Für diesen Zeitraum sind die mittleren Bedingungen im Tal und an der Mittelstation etwa gleich gut mit etwas mehr als 350 Stunden derzeit, bis 2020 sinken diese auf knapp unter 300 Stunden und bis 2050 sogar bis unter 200 Stunden. Bei einem derzeitigen Bedarf an 240 Stunden für die Durchführung einer Grundbeschneigung ergeben sich bis 2020 noch keine Probleme in mittleren Jahren. Im Gegensatz zum Mittelwert ist die Variabilität im Mittelstationsbereich weit höher als im Tal, was auf die häufigen Inversionswetterlagen im Frühwinter zurückzuführen ist. Die 5er Perzentile, also ein Ereignis das alle 20 Jahre vorkommt liegt an der Mittelstation derzeit bei 200 Stunden, 2020 bereits bei 100 und sie beträgt 2050 nur noch etwa 50 Stunden. Dies bedeutet, dass man mit der derzeitigen Beschneigungstechnologie bereits heute in Extremjahren im Mittelstationsbereich Schwierigkeiten

hat. Um damit 2020 noch zurecht zu kommen, müsste man die Schlagkraft (Schneeproduktion pro Zeiteinheit) mehr als verdoppeln und für 2050 sogar vervierfachen.

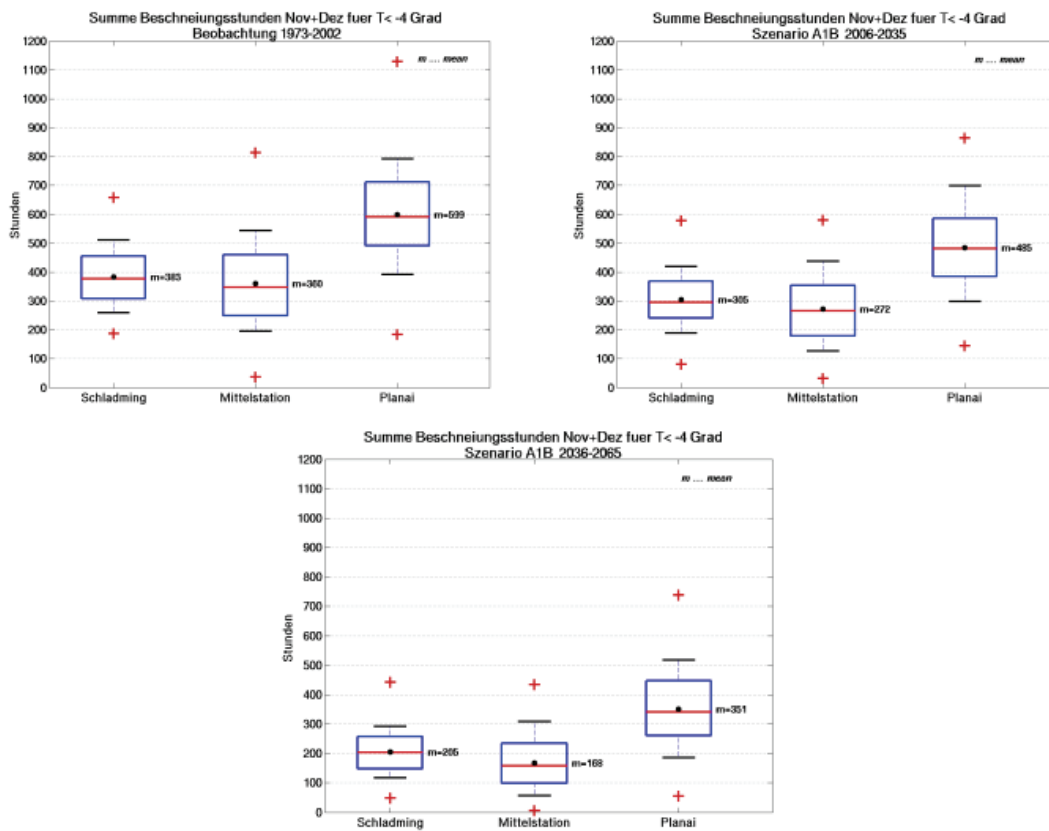


Abbildung 22: Szenarien für die Beschneigungsstunden im Frühwinter (November und Dezember) an alle drei Standorten.

Neben der Reduktion der potenziellen Beschneigungsstunden wird durch die Erwärmung natürlich auch die Schneeschmelze erhöht. In Abbildung 23 sind die Szenarien für die potenzielle Schneeschmelze in mm Wasserräquivalent für den Mittelstationsbereich zusammengefasst. Derzeit muss man in mittleren Jahren mit einer Abschmelzung von rund 30 mm im Jänner rechnen. Bis 2020 wird dies auf etwa 45 mm ansteigen und bis 2050 sogar bei etwa 70 mm sein. Damit wird um 2050 im Jänner fast so viel schmelzen, wie derzeit im November.

Szenarien des Medians der potenziellen Schneeschmelze [mm Wasseräquivalent] im Mittelstationsbereich.

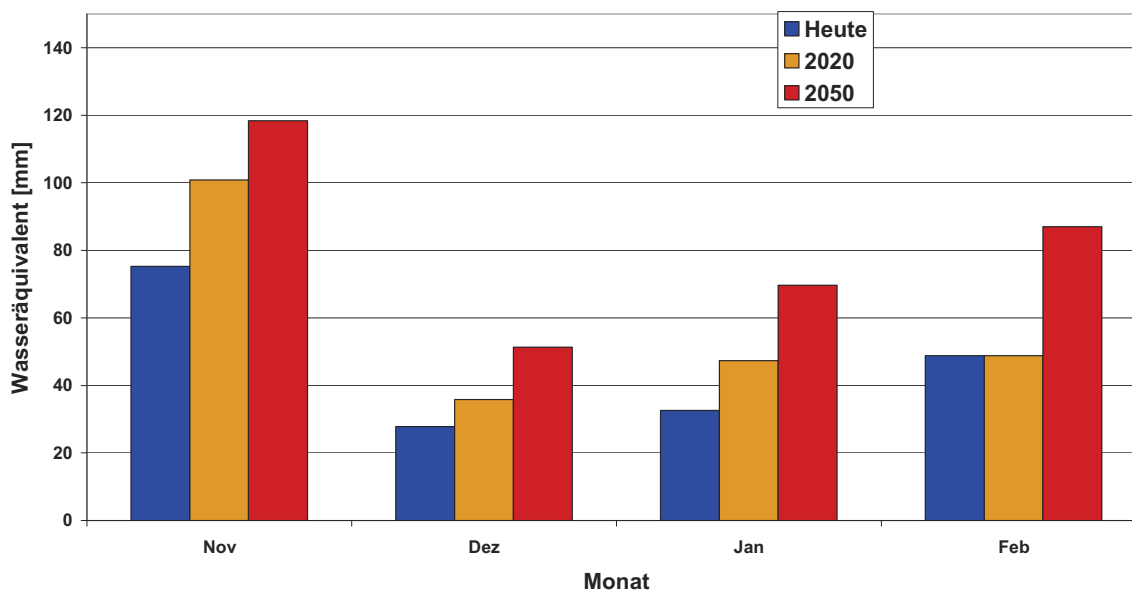


Abbildung 23: Szenarien des Medians der potenziellen Schneeschmelze im Mittelstationsbereich.

Für die im Winter 2006/2007 eingesetzte Beschneigungstechnologie in Schladming konnte direkt der Ausfall an Skierdays (siehe Kapitel 3.7) berechnet werden. In Abbildung 24 sind die Saisonergebnisse (DJF) dieser Ausfälle, aufgeschlüsselt nach der Ursache dargestellt. In mittleren Jahren (Abbildung 22 oben) muss man derzeit mit etwas weniger als 20 Ausfällen im Hochwinter rechnen, um 2020 sind es schon mehr als 3 Wochen und 2050 sind es schon fast 40 Tage. Derzeit sind die Ausfälle trotz Beschneigung nur auf Regen zurückzuführen, 2020 ist bereits mit etwa 1 Woche und 2050 sogar schon 4 Wochen Ausfall wegen Schneemangel zu erwarten.

Alle fünf Jahre (Abbildung 24 Mitte) muss man auch derzeit schon mit etwa 12 Tagen Ausfall an Skierdays wegen Schneemangel trotz Beschneigung rechnen. Dies erhöht sich bis 2020 auf 18 Tage und 2050 auf 60 Tage. Damit muss man zur Jahrhundertmitte alle 5 Jahre damit rechnen, dass 2 von 3 Tagen im Winter wegen Schneemangels trotz Beschneigung ausfallen.

Bei zwanzigjährigen Ereignissen muss man schon derzeit mit einem Ausfall von etwas mehr als 30 Tagen rechnen, 2020 sind es schon über 50 Tage und 2050 fallen alle Tage aus.

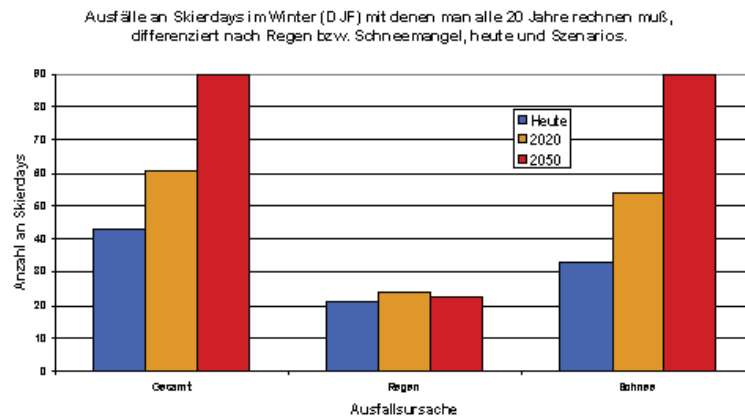
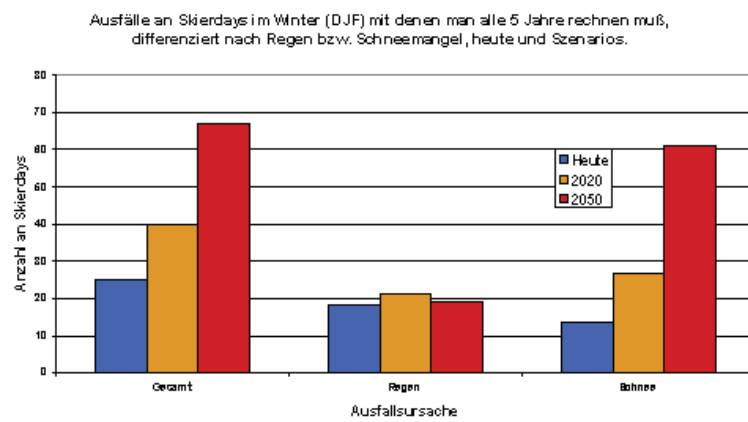
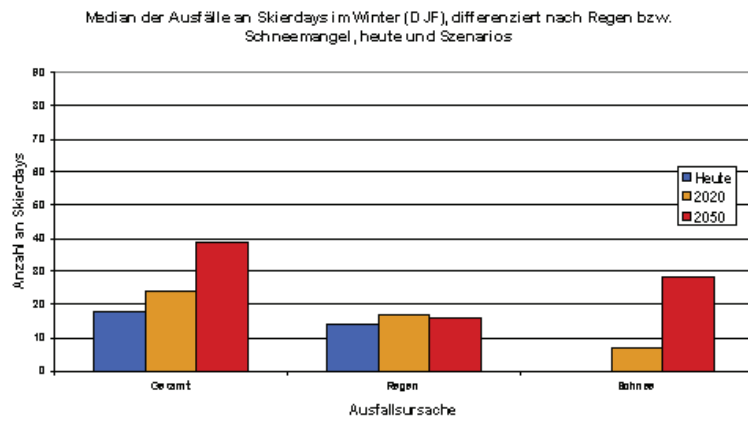


Abbildung 24: Szenarien der Ausfälle an Skierdays für drei Wiederkehrswahrscheinlichkeiten und differenziert nach Ursache des Ausfalls.

4.4. MÖGLICHKEITEN DER BESCHNEIUNGSTECHNOLOGIE

Erst die künstliche Beschneigung erlaubt es fast allen alpinen Skigebieten eine einigermaßen sichere Öffnung der Skipisten für den gesamten Winter zu garantieren. Ohne künstliche Beschneigung würde die hohe interannuale Variabilität des Winterwetters im Alpenraum keinen permanenten Betrieb speziell im Frühwinter erlauben. In Abbildung 25 sind die Ausfälle an Skierdays für Schladming ohne künstliche Beschneigung unter derzeitigen Klimabedingungen dargestellt. Nur unter mittleren Bedingungen oder besser könnte eine ausreichende Betriebszeit des Skigebietes gewährleistet werden. Bereits 5 jährige Ereignisse würden derzeit fast den gesamten Dezember ausfallen lassen und selbst im Jänner und Februar würde nahezu die Hälfte aller Tage ausfallen. Als 20 jähriges Ereignis müsste man mit dem Totalausfall eines ganzen Monats bzw. der gesamten Weihnachtsferien in Kauf nehmen.

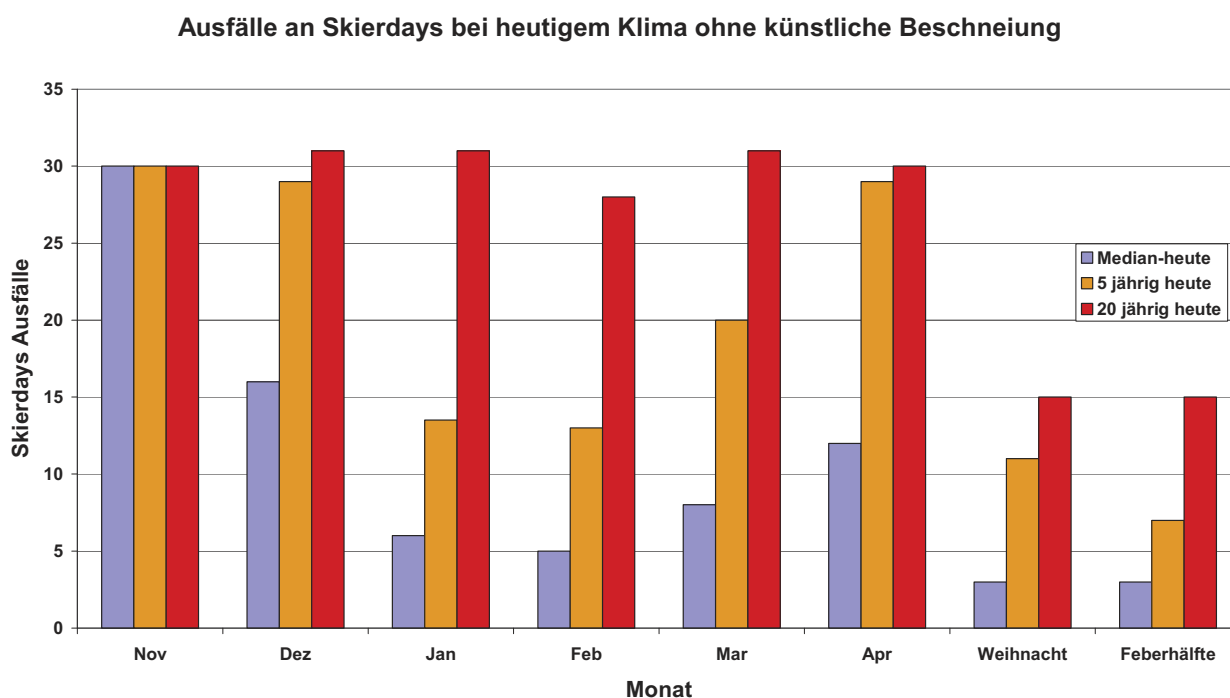


Abbildung 25: Ausfälle an Skierdays bei heutigem Klima (1973-2002) ohne künstliche Beschneigung.

Wie viel an zusätzlichen Skierdays eine Beschneigungsanlage bringt hängt von zwei Faktoren ab:

- Schlagkraft (Anzahl der Schneekanonen, Leistung der Pumpen, Reaktionszeit, ...)
- Grenztemperatur

Abbildung 26 ist die Auswertung der Skierdays für 5 jährige Ereignisse, mit Berücksichtigung der künstlichen Beschneigung, wie sie in Schladming im Winter 2006/2007 im Einsatz war, dargestellt. Man erkennt das man damit derzeit von Mitte Dezember bis in den März hinein günstige Schneeverhältnisse schaffen kann, da die Ausfälle an Skierdays hauptsächlich auf Regen zurück zu führen ist. Selbst 2020 reicht diese Technologie aus, abgesehen von etwas höheren Ausfällen im Dezember, um 5 jährige Ereignisse abzufangen. Für 2050 hingegen ist diese Technologie nicht mehr ausreichend. Selbst 5 jährige Ereignisse führen dann faktisch zum Ausfall ganzer Monate.

Ausfälle an Skierdays mit denen man alle 5 Jahre rechnen muß in Schladming für das heutige Klima und Szenarien für 2020 und 2050

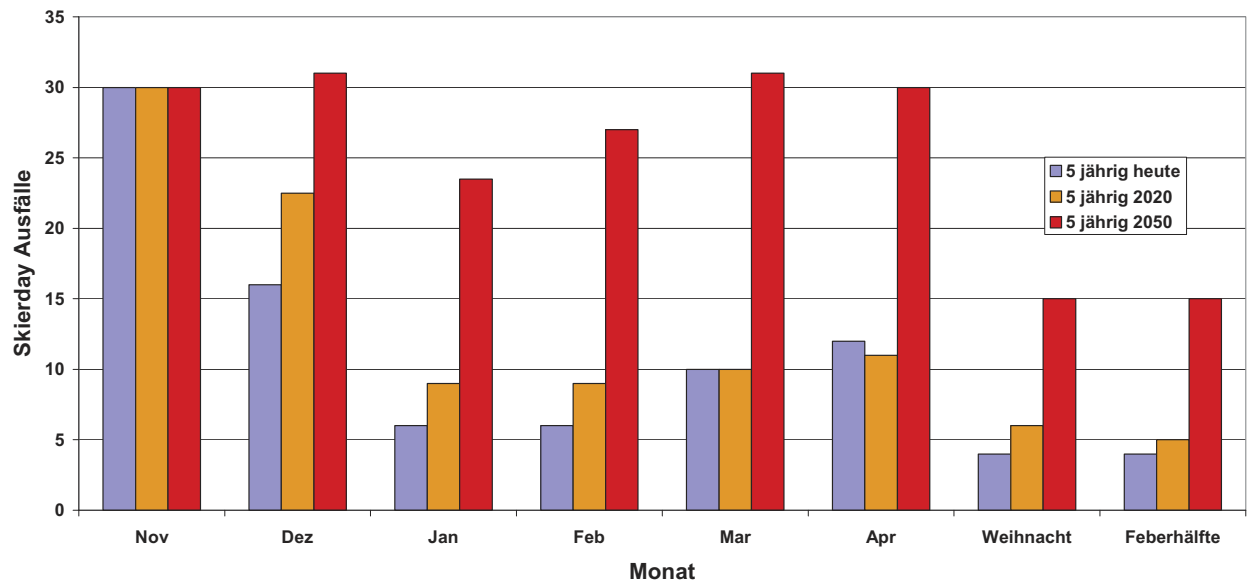


Abbildung 26: Szenarien der Ausfälle an Skierdays bei derzeitiger Beschneigungstechnologie (Grenzwert -4°C)

Ausfälle an Skierdays mit denen man alle 5 Jahre rechnen muß in Schladming für das heutige Klima und Szenarien für 2020 und 2050

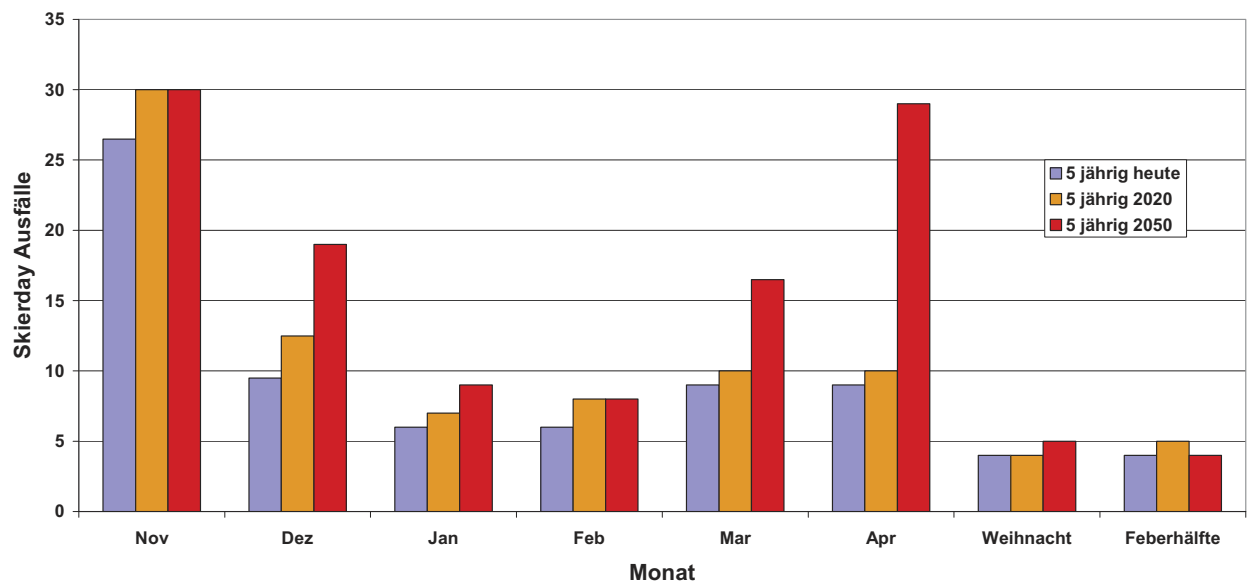


Abbildung 27: Szenarien der Ausfälle an Skierdays bei einer Beschneigungstechnologie mit einer Grenztemperatur von -1°C .

In Abbildung 27 sieht man die selbe Auswertung jedoch mit einem Einsatz von einer Beschneiungsanlage mit der selben Schlagkraft wie in Abbildung 26, jedoch einer Grenztemperatur von -1 °C für die Beschneigung. Es zeigt sich, dass eine derartige Technologie reichen würde, um zumindest 5 jährige Ereignisse in Schladming abzufangen zu können. In Abbildung 28 ist der Gewinn an Skierdays durch einen Wechsel von einer Grenztemperatur von -4 °C zu -1 °C dargestellt. In mittleren Jahren und selbst bei 5 jährigen Ereignissen würde ein Wechsel unter heutigem Klima kaum etwas bringen, da die derzeitige Technologie noch ausreicht, aber in Extremjahren würde diese bereits heute knapp 20 zusätzliche Skierdays bringen.

Um 2020 bringt die bessere Technologie bei 5 jährigen Ereignissen einen Gewinn von etwa 2 Wochen und bei 20 jährigen Ereignissen sogar 24 zusätzliche Skierdays. Um 2050 ist der maximale Gewinn an Skierdays bei 5 jährigen Ereignissen, wo 33 zusätzliche Skierdays erreicht werden. Für 20 jährige Ereignisse reicht dann nicht einmal mehr diese Technologie aus, um eine permanente Schneedecke auf der Piste zu garantieren.

Gewinn an Skierdays im Winter (DJF) in Schladming für das heutige Klima und Szenarien bei Übergang von Grenzwert -4 °C zu -1 °C .

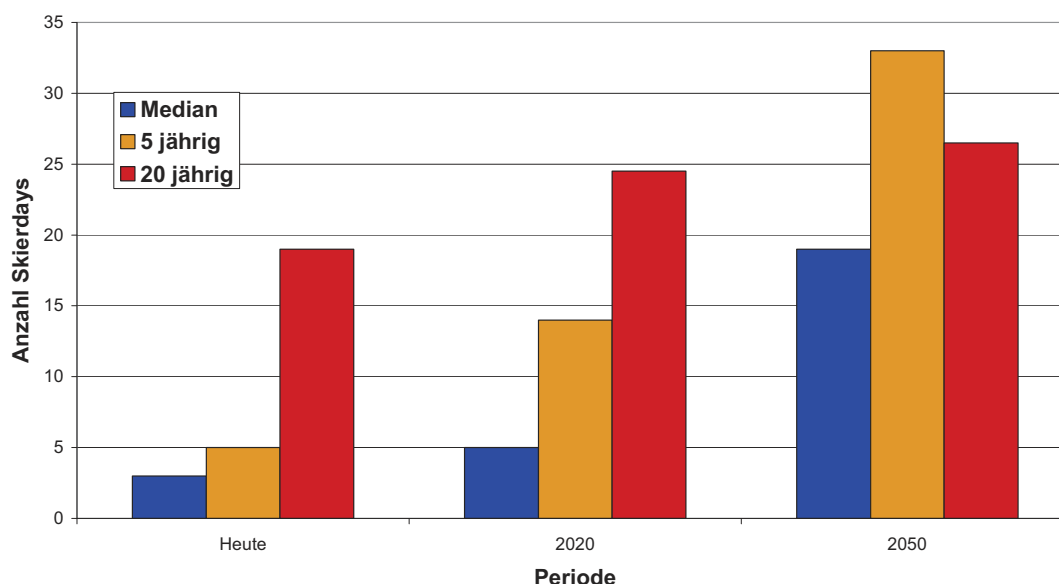


Abbildung 28: Gewinn an Skierdays bei einer Beschneiungstechnologie mit einer Grenztemperatur von -1 °C gegenüber derzeitiger Technologie (-4 °C).

In Tabelle 4 sind die Reduktionen der Ausfälle an Skierdays (deshalb negative Werte) bei Umstieg von einer -4 °C Technologie zu einer von -1 °C zusammengefasst. Unter derzeitigen Klimabedingungen würde dieser Umstieg hauptsächlich in Extremjahren im Dezember etwas bringen. Um 2020 sind ebenfalls die Extremjahre jedoch bereits alle Wintermonate mit einem Maximum im Jänner. Um 2050 wäre der Hauptgewinn bei 5 jährigen Ereignissen mit einem Maximum im Februar.

Tabelle 4: Gewinn an Skierdays durch Übergang von derzeitiger Beschneigungstechnologie mit Grenztemperatur von -4°C zu einer mit -1°C .

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Weih- nachten	Febru- arhälfte
Median-Heute	-7	-2.5	0	0	-1	-1	0	0
5 jährig Heute	-3.5	-6.5	0	0	-1	-3	0	0
20 jährig Heute	0	-13.5	-1.5	0	-9	-14	-3	0
Median 2020	-7	-4	0	-1	0	-0.5	-1	0
5 jährig 2020	0	-10	-2	-1	0	-1	-2	0
20 jährig 2020	0	-10	-11.5	-8	-1.5	-6.5	-9	-5
Median 2050	-3	-9.5	-3	-3	-6	-11	-2	-2
5 jährig 2050	0	-12	-14.5	-19	-14.5	-1	-10	-11
20 jährig 2050	0	0	-7.5	-5.5	0	0	0	-1

Die Veränderung der Grenztemperatur für die Beschneigung von -4°C zu -1°C führt in Schladming zu einer Erhöhung an potenziellen Beschneigungsstunden von rund 30 Prozent in mittleren Jahren, zu rund 40 Prozent bei 5 jährigen Ereignissen und etwa 50 Prozent bei 20 jährigen Ereignissen. Daher kann man für ungünstige Jahre annehmen, dass eine Erhöhung der Grenzbeschneigungstemperatur um 3 Grad ungefähr die selben Ergebnisse erzielt wie eine Erhöhung der Schlagkraft um 50 Prozent. Dieses Verhältnis zwischen Schlagkrafterhöhung und Absenkung der Grenztemperatur gilt jedoch nur für die Bedingungen in Schladming und sind nicht so ohne weiteres auf andere Skigebiete übertragbar.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUßFOLGERUNGEN

In der Skiregion Schladming kann, wie in nahezu allen alpinen Skigebieten, aufgrund der hohen interannualen Variabilität des alpinen Winterwetters, ein kontinuierlicher Skibetrieb von Dezember bis in den März allein basierend auf Naturschnee, nicht gesichert werden. Selbst auf der Planai in über 1800 m gab es im Beobachtungszeitraum 1973 bis 2002 ein Jahr, an dem nur an 31 Tagen im Winter (DJF) eine Mindestschneehöhe von 30 cm überschritten wurde, welche für eine gute Pistenpräparation benötigt wird. Dies obwohl in mittleren Jahren (Median) von November bis April 160 derartige Tage vorkommen und selbst im Mittelstationsbereich (1300 m) 120 derartige Tage erreicht werden. Nur im Talbereich sind bereits die mittleren Bedingungen für einen kontinuierlichen Betrieb auf Naturschneebasis nicht ausreichend.

Zum Ausgleich dieser hohen interannualen Variabilität, die zum Gutteil auf Schwankungen beim Niederschlag zurückzuführen sind, ist die Produktion von Kunstschnee unter derzeitigen klimatischen Bedingungen eine gut geeignete, aber kostspielige Strategie, um die Schneesicherheit in Schladming zu garantieren. Durch Berechnung der potenziellen Beschneigungsstunden für den Zeitraum 1973-2002 und Vergleich mit den derzeit benötigten Beschneigungsstunden für die Grundbeschneigung im Frühwinter bei einer Grenztemperatur der Beschneigung von -4 °C konnte gezeigt werden, dass beizeitigem Klima sogar Winter mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 20 Jahren (95er Perzentile) größtenteils abgebuffert werden können.

Die bisher beobachtete Erwärmung in Schladming hat sich in erster Linie auf die Beschneigungsstunden im Jänner ausgewirkt. Dies ist auf die geringen Temperaturtrends im November zurückzuführen, der in den höheren Lagen sogar kühler war als in der Klimanormalperiode 1961-1990.

Die generellen Beschneigungsbedingungen sind im Talbereich (740 m) um Schladming speziell im Früh- und Hochwinter besser, als im Mittelstationsbereich, der knapp über der mittleren Inversionsgrenze in diesem Teil des Ennstals liegt. Die mittleren Bedingungen sind zwar recht ähnlich, jedoch ist die Variabilität von Jahr zu Jahr im Mittelstationsbereich deutlich höher als im Tal. Erst im März kehren sich die Bedingungen wieder um. Als kritischer Bereich im Skigebiet Schladming muss daher der Seehöhenbereich um die Mittelstation betrachtet werden, da hier die ungünstigsten Bedingungen für die Durchführung der Grundbeschneigung herrschen, und Schneemangel in diesem Bereich faktisch das Skifahren im gesamten Gebiet verhindert. Die ungünstigen Bedingungen im Talbereich im Frühjahr sind insofern nicht so schlimm, da man ab dem Mittelstationsbereich zu diesem Zeitpunkt gute Schneeverhältnisse hat und der Skibetrieb von der Mittelstation aufwärts durchgeführt werden kann.

Für die Ableitung der lokalen Klimaszenarien wurde das Klimaänderungssignal (Differenz Kontrolllauf und Szenariolauf) des regionalen Klimamodells REMO betrieben mit dem GCM ECHAM5 unter A1B Emissionsszenario für die Zeitscheiben 2006-2036 und 2036-2065 verwendet. Diese beiden Zeitscheiben bilden die mittleren Bedingungen für das Jahr 2020 und 2050. Diese zeitliche Zuordnung darf aber nicht zu eng gesehen werden. Das hier verwendete GCM zeigt im Alpenraum in den ersten 3 Dekaden des 21. Jahrhunderts kaum einen Temperaturanstieg.

Durch den in diesem Zeitraum noch geringen „Klimaantrieb“ der Treibhausgase, dürfte dieser geringe Temperaturanstieg auf die Überlagerung von modellinternen Schwankungen auf dekadischer Zeitskala zurückzuführen sein. Dies darf auf keinen Fall dahingehend interpretiert werden, dass in den nächsten 30 Jahren im Alpenraum keine nennenswerte Erwärmung stattfinden wird. Insofern können diese beiden Szenarien auch als ein „moderates“ und ein „massives“ Szenario für die Entwicklung in Schladming innerhalb der nächsten 3 Dekaden interpretiert werden.

Als lokales Szenario für 2020 ergibt sich für den Frühwinter ein Temperaturanstieg von etwa 1 Grad. Im Spätwinter und Frühjahr ergibt sich eine geringere Erwärmung, bzw. im März und April sogar eine Abkühlung gegenüber den hier verwendeten Referenzzeitraum 1973-2002. Beim Niederschlag gibt es generell einen Anstieg, der speziell im April mehr als 50 Prozent erreicht.

Für 2050 ergibt sich in allen Monaten ein Temperaturanstieg, jedoch ist auch hier der Anstieg im Früh- und Kernwinter mit etwa 2.5 Grad deutlich höher als im Frühjahr. Beim Niederschlag zeigt sich für diesen Zeitraum der maximale Anstieg im Oktober und März mit jeweils etwa 30 Prozent, wobei der Niederschlag im Oktober aufgrund des Temperaturanstieges kaum noch zu einem Schneedeckenaufbau führt.

Diese Klimaänderungssignale wurden mithilfe eines Wettergenerators wieder in kontinuierliche Zeitreihen auf Tagesbasis für die Temperaturminima und -maxima und dem Tagesniederschlag, für die drei im Skigebiet verwendeten Höhenlagen, umgelegt. Dies war notwendig, um die explizite Modellierung des Schnees mit Einbeziehung der künstlichen Beschneigung durchführen zu können.

Generell kann man feststellen, dass die derzeitige verwendete Beschneigungstechnologie (Grenztemperatur -4 °C) und die Schlagkraft wie sie im Winter 2006/2007 in Schladming eingesetzt wurde ausreicht, um bei derzeitigen Klimaverhältnissen Ausfälle an Skierdays unter mittleren Bedingungen und für 5 jährige Ereignisse abzubuffern. Erst bei 20 jährigen Ereignissen muss man mit nennenswerten Ausfällen an Skierdays aufgrund von Schneemangel trotz Beschneigung rechnen.

Um 2020 führen bereits 5 jährige Ereignisse zu nennenswerten Ausfällen an Skierdays und um 2050 muss man sogar schon in mittleren Jahren mit einem Ausfall von etwa 4 Wochen aufgrund von Schneemangel trotz Beschneigung rechnen.

Bei einem Einsatz einer Beschneigungstechnologie mit einer Grenztemperatur von -1 °C , was für das Skigebiet Schladming etwa den selben Effekt hat wie die Erhöhung der Schlagkraft um 50 Prozent, können im Jahr 2020 5 jährige Ereignisse sehr gut, 20 jährige zumindest teilweise abgebuffert werden. Um 2050 reicht nicht einmal mehr eine derartige Verbesserung aus, um Ausfälle an Skierdays bei 5 jährigen Ereignissen zu verhindern.

Neben der Reduktion an potenziellen Beschneigungsstunden führt der Temperaturanstieg natürlich auch zu einer verstärkten Abschmelzung der Schneedecke und einem höheren Flüssiganteil am Niederschlag. Beide Effekte erhöhen den Bedarf an künstlicher Beschneigung und damit einen erhöhten Bedarf an Energie und Wasser. Bis zu welchem Bedarf eine künstlicher Beschneigung in einem Skigebiet als sinnvolle Strategie betrachtet werden kann, hängt zum einen von der Wasserverfügbarkeit ab, ist aber andererseits ein ökonomisches Problem welches in jedem Skigebiet

spezifiziert werden muss und hängt natürlich stark von den zukünftigen Energiepreisen und den Investitionskosten für neue, bzw. mehr Beschneigungsinfrastruktur ab.

Abgesehen von diesen ressourcenorientierten Limitierungen zum Ausbau der künstlichen Beschneigung müssen selbstverständlich ökologische Aspekte individuell in jedem Skigebiet beurteilt werden.

6. DANKSAGUNG:

Die Autoren danken der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und dem Hydrographischen Dienst Österreich für die kostenlose Freigabe der meteorologischen Beobachtungsdaten im Raume Schladming. Ebenfalls danken wir dem Max-Planck Institut für Meteorologie in Hamburg und hier im speziellen Frau Daniela Jacob für die kostenlose Freigabe der REMO-UBA Szenarien auf Stundenbasis. Um diesen umfangreichen Datensatz von etwa 1 Terrabyte von Hamburg nach Wien zu transferieren war uns das Österreichische Umweltbundes und hier speziell Kollege Martin König sehr behilflich.

Natürlich bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit innerhalb des STRATEGE - Projektteams und den guten und durchaus auch unterhaltsamen Diskussionen bei den diversen Besprechungen. Speziell sollen hier die lokalen Partner aus Schladming erwähnt werden.

Ermöglicht wurden alle diese Arbeiten durch die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes STRATEGE „Strategien zur nachhaltigen Raumentwicklung von Tourismusregionen unter dem Einfluss der globalen Erwärmung am Beispiel der Wintersportregion um Schladming“ im Rahmen des Forschungsprogramms ProVISION des Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung.

7. BIBLIOGRAPHIE

Abegg, B. (2006): Climate change and winter tourism. OECD Report on Adaptation. <http://www.oecd.org/dataoecd/58/4/37776193.pdf>

Fuchs, M., 1998: Modeling snowmelt-runoff in an alpine watershed. Diplomarbeit, 97p.

Hofstätter M., 2007: Methode zur Berechnung von Beschneigungszeiten. Laufende Diplomarbeit, Universität Wien

Jacob, 2005: REMO A1B SCENARIO RUN, UBA PROJECT , 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006211, 1H DATA. CERA-DB "REMO_UBA_A1B_1_R006211_1H", http://cerawww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_UBA_A1B_1_R006211_1H

Nachtnebel, H.P., Fuchs, M. (2000): HYD-KLIMA. Die Hydrologie Österreichs unter dem Einfluß von Szenarien einer möglichen Klimaänderung.. Forschungsprojekt im Auftrag des BMVV und BMUJF. Vorläufiger Endbericht.

Roeckner, 2005: IPCC DDC AR4 ECHAM5/MPI-OM SRESA1B run1. CERA-DB "EH5_MPI_OM_SRESA1B_1" http://cerawww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=EH5_MPI_OM_SRESA1B_1

Schöner, W., I. Auer, R. Böhm, and S. Thaler, 2003: Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tageswertbasis in Hinblick auf Extremwertanalysen. In: StartClim – Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich.

Semenov, M. und E. Barrow 1997: Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climate Change*, 35, 397-414

Steiger, R. (2006): Vulnerability and adaptation of winter tourism in Tyrol and Bavaria under conditions of climatic change. Wengen 2006 Workshop - Adaptation to the Impacts of Climate Change in the European Alps

USACE,1998: HEC-RAS user's manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anteil der monatlichen Neuschneesumme am Gesamtjahr, Planai & Schladming.....	5
Tabelle 2: Vergleich von Modell und Beobachtung bezüglich der Anzahl der Tage in der Winterperiode (Nov.-April) an denen eine bestimmte Schneehöhe erreicht oder überschritten wurde	9
Tabelle 3: Evaluierung der Schätzung der Beschneigungsstunden an den Stationen Gmunden und Feuerkogel. (Jänner, Grenzwert -4°C).....	18
Tabelle 4: Gewinn an Skierdays durch Übergang von derzeitiger Beschneigungstechnologie mit Grenztemperatur von -4°C zu einer mit -1°C	35

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Mittlere Neuschneesumme 1961-1990 für Planai und Schladming in cm.	4
Abbildung 2: Wintermittel (DJF) der Minimumtemperatur für 1961-2002, Planai und Schladming.....	6
Abbildung 3: Vergleich der Schneehöhen modelliert vs. beobachtet – Planai 1981 - 1990	9
Abbildung 4: Niederschlagskennzahlen (Quotient Modell/Beobachtung) für den Winter im Alpenraum für verschiedene regionale Klimamodelle mit etwa 10 km Auflösung. Mea=Mittelwert, fre=Niederschlagshäufigkeit (> 1mm), int= Intensität, iqr=Interquantiläre Range, 95pct= 95 % Perzentile, n10= Anzahl an Tagen mit mehr als 10 mm Niederschlag, max3d=Maximaler Dreitagesniederschlag, Niederschlagssumme der 3 höchsten Gitterpunktniederschlagswerten.	11
Abbildung 5: Änderung der Jahrestemperaturen zu 61/90, Mittel über 30 Jahre, Szenario A 1B	12
Abbildung 6: Änderung des Jahresniederschlags zu 61/90, Mittel über 30 Jahre, Szenario A 1B	12
Abbildung 7: Klimaänderungssignal im Raume Schladming. Differenz zwischen den Perioden 2006-2035 „2020“ und 2036-2065 „2050“ gegenüber dem Zeitraum 1973-2002 REMO-UBA Szenario A 1B.	13
Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung des Winterniederschlags (Nov.-April) - Schladming 61/90.....	15
Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Temperatur, relativer Feuchte und Feuchttemperatur (Tf) und die jeweilige Eignung für die künstliche Beschneigung mit derzeitiger Standardtechnologie.....	16
Abbildung 10: Monatsmittelwerte der gereihten stündlichen Temperatur für Jänner an der Station Zell am See. Dazu in Farbe die angepassten Polynome bzw. der Verlauf der linearen Interpolation. Strichliert: Möglicher Grenzwert für künstliche Beschneigung.	17
Abbildung 11: Berechnete und mittels Modell geschätzte Monatssummen der Beschneigung an den Stationen Feuerkogel und Gmunden im Jänner, für den Schwellwert $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$	18
Abbildung 12: Mittlere Anzahl an Tagen (Median) mit einer natürlichen Schneedecke von mehr als 30 cm in den drei Höhenlagen.....	21
Abbildung 13: Mittlere Anzahl an Tagen (Median) mit einer natürlichen Schneedecke von mehr als 5 cm in den drei Höhenlagen.....	22
Abbildung 13: Anzahl an Tagen mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 30 cm in den drei Höhenlagen im Winter (Dezember, Januar und Februar).	23
Abbildung 14: Median der Beschneigungsstunden (Schwellwert -4°C) in den drei Höhenlagen für die Klimanormalperiode 1961-1990.....	24
Abbildung 15: Median der Temperaturstundensumme ($T > 0^{\circ}\text{C}$) in den drei Höhenlagen für die Klimanormalperiode 1961-1990.....	24

Abbildung 16: Median der Beschneigungsstunden in Schladming für die Klimanormalperiode 1961-1990 und den Zeitraum 1973-2002.....	25
Abbildung 17: Median der Beschneigungsstunden im Mittelstationsbereich für die Klimanormalperiode 1961-1990 und den Zeitraum 1973-2002.....	26
Abbildung 18: Median der Beschneigungsstunden auf der Planai-Bergstation für die Klimanormalperiode 1961-1990 und den Zeitraum 1973-2002.....	26
Abbildung 19: Median der Anzahl an Tagen mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 30 cm im Mittelstationsbereich.....	27
Abbildung 20: Median der Anzahl an Tagen mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 5 cm im Schladming.....	28
Abbildung 21: Szenarien für die Beschneigungsstunden im Frühwinter (November und Dezember) an alle drei Standorten.	29
Abbildung 22: Szenarien des Medians der potenziellen Schneeschmelze im Mittelstationsbereich.....	30
Abbildung 23: Szenarien der Ausfälle an Skierdays für drei Wiederkehrswahrscheinlichkeiten und differenziert nach Ursache des Ausfalls.	31
Abbildung 24: Ausfälle an Skierdays bei heutigem Klima (1973-2002) ohne künstliche Beschneigung.	32
Abbildung 25: Szenarien der Ausfälle an Skierdays bei derzeitiger Beschneigungstechnologie (Grenzwert -4°C).....	33
Abbildung 26: Szenarien der Ausfälle an Skierdays bei einer Beschneigungstechnologie mit einer Grenztemperatur von -1°C	33
Abbildung 27: Gewinn an Skierdays bei einer Beschneigungstechnologie mit einer Grenztemperatur von -1°C gegenüber derzeitiger Technologie (-4°C).	34

Bisher erschienen in der Reihe BOKU-Met Report:

Berichte von 2003 – 2008

- 1 Eitzinger, J., Kubu, G., Formayer, H., Haas, P., Gerersdorfer, T., Kromp-Kolb, H. (2009): **Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedlersees** (Endbericht im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung vom 15. Juli 2005).
- 2 Frank, A., Seibert, P. (2009): **Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern** (Endbericht StartClim.4, November 2003).
- 3 Formayer, H., Matulla, C., Haas, P., Groll, N. (2009): **Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich aus GCM-Feldern** (Endbericht StartClim.5, November 2003).
- 4 Schwarzl, I., Haas, W. (2009): **Kommunikation an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung** (Endbericht StartClim.11, November 2003).
- 5 Formayer, H., Haas, P., Matulla, C., Frank, A., Seibert, P. (2009): **Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich** (Endbericht StartClim2004.B, November 2003).
- 6 Schwarzl, I., Lang, E. (2009): **"Hängen Hitze und Leistungsfähigkeit zusammen?"** Ein Projekt an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung (Endbericht StartClim2004.G, Jänner 2005).
- 7 Formayer, H., Kromp-Kolb, H. (2009): **Hochwasser und Klimawandel**. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Österreich (Endbericht WWF 2006).
- 8 Gerersdorfer, T., Frank, A., Formayer, H., Haas, P., Moshhammer, H. (2009): **Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima** (Endbericht StartClim2005.A1b, November 2006).
- 9 Krüger, B. C., Schicker, I., Formayer, H., Moshhammer, H. (2009): **Feinstaub und Klimawandel – Gibt es Zusammenhänge in Nordostösterreich?** (Endbericht StartClim2006.A, Juli 2007).
- 10 Rössler, M., Laube, W., Weihs, P. (2009): **Avoiding bird collisions with glass surfaces**. Experimental investigations of the efficacy of markings on glass panes under natural light conditions in Flight Tunnel II (Final report, March 2007).
- 11 Formayer, H., Hofstätter, M., Haas, P. (2009): **Untersuchung der Schneesicherheit und der potenziellen Beschneigungszeiten in Schladming und Ramsau** (Endbericht STRATEGE, Oktober 2007).

Alle Berichte sind unter <http://www.boku.ac.at/met/report/> online verfügbar.