



Auswirkungen des Klimawandels auf Skigebiete im bayerischen Alpenraum

Studie im Auftrag des
Deutschen Alpenvereins

März 2013

KlimTourB



Auswirkungen des Klimawandels auf Skigebiete im bayerischen Alpenraum

Projektabschlussbericht

Verfasser:

Robert Steiger

Projektteam:

Hans Stötter Universität Innsbruck, Institut für Geographie

Robert Steiger alpS GmbH

Eric Veulliet alpS GmbH

Projektpartner:

Jörg Ruckriegel, Deutscher Alpenverein

Innsbruck, März 2013



Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Ausgangssituation	3
1.2	Ziel der Studie	3
1.3	Vorgehensweise	4
2	Untersuchungsgebiet	5
2.1	Verwendete Wetterstationen	5
2.2	Skigebiete	5
3	Modellbeschreibung	8
3.1	Extrapolation von Temperatur und Niederschlag	8
3.2	Klimaentwicklung	8
3.3	Simulierung Naturschnee	10
3.4	Simulierung Beschneigung	10
3.5	Modellannahmen	11
3.6	Modellperformance	13
4	Ergebnisse	15
4.1	Schneesicherheit	15
4.2	Beschneigungsbedarf	23
4.3	Energiebedarf der Beschneigung	25
4.4	Spezielle Betrachtung der Ergebnisse bei Nord- und Südhängen	27
5	Implikationen und weitere Forschung	31
6	Kurzfassung	33
7	Literaturverzeichnis	34

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Der Skitourismus ist für eine Reihe von Gemeinden im bayerischen Alpenraum von großer Bedeutung. Nach einem Boom in den 1960er und 1970er Jahren hat sich das Wachstum in den 1980er Jahren verlangsamt und ist in den 1990er Jahren ganz zum Erliegen gekommen. In manchen Alpengemeinden sind die Übernachtungen z.T. deutlich rückläufig (Mayer und Steiger 2013).

Im Vergleich zum benachbarten Österreich weisen viele bayerische Skigebiete einen Investitionsstau auf. Dies betrifft v.a. modernere Lifte als auch den Ausbaugrad der Beschneigung. Unter diesem Aspekt wurden die gesetzlichen Rahmenbedingungen zur Installation von Beschneiungsanlagen in den letzten Jahren gelockert sowie Möglichkeiten zur staatlichen Subvention u.a. von Beschneiungsanlagen geschaffen, wie sie auch in anderen Alpenstaaten existieren (Mayer und Steiger 2013).

Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit der Skitourismus in Zeiten des Klimawandels zukunftsfähig ist und die Lebensgrundlage in vielen Alpengemeinden sicher stellen kann. So wurden die bayerischen Skigebiete in einer OECD Studie zu den ersten Verlierern des Klimawandels gezählt, wobei die Möglichkeiten der Beschneigung nicht berücksichtigt wurden (Abegg et al. 2007). Steiger (2007) stellte fest, dass die Schneesicherheit mit Beschneigung in bayerischen Skigebieten derzeit auch auf Talniveau sichergestellt werden kann, bei einer Erwärmung um 2°C jedoch nur noch oberhalb von 1500 bis 1700 m gegeben sein würde.

1.2 Ziel der Studie

Ziel dieses Projektes ist eine Analyse der potenziellen Klimafolgen für Skigebiete im bayerischen Alpenraum. Es wurde ein Modell (SkiSim 2.0) zur Simulation der Skisaisondauer und der Beschneigungsbedingungen eingesetzt. Folgende relevante Indikatoren wurden mit Hilfe des Modells in 100 Höhenmeterschritten für Zeiträume von 30 Jahren analysiert:

- Entwicklung der Schneesicherheit mit/ohne Beschneigung
- Theoretisch nötige Schneemenge zur Erreichung einer gewünschten Saisonlänge (z.B. 100 Tage) unabhängig von der Beschneigungstechnologie
- Anteil der schneesicheren Pistenfläche mit/ohne Beschneigung
- Wasserbedarf der Beschneigung heute/in Zukunft
- Abschätzung des Energiebedarfs über branchenübliche Durchschnittswerte

1.3 Vorgehensweise

Das verwendete SkiSim2 Modell berechnet die tägliche Schneehöhe für Höhenbereiche in Abständen von einhundert Höhenmetern. Basis für alle weiteren Arbeitsschritte sind Daten von Wetterstationen. Da klimatische Entwicklungen über größere Zeiträume betrachtet werden müssen, im Regelfall in 30-Jahreszeiträumen, ist eine ausreichend lange Datenreihe mit möglichst wenigen Lücken Voraussetzung dafür, dass die Wetterstation in der Modellierung verwendet werden kann. Grundsätzlich werden Niederschlag und Temperatur als Eingangsgrößen verwendet. Das Modell wird für jede Wetterstation separat kalibriert. Hierfür sind zusätzlich noch die tägliche Schneehöhe und/oder die Neuschneemenge nötig.

Die Klimawandelsignale (siehe Kap. 3.2) werden auf die verwendeten Wetterstationen übertragen, damit die lokalen klimatischen Gegebenheiten erhalten bleiben, welche derzeit nur unzureichend in Klimamodellen abgebildet werden können. Das SkiSim2 Modell liefert Ergebnisse pro Wetterstation in beliebig vielen Höhenschichten.

Diese Ergebnisse werden in einem weiteren Schritt auf die Skigebiete übertragen, welche der räumlich am nächstgelegenen Wetterstation zugewiesen werden. Es wird die individuelle Pistenfläche der Skigebiete, d.h. die Höhenverteilung der Pistenfläche, berücksichtigt. Damit sind Aussagen zur benötigten Wassermenge für die Beschneigung und dem Anteil der schneesicheren Pistenfläche pro Skigebiet möglich. Es ist jedoch zu beachten, dass die Grunddaten (Schneehöhe) sich immer auf die Wetterstation beziehen. Das heißt, Skigebiete, die der gleichen Wetterstation zugewiesen sind, weisen auch identische Ergebnisse bei der Schneehöhe auf, unterscheiden sich jedoch aufgrund der Pistenverteilung hinsichtlich der Schneesicherheit und der benötigten Wassermenge.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Verwendete Wetterstationen

Daten von Wetterstationen wurden vom Deutschen Wetterdienst und dem hydrographischen Dienst des Landes Tirol zur Verfügung gestellt. Nach Ausschluss von Wetterstationen aufgrund von zu vielen Datenlücken und/oder zu kurzen Zeitreihen, standen noch zehn Wetterstationen zur Verfügung (Abbildung 1). Dies ist ausreichend für die Berücksichtigung regionaler/lokaler Klimaverhältnisse.

Folgende Höhenstationen wurden für die Berechnung des Temperaturhöhengradienten (Veränderung der Temperatur mit der Höhe) verwendet (von West nach Ost):

- Hahnenkamm (1670 m)
- Zugspitze (2964 m)
- Wendelstein (1832 m)
- Rauschberg (1640 m)

Es wurde bei jeder Wetterstation die in geringster Entfernung liegende Höhenstation verwendet. Die Zugspitze wurde aufgrund der Höhe nur für das Skigebiet Zugspitze verwendet. Alle anderen Skigebiete in dieser Region haben ihre Bergstationen eher auf Höhe des Wendelsteins, weshalb dieser zur Berechnung des Höhengradienten geeigneter erscheint, als die Zugspitze.

2.2 Skigebiete

Das Untersuchungsgebiet umfasst 46 Skigebiete im bayerischen Alpenraum. Es wurden digitale Skipistenflächen vom Bayerischen Landesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt und vom DAV bearbeitet und ergänzt. Die Entfernung zwischen den Wetterstationen und den zugewiesenen Skigebieten ist zufrieden stellend, ähnlich wie bei bisherigen SkiSim-Studien (Steiger und Abegg 2011, Schmidt et al. 2012, {Steiger 2013 #602}). In Abbildung 1 sind die Skigebiete und die zugewiesenen Wetterstationen in gleicher Farbe dargestellt.

Rund zwei Drittel der Skigebiete haben eine mittlere Höhe (je 50% der Pistenfläche liegen unter-/oberhalb dieser Höhe) von 1200 m oder darunter (Abbildung 2). Dies ist deutlich niedriger als bspw. in Österreich (2/3 auf 1500 m oder darunter) oder gar Tirol (2/3 auf 1700 m oder darunter).

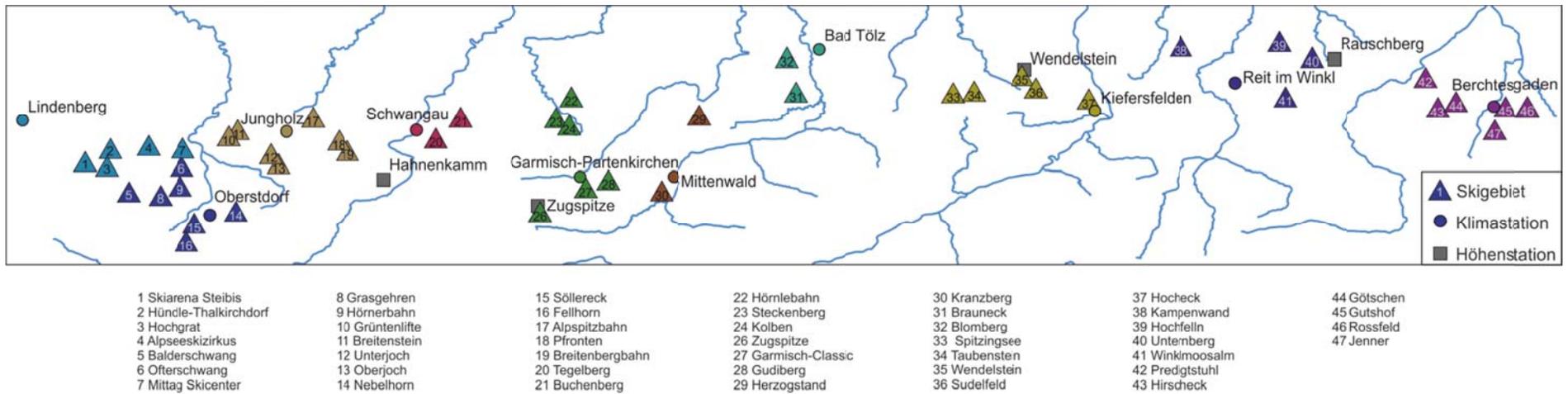


Abbildung 1: Wetterstationen und Skigebiete

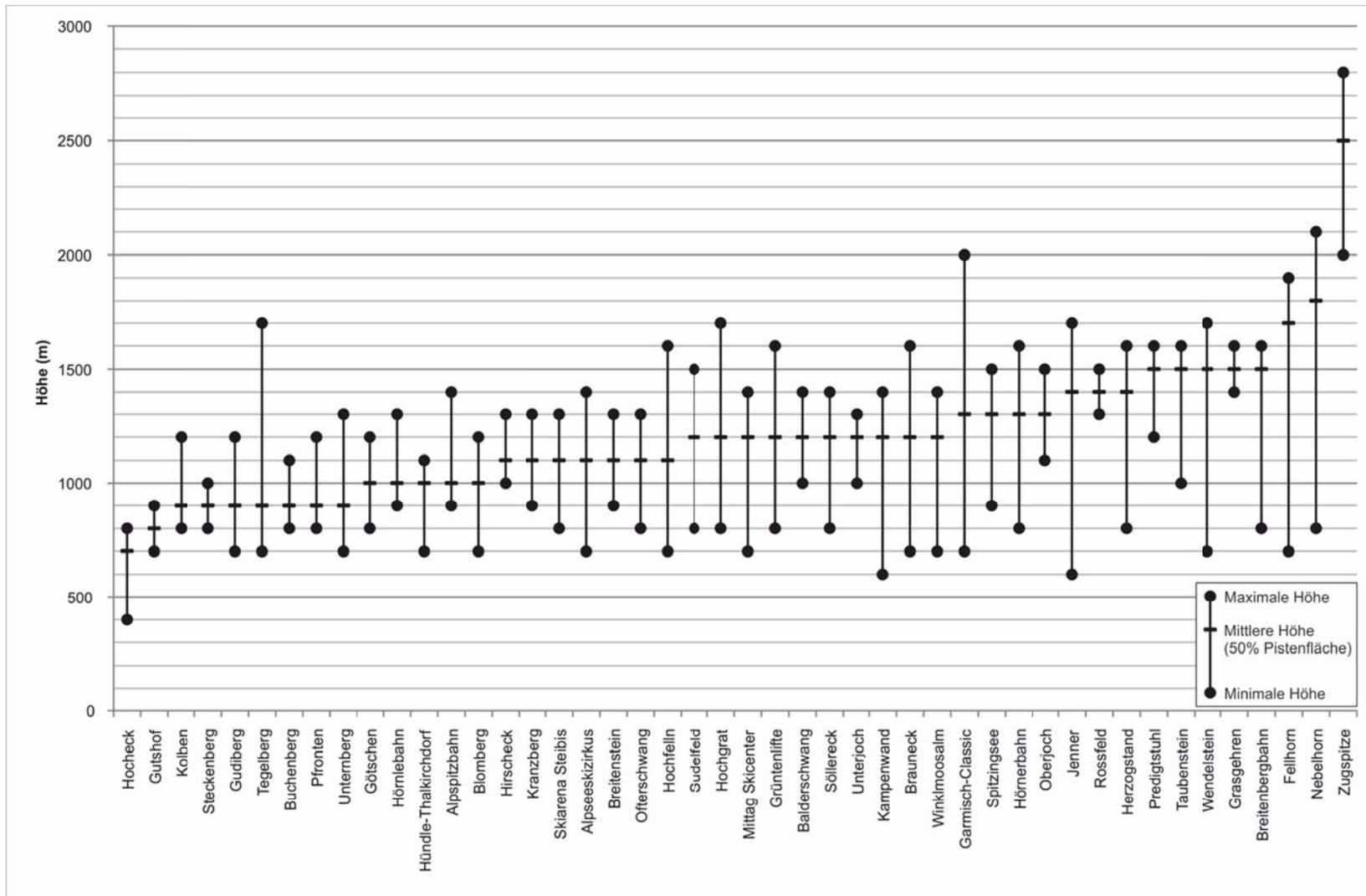


Abbildung 2: Höherer Streckung der Skigebiete

3 Modellbeschreibung

3.1 Extrapolation von Temperatur und Niederschlag

Da die Temperatur- und Niederschlagsinformationen nur für die Höhe der jeweiligen Wetterstation verfügbar sind, müssen beide Variablen extrapoliert werden – also in andere, zusätzliche Höhenlagen, die die Erstreckung der Skigebiete abbilden, umgewandelt werden. Dies geschieht unter der Verwendung von Höhengradienten, die die Veränderung von Niederschlag bzw. Temperatur pro 100 Höhenmeter definieren. Der Niederschlag wird mit einem Standardhöhengradienten von 3%/100m (vgl. Fliri 1975) von der Höhe der Wetterstation extrapoliert.

Bei der Temperatur wird zwischen den einzelnen Monaten und zwischen trockenen (< 1 mm Niederschlag) und feuchten (≥ 3 mm Niederschlag) Tagen unterschieden. Diese Unterscheidung erlaubt, die im Hochwinter häufigen Inversionswetterlagen zu berücksichtigen, wenn auch nur mit einem linearen Höhengradienten. Dies führt an Inversionstagen im Modell zu einer Unterschätzung der Temperatur nahe der Inversionsgrenze, jedoch zu immer noch besseren Ergebnissen als bei der Verwendung eines mittleren Wintergradienten (Steiger 2010). Die Berechnung des Höhengradienten erfolgt über die verwendete Wetterstation und einer Höhenstation, welche ausschließlich zur Berechnung des Temperaturhöhengradienten, nicht aber für die Schneemodellierung verwendet wird.

3.2 Klimaentwicklung

Aufgrund der Unsicherheiten bestehender Klimaprojektionen empfiehlt es sich, eine möglichst große Bandbreite an Modellen zu verwenden, um das Spektrum der Unsicherheiten möglichst gut abdecken zu können. Sogenannte „business-as-usual“ Emissionsszenarien (bspw. A1FI) sind für den bayerischen Alpenraum nicht verfügbar, d.h., es kann nicht die gesamte Bandbreite an möglichen Entwicklungen berücksichtigt werden. Deshalb wurden in dieser Studie hypothetische Erwärmungsszenarien verwendet. Die Temperatur wurde hierbei in $0,5^{\circ}\text{C}$ Schritten bis zu einer Erwärmung von 4°C erhöht, der Niederschlag wurde nicht verändert. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Ergebnisse prägnanter interpretierbar sind, da nicht unzählige Modell-Szenario-Kombinationen miteinander verglichen werden müssen, sondern der Frage nachgegangen werden kann, wie sich ein bestimmter Erwärmungsbetrag auf die Saisondauer und Beschneigung auswirkt.

Um einen zeitlichen Bezug zu diesen hypothetischen Erwärmungsszenarien herstellen zu können, wurden die Ergebnisse von zwölf Modellläufen regionaler Klimamodelle COSCO-CLM (Hollweg et al. 2008), REMO (Jacob et al. 2008) und RCAO (Räisänen et al. 2002),

unter Annahme von drei Emissionsszenarien (A1B, A2, B1) hinsichtlich Temperaturentwicklung in Bayern für das 21. Jahrhundert ausgewertet (Abbildung 3). Je nach verwendetem Klimamodell und Emissionsszenario ist nach diesen Modellen davon auszugehen, dass eine 1°C Erwärmung (im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990) zwischen 2025 und 2040 eintritt, eine 2°C Erwärmung im optimistischsten Fall erst gegen Ende des Jahrhunderts oder aber auch schon 2040, +3°C werden nur noch in den A-Szenarien ab dem Jahr 2065 erreicht, ebenso wie das 4°C Szenario, das für den Zeithorizont 2080 und danach projiziert wird.

Temperaturänderung (°C)

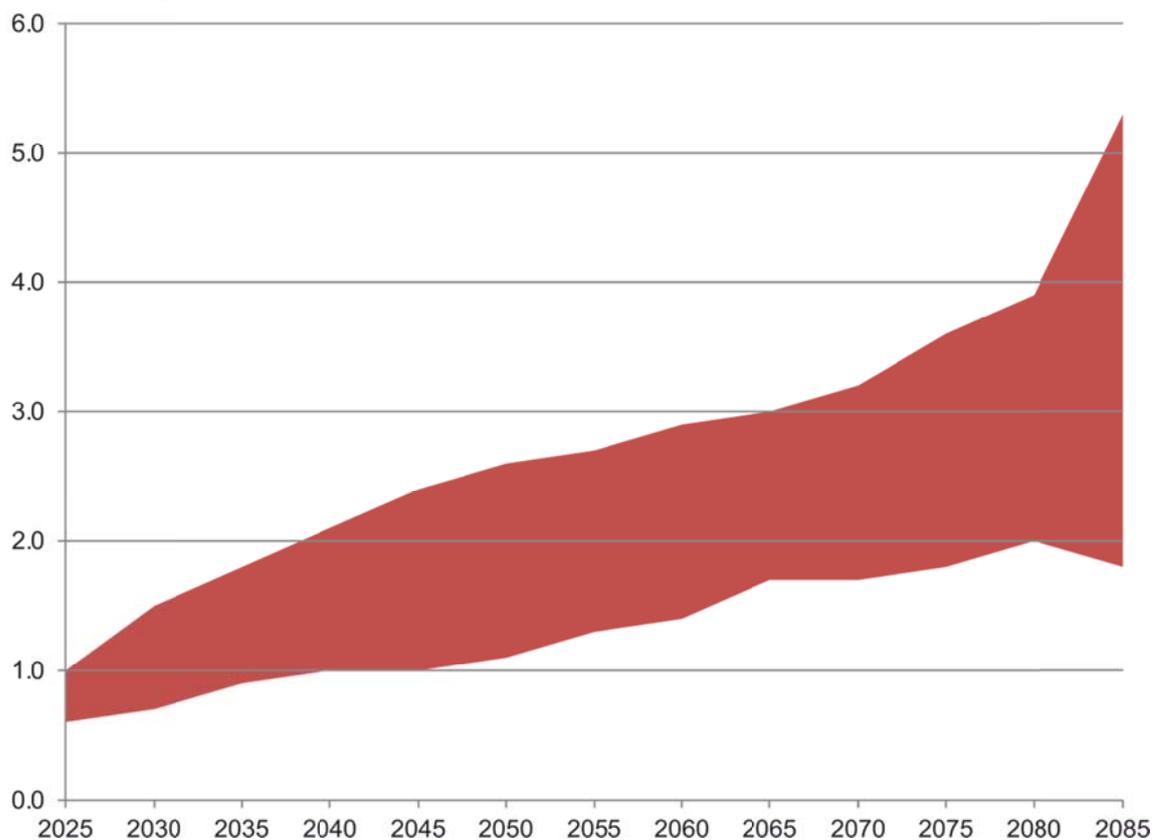


Abbildung 3: Projizierte Temperaturentwicklung in Bayern im 21. Jahrhundert basierend auf zwölf Modellrechnungen mit COSMO-CLM, REMO und RCAO

Datenquelle: Helmholtz Gemeinschaft (2013), eigene Darstellung

Die Temperaturszenarien wurden mit Hilfe eines stochastischen Wettergenerators (LARS-WG 5.5, Semenov und Stratonovitch 2010) auf den Referenzzeitraum (1971-2000) der drei Klimastationen übertragen. Somit waren Tageswerte von Minimum-, Maximumtemperatur und Niederschlag mit den Charakteristika (z.B. Länge der Trocken-/Feuchteperioden, Temperaturamplitude, etc.) der Stationen verfügbar.

3.3 Simulierung Naturschnee

Das Modell SkiSim2 ist ein Gradtagmodell, dies bedeutet, dass die Schneeschmelze über die Tagesmitteltemperatur berechnet wird. Die Schneeakkumulation wird über die tägliche Niederschlagssumme und die Tagesmitteltemperatur berechnet. Der Übergang von Schnee zu Regen ist mit einem Temperaturbereich abgebildet, der über einen unteren und oberen Grenzwert definiert ist: Liegt die Temperatur unterhalb des unteren Grenzwerts, ist 100% des Niederschlags Schnee, liegt die Temperatur oberhalb des oberen Grenzwerts, ist 100% des Niederschlags Regen. Wenn die Temperatur innerhalb der beiden Grenzwerte liegt, wird der Regen-/Schnee-Anteil über eine lineare Interpolation der beiden Grenzwerte berechnet. Ist der untere Grenzwert bspw. mit 1°C und der obere mit 2°C festgelegt und beträgt die Tages-temperatur $1,5^{\circ}\text{C}$, so fallen 50% des Niederschlags als Regen und 50% als Schnee.

Die beiden Grenzwerte werden für jede Wetterstation kalibriert. Hierbei werden alle möglichen Temperaturkombinationen zwischen -1°C und $+3^{\circ}\text{C}$ getestet und diejenige Kombination verwendet, die die geringste Modellabweichung (Varianz) der modellierten von der gemessenen jährlichen Neuschneesumme aufweist.

Die Schneeschmelze wird auf Basis der Tagesmitteltemperatur und des Gradtagfaktors berechnet, der beschreibt, wie viel Schnee pro 1°C geschmolzen wird. Der Gradtagfaktor variiert innerhalb der Saison aufgrund von Sonnenstand und Alter der Schneedecke. So ist das Minimum am 21. Dezember, das Maximum am 21. Juni erreicht und entwickelt sich dazwischen in einer sinusförmigen Kurve (Braun und Aellen 1990). Der Gradtagfaktor wird ebenfalls pro Wetterstation kalibriert und basiert auf der geringsten Modellabweichung bei den Schneedeckentagen (=Tage mit Schneehöhe mind. 1 cm).

3.4 Simulierung Beschneigung

Die Beschneigung wird in die Grund- und Nachbeschneigung unterteilt (Steiger und Mayer 2008). Bei der *Grundbeschneigung* werden unabhängig von der Naturschneelage 40 cm Schnee (Dichte: 450 kg/m^3) aufgebracht. Dies entspricht der gängigen Beschneigungspraxis (Steiger 2010). Die Grundbeschneigung ermöglicht den Saisonstart und stellt eine widerstandsfähige Unterlage dar.

Die daran folgende *Nachbeschneigung* soll den Skibetrieb bis zum geplanten Saisonende sicherstellen. In der Realität wird „auf Vorrat“ beschneit, da der zusätzliche Schnee zwar meist erst im Frühjahr benötigt wird, dann jedoch die nötige Kälte für die Beschneigung oftmals nicht mehr ausreichend gegeben ist. Dies bedeutet, dass im Dezember bis Februar für

das Saisonende im Voraus beschneit wird, ohne zu wissen, wie viel Schnee wirklich benötigt wird, damit der Betrieb bis zum geplanten Ende gesichert ist. In den Skigebieten existierten Erfahrungswerte, wie viel Wasser verschneit werden muss, damit man in den meisten Fällen bis zum Saisonende in Betrieb bleiben kann. Das „auf Vorrat schneien“ führt allerdings auch dazu, dass in schneereichen und/oder kalten Wintern mehr beschneit wird als nötig.

Diese Praxis ist im Modell ebenfalls abgebildet. Es wird eine „kritische Schneehöhe“ kalibriert, die die Nachbeschneuerung regelt. Fällt die simulierte Schneehöhe (Naturschnee und technischer Schnee) unter diesen Grenzwert, wird solange beschneit, bis der Grenzwert wieder erreicht wird. Der Grenzwert wird so kalibriert, dass ein Betrieb bis zum definierten Saisonende (z.B. 1. April) auf jeder Höhenlage in 90% aller Winter in einem 30-Jahreszeitraum sichergestellt ist. Der Grenzwert wird individuell für jede Höhenlage und jedes Klimaszenario kalibriert. Damit ist eine Anpassung der Schneipraxis an sich verändernde Rahmenbedingungen (Erwärmung) garantiert.

Mit zunehmender Erwärmung reduzieren sich einerseits die zur Verfügung stehenden ausreichend kalten Temperaturen (Schneistunden), andererseits verringert sich das Naturschneeangebot in manchen Höhenlagen und die Schneeschmelze verstärkt sich. Dies kann dazu führen, dass die mit heutiger Beschneuerungstechnologie produzierbare Schneemenge nicht mehr ausreicht, um die Saisonziele (z.B. Öffnung zu Weihnachten und Betrieb bis Ostern) erreichen zu können. Um eine Weiterentwicklung der Beschneuerungstechnik berücksichtigen zu können, wird außerdem der *Beschneigungsbedarf* berechnet. Dies ist die Schneemenge, die benötigt wird, um einen durchgehenden Betrieb von 15. Dezember bis 1. April garantieren zu können.

3.5 Modellannahmen

Für Simulation des Skibetriebs und der Beschneuerung wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit der Skigebiete eine Reihe von **Annahmen** getroffen, welche für alle Skigebiete dieselben sind:

- Skibetrieb ist ab einer Schneehöhe von 30 cm präparierter Skipiste (Dichte: 450 kg/m³) möglich
- Beschneuerung ist zwischen 1. November und 31. März bei entsprechender Temperatur möglich (gesetzliche Rahmenbedingungen)
- Es wird ab einer Lufttemperatur von -4°C beschneit (Berechnung auf stündlicher Basis)
- Die Kapazität beträgt 10 cm Schnee pro Tag (Dichte: 450 kg/m³)

- Eine Grundbeschneigung von 40 cm wird unabhängig von der Naturschneehöhe durchgeführt
- Die Nachbeschneigung wird so geregelt, dass ein Betrieb bis 1. April in 9 von 10 Wintern gewährleistet ist. Je nach Wintertyp kann die Saison jedoch auch deutlich früher starten oder später enden (in kühlen, schneereichen Jahren)
- Der physikalische Schneebedarf, unabhängig von der verfügbaren Beschneigungstechnologie, wird für den Zeitraum 15. Dezember bis 1. April berechnet. Es wird also davon ausgegangen, dass dies die übliche Saisondauer bayerischer Skigebiete widerspiegelt.
- 100% der Pistenfläche ist beschneit. Dies ist derzeit in keinem bayerischen Skigebiet erreicht, jedoch ist das Ziel dieser Studie, das Potenzial der Skigebiete darzustellen und einen Vergleich der Skigebiete zu ermöglichen. Dies ist nur bei einer einheitlichen beschneiten Pistenfläche der Fall.

Die **Schneesicherheit** wird mit zwei Indikatoren analysiert:

- 1) **100-Tage-Regel:** In der wissenschaftlichen Literatur werden 100 Betriebstage als betriebswirtschaftliche Grenze für einen rentablen Betrieb genannt (z.B. Abegg 1996). Wenn das Skigebiet auf der mittleren Höhe 100 Betriebstage in 7 von 10 Wintern erreicht, gilt es als schneesicher.
- 2) **Weihnachtsregel:** Da die Weihnachtsferien äußerst wichtig sind und in manchen Skigebieten 20-30 % des Winterumsatzes ausmachen (Steiger 2010), wird der Skibetrieb in dieser Periode gesondert betrachtet. Ein Skigebiet gilt als schneesicher, wenn ein Betrieb auf der mittleren Höhe an allen 14 Ferientagen in 7 von 10 Wintern gewährleistet ist (Scott et al. 2008, Steiger und Abegg 2013).

Für die Bestimmung der Schneesicherheit wird der Höhenbereich pro Skigebiet analysiert, oberhalb dessen mindestens 50% der Skipistenfläche liegen. Dies bedeutet, dass die Schneesicherheit auf mindestens 50% der Skipistenfläche gegeben sein muss, damit ein Skigebiet als schneesicher gelten kann.

Aus Gründen der leichteren Interpretierbarkeit der Ergebnisse und der Übersicht werden die beiden Indikatoren für Schneesicherheit und die schneesichere Pistenfläche in einer Schneesicherheitsklassifizierung vereint. In Vorstudien (Steiger 2010, Steiger und Trawöger 2011) wurden Skigebietsbetreiber befragt, welcher Anteil der Pisten geöffnet sein muss, so dass a) kaum Nachfrageeinbußen zu verzeichnen sind, b) Nachfrageeinbußen spürbar, aber aus finanzieller Sicht noch akzeptabel sind und c) ein rentabler Skibetrieb aufgrund der starken Nachfrageeinbrüche nicht mehr möglich ist. Diese genannten Bedingungen sind bei a) bei mindestens 80% geöffneter Pistenfläche gegeben, bei b) zwischen 50-80% Pistenange-

bot und bei c) bei weniger als 50% geöffneter Pisten. Mit diesen Grenzen wurde eine Schneesicherheit-Klassifizierung gebildet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Schneesicherheits-Klassifizierung

		Weihnachtsindikator		
		≥ 80	50-79	< 50
100-Tage-Indikator	Schneesichere Pistenfläche (%) ≥ 80	Exzellent	Sehr gut	Marginal
	50-79	Sehr gut	Gut	Schlecht
	< 50	---*	Schlecht	Sehr schlecht

* Diese Klasse ist in den Ergebnissen nicht belegt und deshalb hier auch mit keinem Prädikat versehen.

Basierend auf Steiger und Trawöger (2011).

3.6 Modellperformance

Da das Modell die Realität vereinfacht darstellt, wird eine Überprüfung der Modellperformance durchgeführt, um die Plausibilität der Ergebnisse besser einschätzen zu können. Dies ist aufgrund der Datenlage nur für die Naturschneewerte möglich, nicht aber bspw. für die Betriebsdauer oder die verschneiten Wassermengen in bayerischen Skigebieten.

Abbildung 4 zeigt die Modellperformance bei den modellierten Schneedeckentagen. Es sind die Mittelwerte für den Kalibrierungs- (1984/85-1989/90) und Validierungszeitraum (1990/91-1995/96) pro Wetterstation dargestellt. Punkte, die auf der gestrichelten Linie liegen, bedeuten keine Abweichung der modellierten von den gemessenen Werten. Wenn die Punkte rechts der Linie liegen, werden die Schneedeckentage im Modell überschätzt. Nachdem mehr Punkte rechts der Linie liegen, wird die Anzahl der Schneedeckentage im Modell tendenziell leicht überschätzt. Die Abweichung liegt aber im zufrieden stellenden Rahmen und ist vergleichbar mit ähnlichen Studien (Schmidt et al. 2012, Steiger und Abegg 2011, Steiger und Stötter 2013). Entscheidend ist auch, dass sich die Performance im Validierungszeitraum nicht systematisch vom Kalibrierungszeitraum unterscheidet, was auf Probleme bei der Kalibrierung hindeuten würde.

Die Performance des Gesamt-Modells inklusive Beschneigung und Extrapolation auf unterschiedliche Höhenlagen wurde anhand von drei Skigebieten in Tirol untersucht. Hierbei wick die modellierte Saisonlänge unter Berücksichtigung der Beschneigung im Mehrjahresmittel (was für Klimaanalysen ausschlaggebend ist) um nur einen Tag von der realen Saisondauer ab (Steiger 2010). Abschließend kann festgehalten werden, dass sich das Modell gut für den Anwendungszweck eignet. Es sei jedoch erwähnt, dass die produzierten Ergebnisse keine

Vorhersage darstellen, sondern unter den genannten Rahmenbedingungen, Annahmen und Einschränkungen zu sehen sind. Grundsätzlich sind mit dem Modell auch Detailstudien zu einzelnen Skigebieten mit individuellen Fragestellungen möglich, dazu sind allerdings deutlich detailliertere Daten erforderlich, welche nicht öffentlich verfügbar sind, sondern von den Skigebieten zur Verfügung gestellt werden müssen.

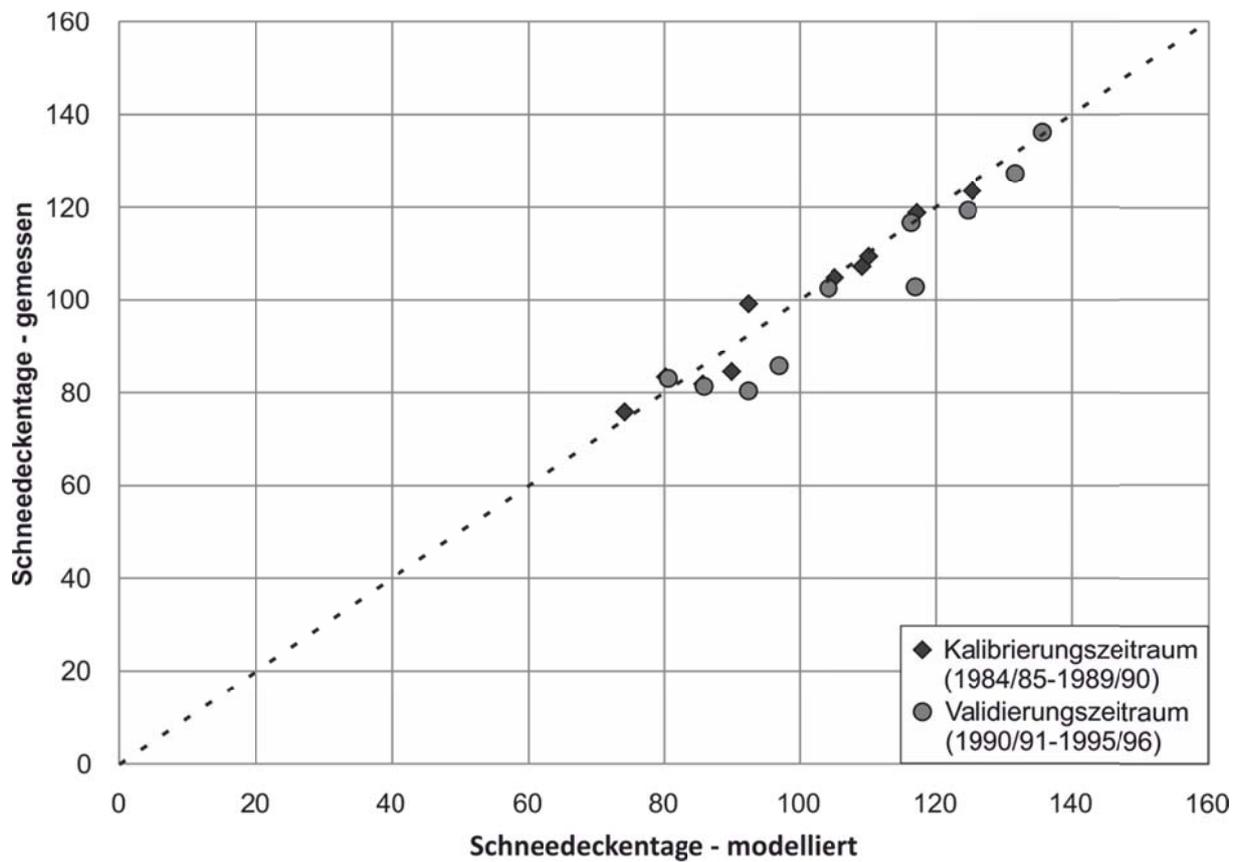


Abbildung 4: Modellperformance

4 Ergebnisse

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Modellergebnisse keine Vorhersagen darstellen. Die Ergebnisse unterliegen den getroffenen Annahmen (siehe Kap. 3.5) sowie den Modellunsicherheiten (siehe Kap. 3.6)

4.1 Schneesicherheit

Bei Anwendung der 100-Tage-Regel auf der mittleren Höhenlage der Skigebiete (50% der Pistenfläche liegt oberhalb dieser Höhengrenze) sind heute 50 % der 46 untersuchten Skigebiete als natürlich schneesicher zu bezeichnen. Alle restlichen, nicht natürlich schneesicheren Skigebiete können mittels aktueller Beschneigungstechnologie schneesicher gemacht werden (Abbildung 5). Der Anteil der schneesicheren Skigebiete nimmt recht rasch mit zunehmender Erwärmung ab. Bei +2,0°C sind nur noch 9 % der Skigebiete natürlich schneesicher, weitere 30 % sind mit Beschneigung sicher, die restlichen 61 % sind allerdings nicht mehr schneesicher. Die detaillierten Werte können Abbildung 5 und den Tabellen 3-4 im Anhang entnommen werden.

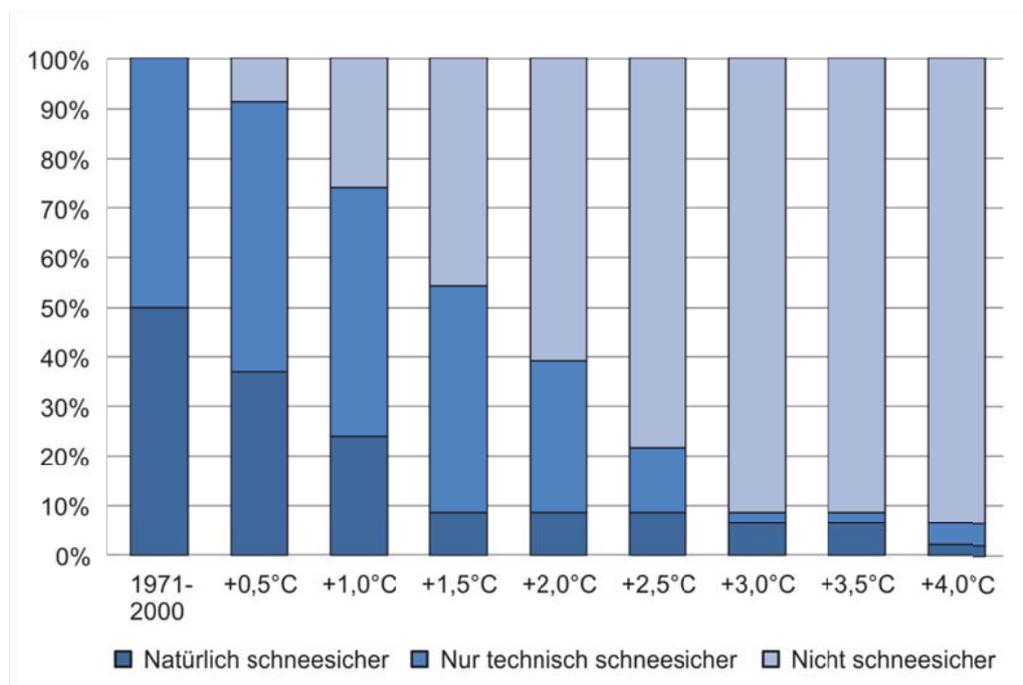


Abbildung 5: Anteil der schneesicheren Skigebiete (100-Tage-Regel)

Bei Betrachtung der Weihnachtsregel auf der mittleren Höhenlage der Skigebiete wird deutlich, dass diese Regel strenger als die 100-Tage-Regel ist und geringere Anteile an schneesicheren Skigebieten aufweist. Dies liegt daran, dass Weihnachten verhältnismäßig früh in der Saison und somit anfälliger ist. So sind heute 26 % der Skigebiete zu Weihnachten na-

türlich schneesicher. Weitere 59 % können mit Beschneigung die Weihnachtssaison sichern, 15 % schaffen dies auch mit Beschneigung nicht. Der Anteil der schneesicheren Skigebiete sinkt mit zunehmender Erwärmung noch stärker als bei der 100-Tage-Regel. Dies bedeutet, dass die Weihnachtsferien sich immer weniger für Skiurlaub eignen würden. Bei +2,0°C wären nur noch 4 % der Skigebiete natürlich schneesicher, lediglich weitere 9 % schneesicher mit Beschneigung und 87 % wären nicht mehr schneesicher (Abbildung 6). Die detaillierten Werte können den Tabellen 5-6 im Anhang entnommen werden.

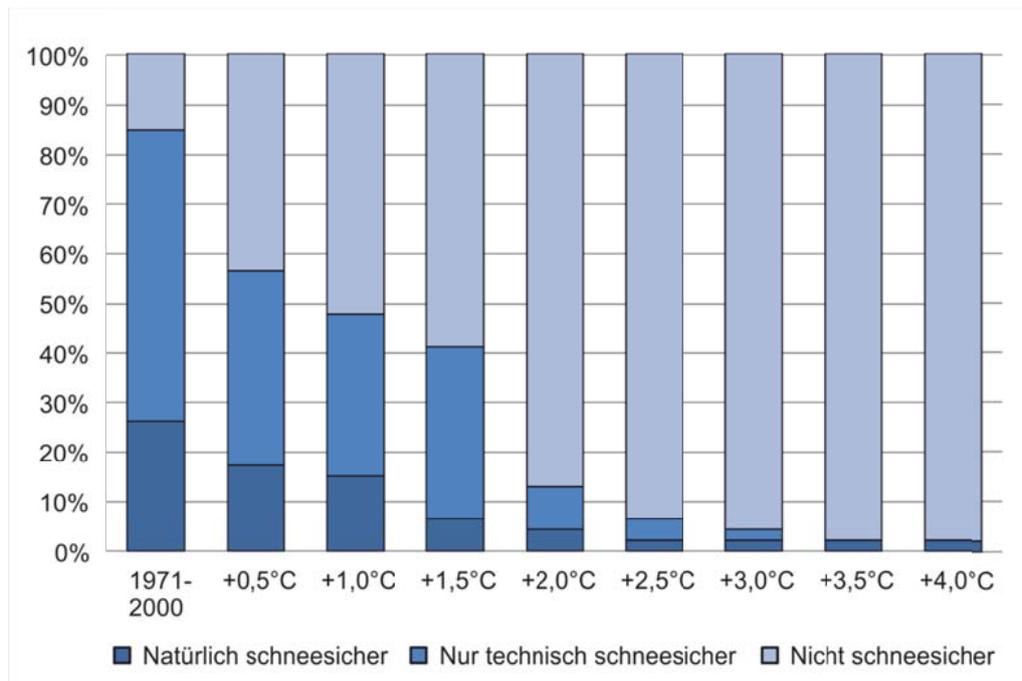


Abbildung 6: Anteil der schneesicheren Skigebiete (Weihnachtsregel)

Die langfristige Entwicklung zeigt also ein recht düsteres Bild für den Skitourismus im bayerischen Alpenraum - unter der Annahme, dass sich die Beschneigungstechnik nicht wesentlich weiter entwickelt. Die üblichen Abschreibungszeiträume liegen bei der Skigebietsinfrastruktur (Lifte, Beschneigungsanlagen) im Bereich von 10-20 Jahren. Gegenwärtige Planungen in den Skigebieten gehen also kaum über das Jahr 2030 hinaus. Bis dahin ist mit einer Erwärmung von bis zu 1,5°C auszugehen (siehe Kap. 3.2). Die Modellergebnisse zeigen aber auch bei dieser Erwärmung schon einen deutlichen Rückgang der Schneesicherheit, die aber je nach Skigebiet und Region unterschiedlich sein kann.

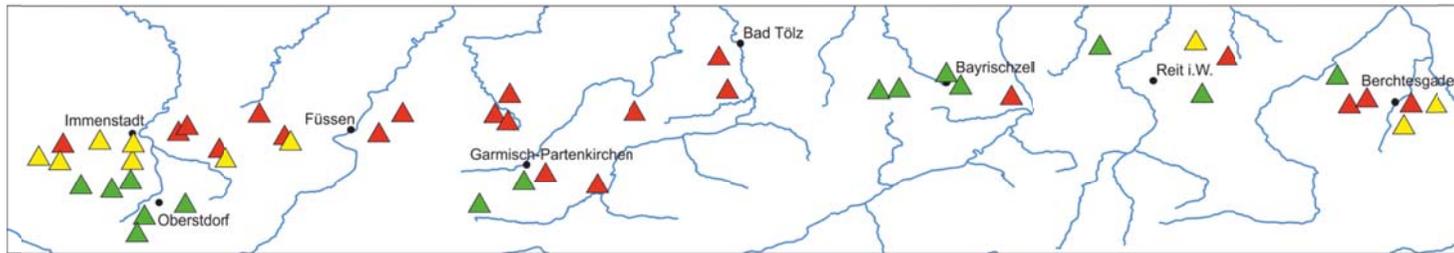
Die heute natürlich schneesicheren Gebiete konzentrieren sich auf die nähere Umgebung von Oberstdorf und Bayrischzell sowie wenige Skigebiete bei Garmisch-Partenkirchen, Reit im Winkl und Berchtesgaden. Eine Reihe von Skigebieten bei Immenstadt erfüllt zwar die 100-Tage-Regel, nicht jedoch die Weihnachtsregel (Abbildung 8). Schon eine nur mäßige

Erwärmung führt zu einer Konzentration der schneesicheren Skigebiete um Oberstdorf, Garmisch-Partenkirchen und Bayrischzell (Spitzingsee, Sudelfeld, Wendelstein). Bei +2,0°C sind nur noch die höchst gelegenen Skigebiete Zugspitze und Nebelhorn natürlich schneesicher, das Fellhorn und Grasgehren noch bedingt schneesicher (=nur 100-Tage-Regel erfüllt). Unter Berücksichtigung der Beschneigung sind, wie schon erwähnt, heute alle Skigebiete zumindest bedingt schneesicher, die überwiegende Mehrheit ganz schneesicher (Abbildung 9). Allerdings zeigen sich schon bei einer Erwärmung von 0,5°C deutliche Veränderungen, vor allem im Bereich Immenstadt über Füssen und Bad Tölz, also die nördlichsten Regionen des Untersuchungsgebiets. Ab einer Erwärmung von 1,5°C konzentrieren sich die nicht mehr schneesicheren Gebiete v.a. auf den Bereich Immenstadt-Füssen, Bad Tölz sowie Berchtesgaden (Abbildung 10). Ähnlich zu den Naturschneeergebnissen reduzieren sich die schneesicheren Gebiete auf längere Sicht auf das Fell- und Nebelhorn sowie die Zugspitze (Abbildung 11).

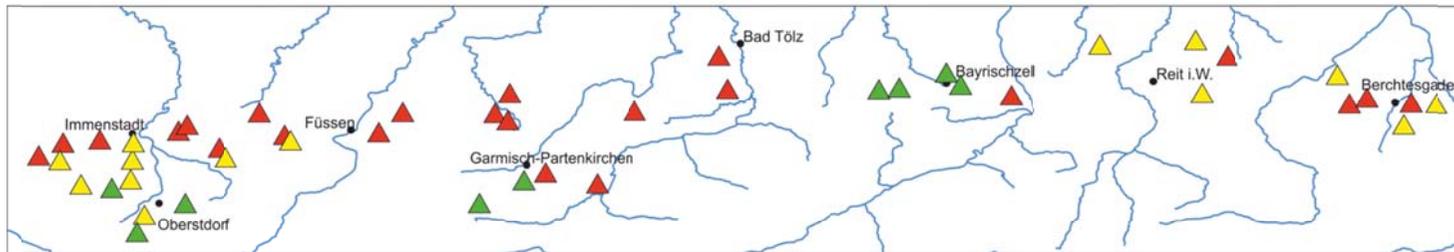
Der Nutzen der Beschneigung in diesen Skigebieten ist, aufgrund der trotz Beschneigung großen Klimasensitivität auch innerhalb der Abschreibungszeiträume, fragwürdig. Nach den getroffenen Modellannahmen könnte die klimatische Grenze der Beschneigung in diesen Skigebieten schon in ein bis zwei Jahrzehnten erreicht sein. Dies bedeutet nicht, dass gar kein Skibetrieb mehr möglich ist, sondern dass ein geregelter, ausreichend langer Betrieb zum wirtschaftlichen Betreiben unter Umständen nicht mehr gegeben ist. Andererseits ist eine Reihe von Skigebieten im selben Zeitraum mit Beschneigung noch gut abzusichern. Hier kann die Beschneigung ihren Zweck zumindest mittelfristig noch erfüllen. Dies bedeutet, dass die Beschneigung pauschal weder die Lösung für den Klimawandel darstellt, noch dass Beschneigung per se ungeeignet ist zur Anpassung an klimatische Veränderungen. Die lokalen klimatischen Verhältnisse sowie die Struktur des Skigebiets spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die klimatische Erwärmung den erforderlichen Beschneigungsbedarf ansteigen lassen wird.

Schneesicherheit mit Naturschnee

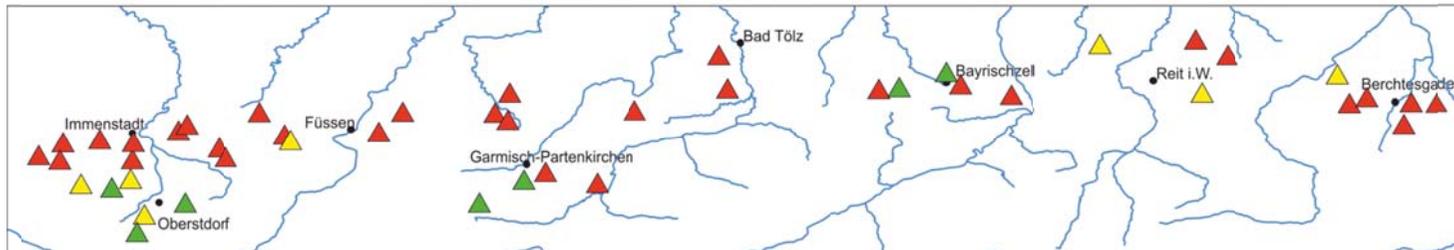
1971-2000



+0,5°C



+1,0°C



Schneesicherheit

▲ Schneesicher - 100-Tage Regel und Weihnachtsregel erfüllt

▲ Bedingt schneesicher - nur 100-Tage Regel erfüllt

▲ Nicht schneesicher - keine Regel erfüllt

Abbildung 7: Entwicklung der natürlichen Schneesicherheit im bayerischen Alpenraum bis +1,0°C

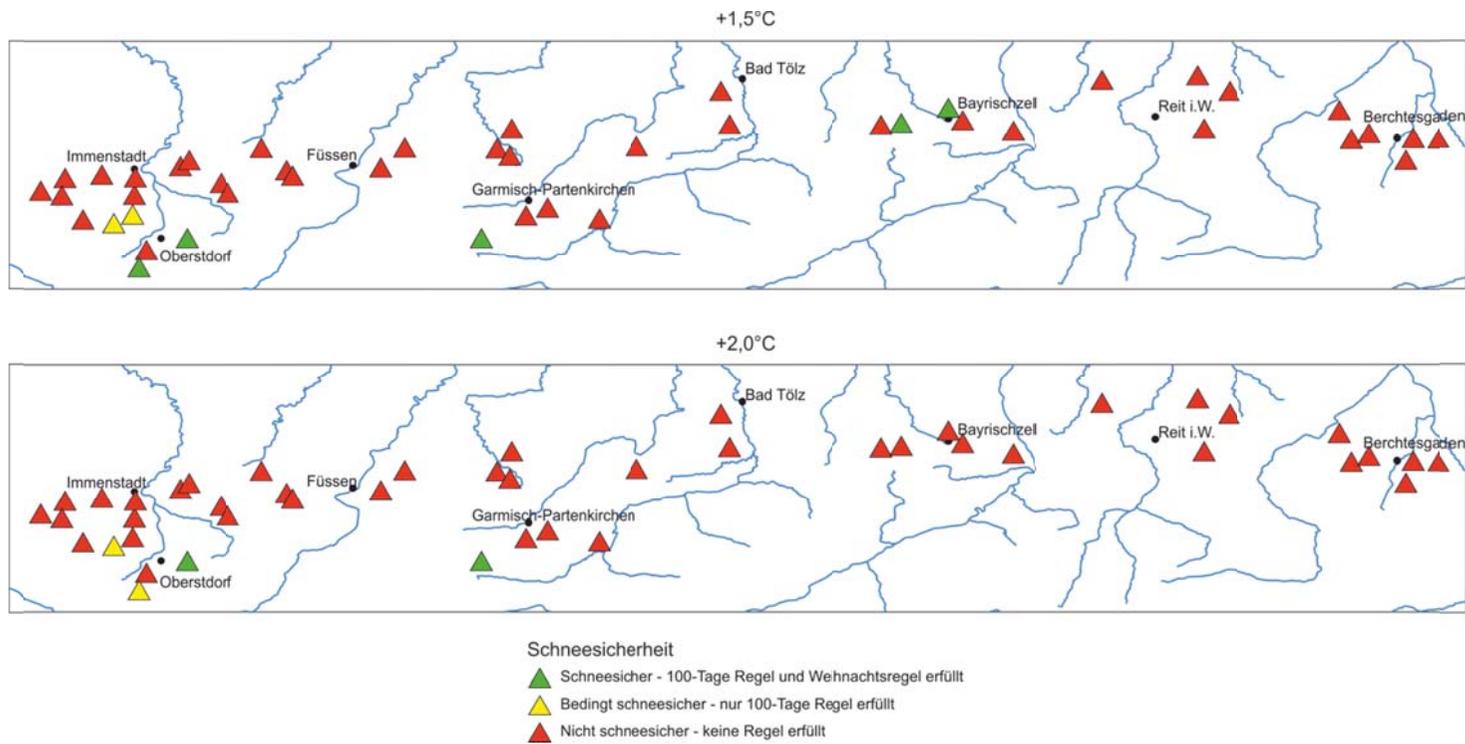
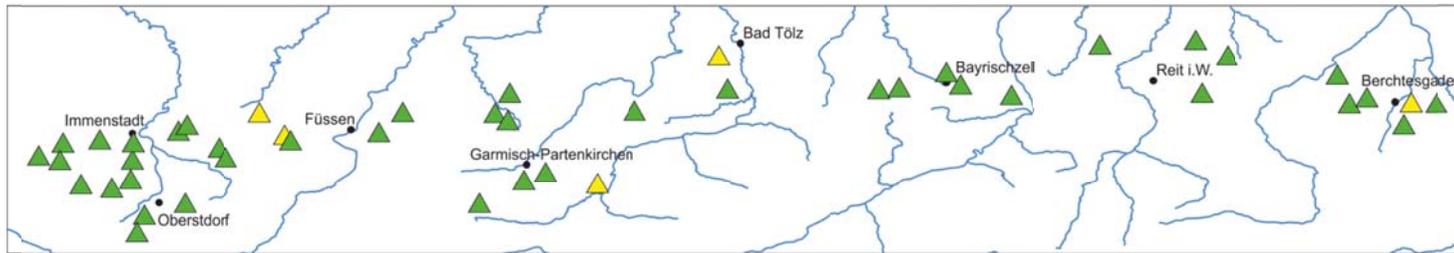


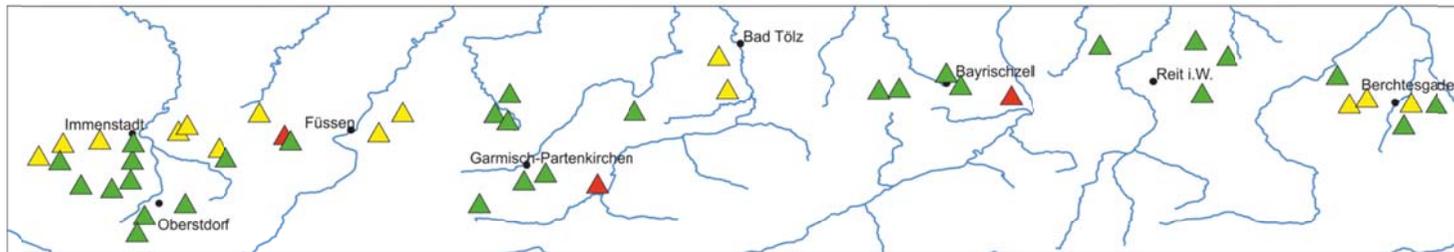
Abbildung 8: Entwicklung der natürlichen Schneesicherheit im bayerischen Alpenraum bei +1,5°C und +2,0°C

Schneesicherheit mit Beschneigung

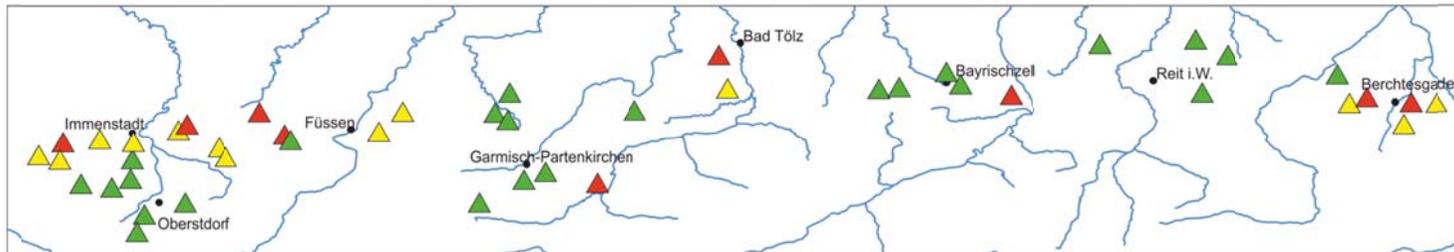
1971-2000



+0,5°C



+1,0°C



Schneesicherheit

▲ Schneesicher - 100-Tage Regel und Weihnachtsregel erfüllt

▲ Bedingt schneesicher - nur 100-Tage Regel erfüllt

▲ Nicht schneesicher - keine Regel erfüllt

Abbildung 9: Entwicklung der Schneesicherheit mit Beschneigung im bayerischen Alpenraum bis +1,0°C

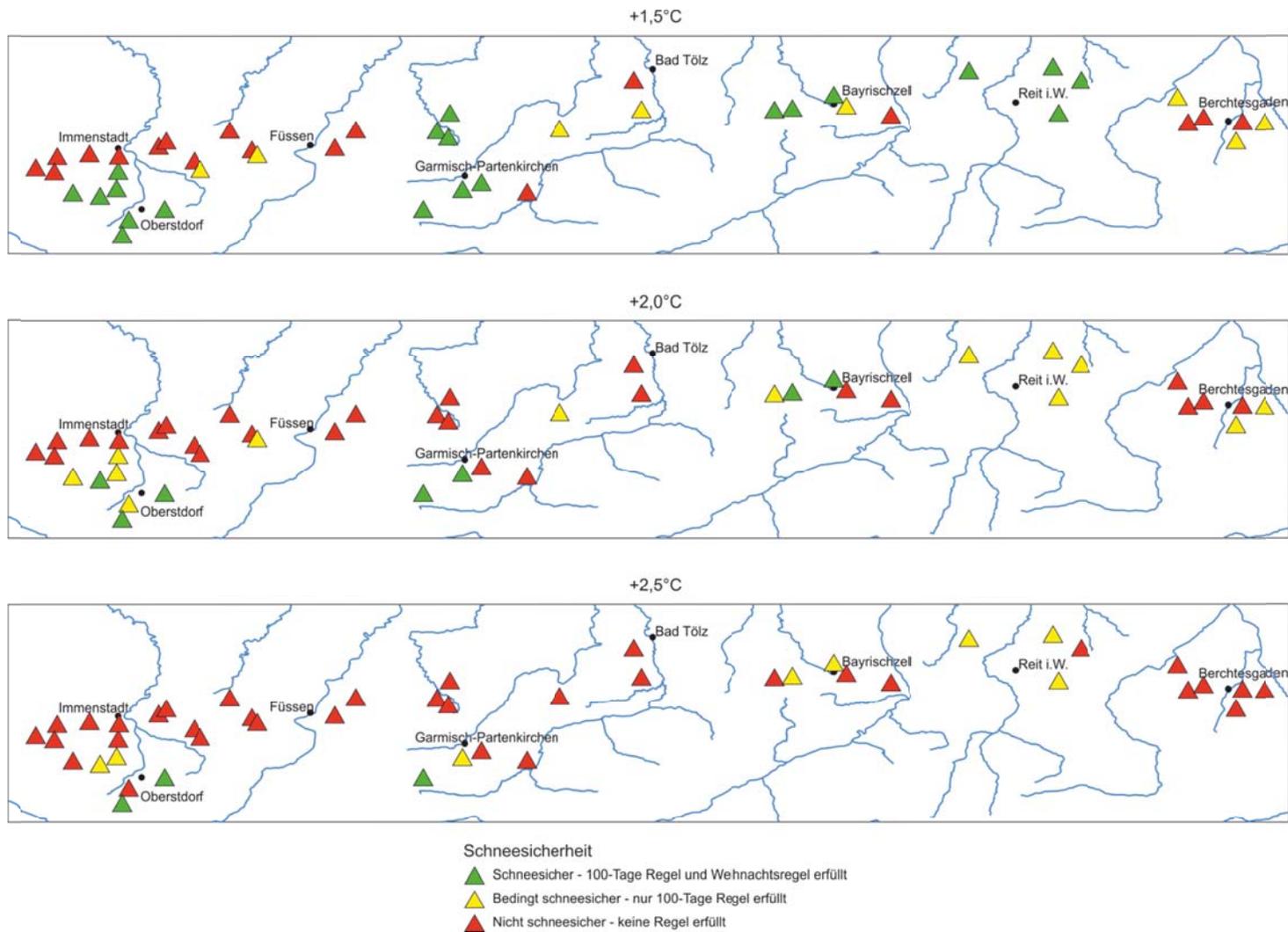


Abbildung 10: Entwicklung der Schneesicherheit mit Beschneigung im bayerischen Alpenraum bei +1,5°C und +2,5°C

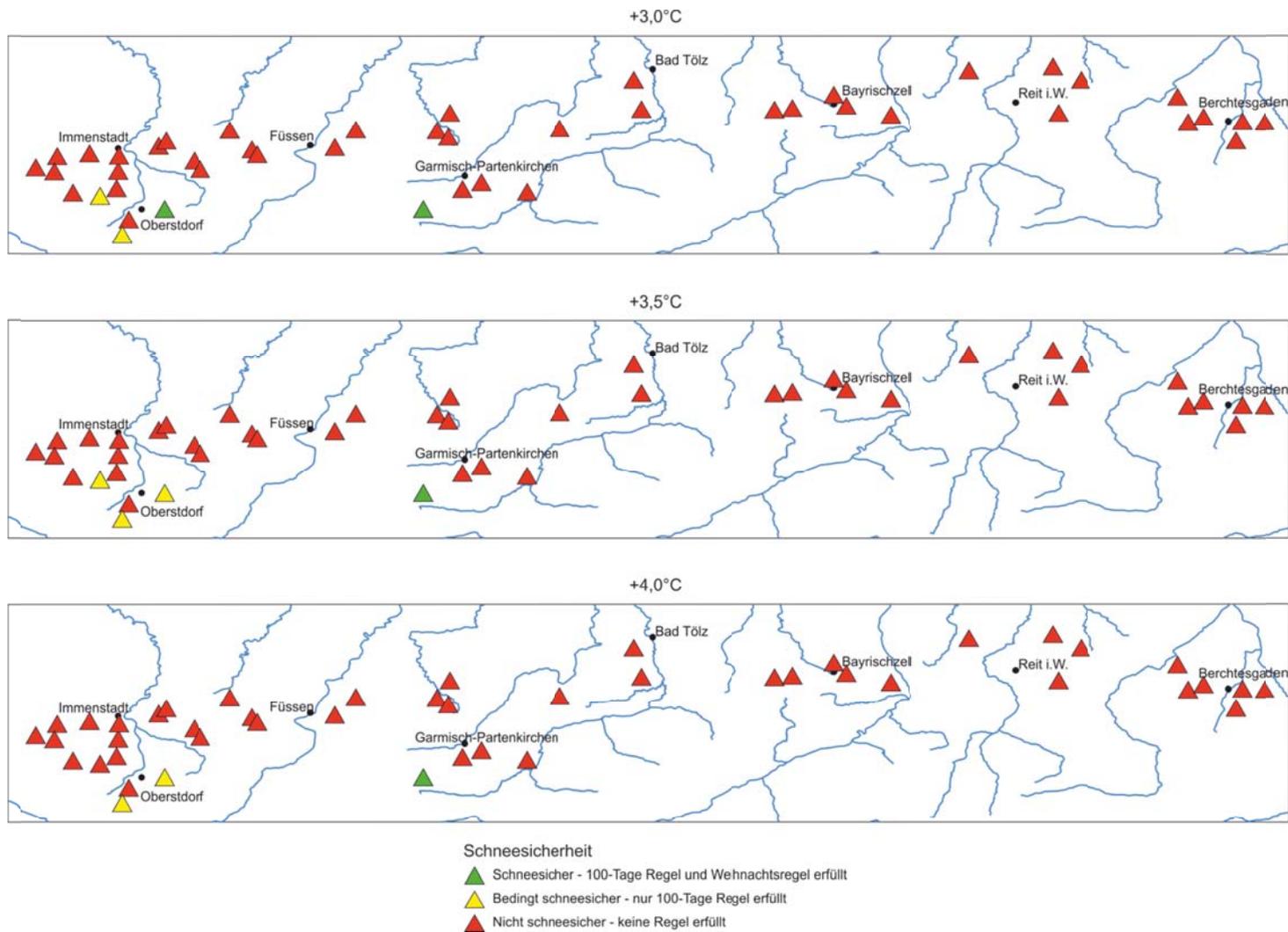


Abbildung 11: Entwicklung der Schneesicherheit mit Beschneigung im bayerischen Alpenraum bei +3,0°C bis +4,0°C

4.2 Beschneigungsbedarf

Die für die gewünschte Saisonlänge (definiert von 15. Dezember bis 1. April) nötige Kunstschneemenge, unabhängig von der verfügbaren Beschneigungstechnologie, steigt mit der Erwärmung – aufgrund weniger Naturschnees und mehr Schmelzenergie – an. Um die zeitliche Entwicklung des Beschneigungsbedarfs darstellen zu können, wurden die modellierten benötigten Schneemengen der einzelnen Skigebiete (in m³ Schnee) zu ihren Pistenflächen ins Verhältnis gebracht, wodurch sich ein Schneewert in cm ergibt (vgl. Tab. 7 im Anhang). Dieser stellt zu Vergleichszwecken die durchschnittlich im Skigebiet zu produzierende Schneemenge dar. In Abbildung 12 sind die Werte des Skigebiets, das am wenigsten Beschneigung benötigt, das die meiste Beschneigung benötigt, sowie der Mittelwert aller Skigebiete dargestellt. Die Zugspitze wurde in dieser Abbildung nicht berücksichtigt, da aus klimatischer Sicht dort Beschneigung weder heute noch in der Zukunft nötig ist. Aufgrund der Modelllogik wird jedoch trotzdem die Grundbeschneigung von 40 cm aufgebracht, welche sich auch bis zu einer Erwärmung von 4°C nicht verändert. Da es sich hierbei um einen Spezialfall handelt, wurde die Zugspitze in der Abbildung nicht berücksichtigt.

So müssten bayerische Skigebiete heute, wenn alle Skigebiete 100 % ihrer Fläche beschneien würden, im Durchschnitt 60 cm Schnee pro Saison produzieren (Abbildung 12). Ein Vergleich dieser Modellwerte mit Realdaten aus Österreich aus anderen alpS-Projekten, welche in einem sehr ähnlichen Bereich liegen, lässt diesen Wert als sehr realistisch erscheinen. Die durchschnittliche Schneemenge steigt im Vergleich zu heute bei +1°C um 28 % an (von 60 auf 77 cm), bei +2°C um 74 % (105 cm), bei +3°C um 131 % (140 cm) und bei +4°C um 168 % (185 cm). Betrachtet man die maximale Steigerung pro Szenario, also das Skigebiet, bei dem die jeweils stärkste Steigerung nötig wäre, so sind dies bei +1°C 69 %, bei +2°C 124 %, bei +3°C 217 % und bei +4°C 331%. Der Beschneigungsbedarf steigt also in manchen Gebieten in wenigen Jahrzehnten um das Doppelte, in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wahrscheinlich um das drei- bis vierfache an. Selbst wenn eine Technologie existieren wird, die eine temperaturunabhängige, flächige Beschneigung ermöglicht, so erscheint es aus heutiger Sicht aus ökonomischer sowie ökologischer Sicht nicht tragbar.

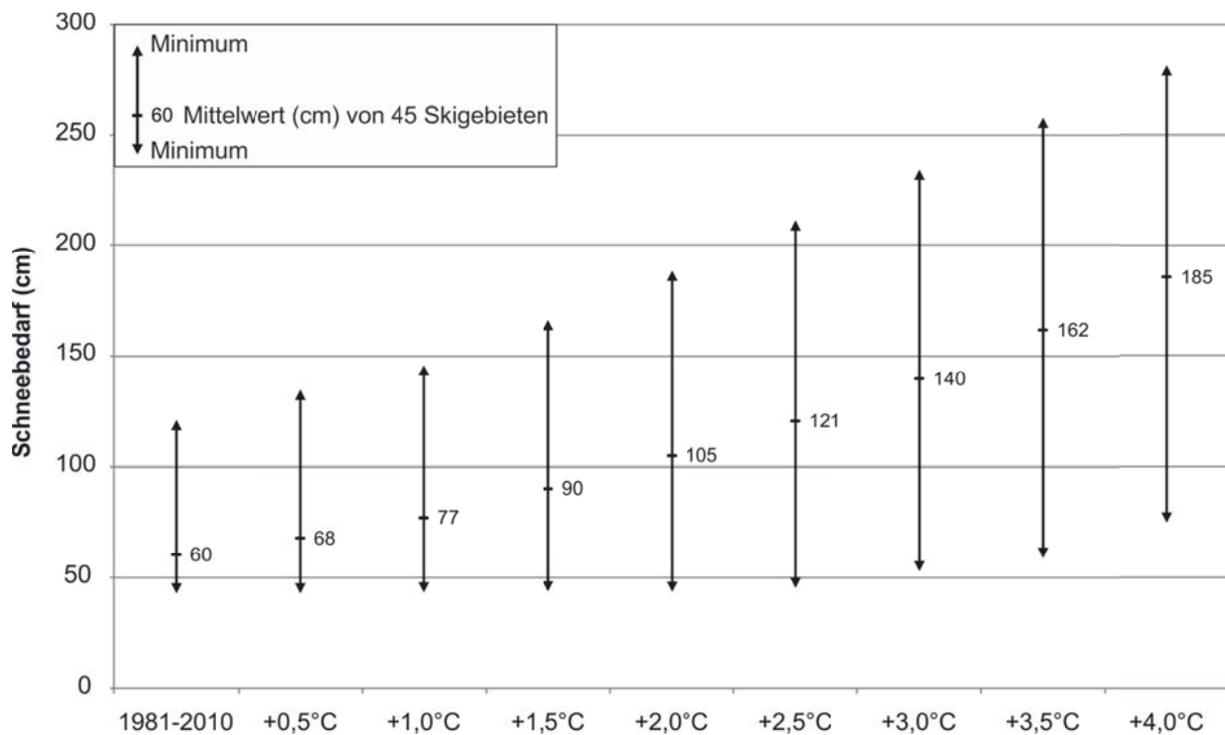


Abbildung 12: Beschneigungsbedarf bayerischer Skigebiete*

*Ohne Zugspitze

Es ist fraglich, inwieweit die Skigebiete in der Lage sein werden, derartige Kostensteigerungen zu tragen. Skigebiete in Tirol wenden derzeit zwischen 10 und 20 % ihres Umsatzes für die Beschneigung auf (Steiger 2010). Vor allem auch in Hinblick auf die räumlich nahe Konkurrenz in Westösterreich, die aufgrund größer dimensionierter und höher gelegener Skigebiete klar im Vorteil ist und auch leichter Preissteigerungen durchsetzen kann, erscheint eine Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit bayerischer Skigebiete als wahrscheinlich.

Neben der Kostenfrage ist auch der Ressourcenverbrauch kritisch zu betrachten: Eine Vervielfachung der benötigten Wassermenge setzt entsprechend verfügbare Fließgewässer voraus bzw. ausreichend große Wasserspeicher, um genügend Wasser in möglichst kurzer Zeit zur Verfügung zu haben. Die Standortwahl für entsprechend groß dimensionierte Speicherbecken ist aus geologischer Sicht (z.B. Karst) eine große Herausforderung in bayerischen Skigebieten. Des Weiteren stellen derartig große Wasserflächen – da aus Betriebsicht im Idealfall möglichst weit oben platziert – einen spürbaren Eingriff in das vorhandene Kulturlandschaftsbild dar und werden somit auch von Umwelt- und Alpinverbänden kritisiert (Der Bergsteiger 2012). Ein weiterer kritischer Punkt ist der steigende Energieverbrauch. Dieser wird aufgrund der derzeitigen Technik deutlich stärker steigen als der Wasserverbrauch, da die Beschneigungstechnik bei höheren Temperaturen weniger effizient arbeitet – im Extremfall um den Faktor fünf (Teich et al. 2007). In den letzten 20 Jahren konnten zwar

deutliche Effizienzgewinne bei der Beschneigungstechnik erzielt werden, jedoch ist in den letzten Jahren eine deutliche Verlangsamung zu erkennen (Lang 2009), was darauf hindeutet, dass für markante Effizienzsteigerungen ein technologischer Sprung nötig ist. Die Hersteller von Beschneigungsanlagen sehen nur mehr geringen Spielraum für Effizienzgewinne, da die physikalischen Grenzen bald erreicht sind (Urschler 2012, pers. Mitteilung). Somit muss davon ausgegangen werden, dass die hier gezeigten Steigerungen bei weitem nicht durch Effizienzgewinne abgedeckt werden können. Folglich muss eine derartige Entwicklung auch als nicht nachhaltig bezeichnet werden.

4.3 Energiebedarf der Beschneigung

Der Energiebedarf der Beschneigung ist einer großen Bandbreite unterworfen. Dies beruht zum Einen auf der eben erwähnten Tatsache, dass Beschneigungsanlagen bei höheren Temperaturen weniger energieeffizient arbeiten als bei Optimaltemperaturen. Die Angaben in der Literatur unterscheiden sich aber auch dadurch, dass z.T. nur die von den Kanonen benötigte Energie, nicht aber die noch zusätzlich nötige Pumpenenergie zur Bereitstellung des Wassers berücksichtigt wurde. Grundsätzlich ist der individuelle Energieverbrauch stark abhängig von der Anlagenart, d.h. Wasserentnahme aus Fließgewässern oder Speicherteichen, Position der Wasserfassung (oben: weniger Pumpenaufwand, unten: hoher Pumpenaufwand), Typen der Schneeerzeuger (Kanonen/Lanze) und dem Alter der Anlage (neu: energieeffizienter). Nicht zuletzt ist der Energieverbrauch pro m^3 Schnee auch von der Schneipraxis abhängig, d.h. bei welchen Temperaturen in der Regel beschneit wird.

Um eine Angabe über den Energieverbrauch von Beschneigungsanlagen machen zu können, wurden verschiedene Angaben der Literatur zusammen geführt. Das Ergebnis dieser Literaturrecherche sei hier kurz angeführt:

Das Bayerische Landesamt für Umwelt gibt einen Bereich von 3-5 kWh pro m^3 Schnee an (LfU 2008). Hier ist jedoch nicht weiter ausgeführt, auf welche Temperaturbereiche und Anlagenart sich die Werte beziehen, ebenso ist nicht ersichtlich, ob die Pumpenleistung berücksichtigt ist. Eine Schweizer Studie im Auftrag der Schweizer Bergbahnen gibt einen Wert von 2,8 kWh/ m^3 Schnee an (Zegg et al. 2010), auch hier ohne weitere Informationen. In einer Präsentation anlässlich der D-A-CH Seilbahntagung 2010 verweist der Betriebsleiter der Leoganger Bergbahnen (Österreich) auf Daten der sattler energie consulting GmbH mit einem spezifischen Energieverbrauch von 5-10 kWh/ m^3 Schnee. Die detailliertesten Informationen sind in Teich et al. (2007) zu finden. Für Kanonen sind dort 3 kWh/ m^3 Schnee bei -3°C ohne Pumpenleistung und 5 kWh/ m^3 mit Pumpenleistung angegeben, bei -10°C 1 kWh/ m^3 inklusive Pumpenleistung. Es wird weiter darauf verwiesen, dass Lanzen einen niedrigeren Energieverbrauch pro m^3 Schnee aufweisen als Kanonen.

Zusammenfassend erscheinen 5 kWh/m³ inklusive Pumpenleistung als realistische Größe wenn man die komplette Bandbreite der Angaben zwischen 1-10 kWh/m³ berücksichtigt. Dieser Wert wird für die weitere Berechnung des Energiebedarfs verwendet. So ergibt der gemittelte Wasserverbrauch aller Skigebiete (ohne Zugspitze) für heute einen Wert von 2.698 m³ Wasser pro Hektar Skipistenfläche (Bandbreite der Skigebiete von 1.934-5.444 m³/ha). Dies entspricht einem Energieverbrauch von 29.981 kWh pro Hektar (Bandbreite 21.485-60.485 kWh/ha). Bei +1°C erhöhen sich die Wasserwerte auf 3.432 m³/ha (1.955-6.560 m³/ha), die Energiewerte auf 38.133 kWh/ha (21.723-72.894 kWh/ha). Bei +2°C steigen die Werte auf 4.657 m³/ha (1.965-8.480 m³/ha) bzw. 51.746 kWh/ha (21.832-94.221 kWh/ha). Bei +4°C ergibt sich ein Wasserverbrauch von 8.206 m³/ha (3.357-12.662 m³/ha) und ein Energieverbrauch von 91.172 kWh/ha (37.303-140.684 kWh/ha) (Abbildung 13). Zum Vergleich: Ein Zweipersonenhaushalt in Deutschland verbraucht etwa 3030 kWh pro Jahr (LfU 2008).

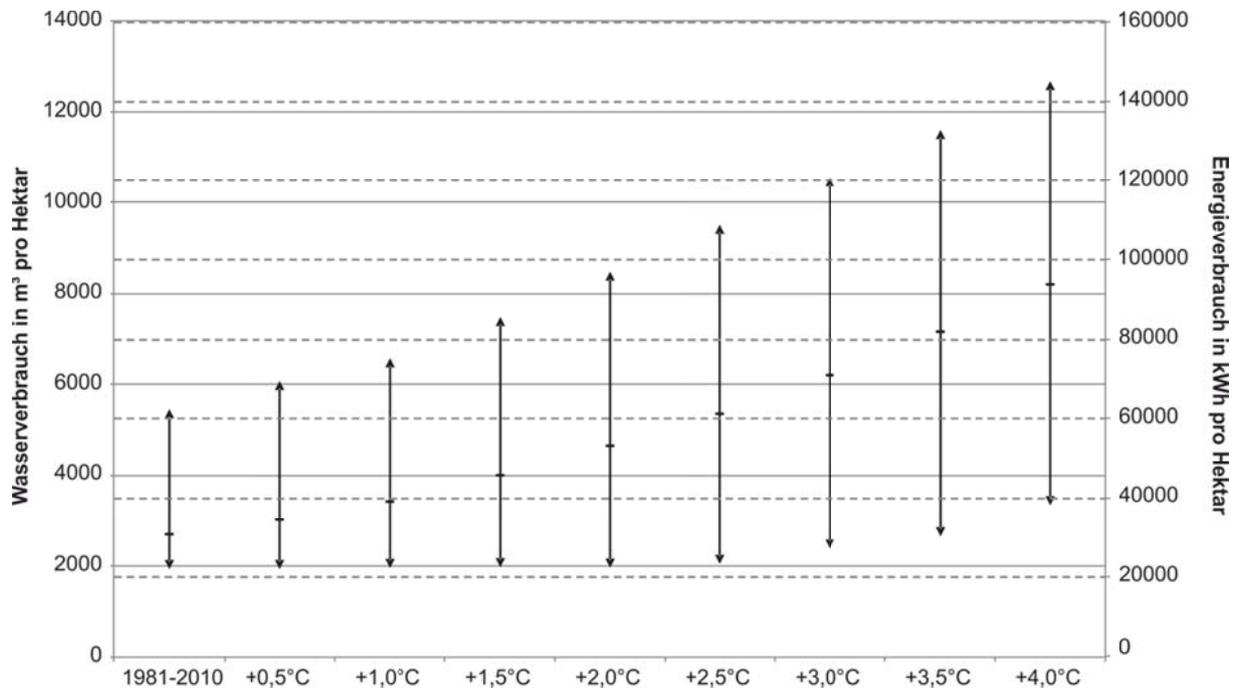


Abbildung 13: Wasser- und Energieverbrauch des Schneebedarfs

4.4 Spezielle Betrachtung der Ergebnisse bei Nord- und Südhängen

Die im SkiSim Modell verwendeten Schmelzraten sind pro Klimastation kalibriert. Dies bedeutet, dass die Schmelzraten für ebene Flächen repräsentativ sind. Aufgrund der je nach Exposition der Hänge unterschiedlichen Besonnung und somit verfügbaren Schmelzenergie ist davon auszugehen, dass die Länge der Skisaison auf nordexponierten Hängen länger, auf südexponierten Hängen kürzer ausfällt, als in den Ergebnissen angeführt. Die Exposition wurde im Modell bisher nicht berücksichtigt, da die Modellergebnisse mit Berücksichtigung von Exposition nicht überprüft werden können, aufgrund dessen, dass sich Klimastationen üblicherweise in ebenem Gelände befinden.

Eine Analyse der Pistenverteilung nach Exposition ergibt, dass 54 % der Pisten im bayerischen Alpenraum eine nördliche Exposition aufweisen (Abbildung 14). Auf Wunsch des Auftraggebers wurde eine prototypische Modellierung für Nord- und Südhänge durchgeführt. Dabei wurde auf eine Methodik von Hottellet et al. (1993) zurückgegriffen, bei der die Schmelzrate auf Südhängen um den Faktor 1,5 erhöht, auf Nordhängen um 1,5 gesenkt wird. In Tabelle 2 sind die Unterschiede der Modellergebnisse für Nord- und Südhänge im Vergleich zu den Standardergebnissen (siehe Kap. 4.1 und 4.2) aufgeführt.

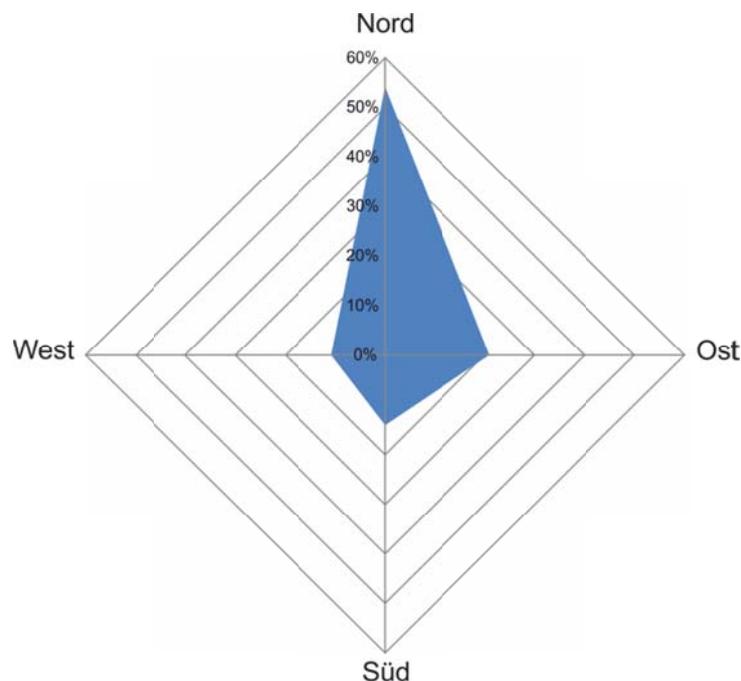


Abbildung 14: Anteil der Pistenflächen im bayerischen Alpenraum nach Exposition

Die Naturschneesaison ist demnach heute auf Nordhängen um rund 2 Wochen länger und auf Südhängen um 3 Wochen kürzer als in der Standardvariante des Modells. Anders ausgedrückt beträgt der Unterschied zwischen Nord- und Südhängen 5 Wochen, was einen

plausiblen Wert darstellt und durch Interviews mit Seilbahnbetreibern in Tirol (durchgeführt 2007-2008) bestätigt ist. Die Schneesicherheit mit Beschneigung ist auf Nordhängen in allen verwendeten Klimaszenarien zu Weihnachten nur geringfügig besser, bei Verwendung der 100-Tage-Regel ist der Vorteil von Nordhängen besser sichtbar (200-300 Höhenmeter). Der Unterschied zwischen der Weihnachts- und 100-Tage-Regel ist darin begründet, dass für den Skibetrieb zu Weihnachten weniger die potenzielle Schmelzenergie (welche auf Nordhängen geringer ist) eine Rolle spielt, sondern vielmehr die Anzahl an verfügbaren Beschneigungsstunden (also ausreichend kalten Temperaturen, v.a. in der Nacht), welche auf Nord- und Südhängen im Hochwinter recht ähnlich sein dürften. Bei Anwendung der 100-Tage-Regel wird die potenzielle Schmelze wichtiger, da hier auch Perioden im Februar-April mit hoher Strahlung inkludiert sind.

Der Schneebedarf ist auf Nordhängen um rund ein Drittel geringer, als in den bisherigen Ergebnissen angeführt, auf Südhängen um rund 50% erhöht. Auch dies entspricht den Aussagen der Tiroler Skigebietsbetreiber. Zusammenfassend bedeutet dies, dass Skigebiete mit einem hohen Anteil an Nordhängen in der Realität vermutlich eine bessere Schneesicherheit und geringere Beschneigungskosten aufweisen können, als im Modell dargestellt. Die bessere Schneesicherheit auf Nordhängen (um 200-300m) kann in etwa eine Erwärmung von 1°C ausgleichen, beim Weihnachtsbetrieb ergeben sich kaum Unterschiede.

Tabelle 2: Änderung der SkiSim Ergebnisse auf Nord- und Südhängen

	Exposition	
	Nord	Süd
Naturschneesaison	2 Wochen länger	3 Wochen kürzer
Höhenlage Schneesicherheit 100 Tage	200-300m niedriger	400-500m höher
Höhenlage Schneesicherheit Weihnachten	100m niedriger	200-300m höher
Kunstschneemenge	um rund 1/3 geringer	um rund 50% erhöht

Um die Relevanz der Unterschiede bei Berücksichtigung der Exposition zu verdeutlichen, wurden die Ergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Exposition exemplarisch für das Skigebiet Sudelfeld verglichen. Das Sudelfeld hat im Verhältnis zur gesamten Pistenfläche im bayerischen Alpenraum einen überdurchschnittlichen Anteil an nordexponierten Pisten (64 %) und einen unterdurchschnittlichen Anteil an süd- sowie west- und ost-exponierten

Pisten. Folglich ist zu erwarten, dass die Ergebnisse mit Berücksichtigung der Exposition deutlich optimistischer sind als ohne Berücksichtigung der Exposition.

Der Anteil der schneesicheren Pistenfläche bei Anwendung der 100-Tage-Regel ist nur im 1,5°C (13 Prozentpunkte - PP) und 2,5°C Szenario (15 PP) geringfügig besser, wenn die Exposition berücksichtigt wird (Abbildung 15). Bei Anwendung der Weihnachtsregel ist der Effekt noch geringer mit je 12 PP im 1°C und 1,5°C Szenario und 5 PP im 2°C Szenario (Abbildung 16).

Der Schneebedarf im Referenzzeitraum und den gemäßigteren Erwärmungsszenarien ist in beiden Berechnungsvarianten sehr ähnlich (Abbildung 17). Ab 1,5°C ist der Schneebedarf bei Berücksichtigung der Exposition um 15 % geringer als in der Standardversion.

Es kann geschlussfolgert werden, dass eine Berücksichtigung der Exposition die Ergebnisse zwar verändert, aber letztlich nur unwesentlich in einigen wenigen Szenarien. Am Gesamtbild ändert sich hingegen nichts. Folglich ist die Nicht-Berücksichtigung in den Gesamtergebnissen auch als wenig problematisch einzustufen.

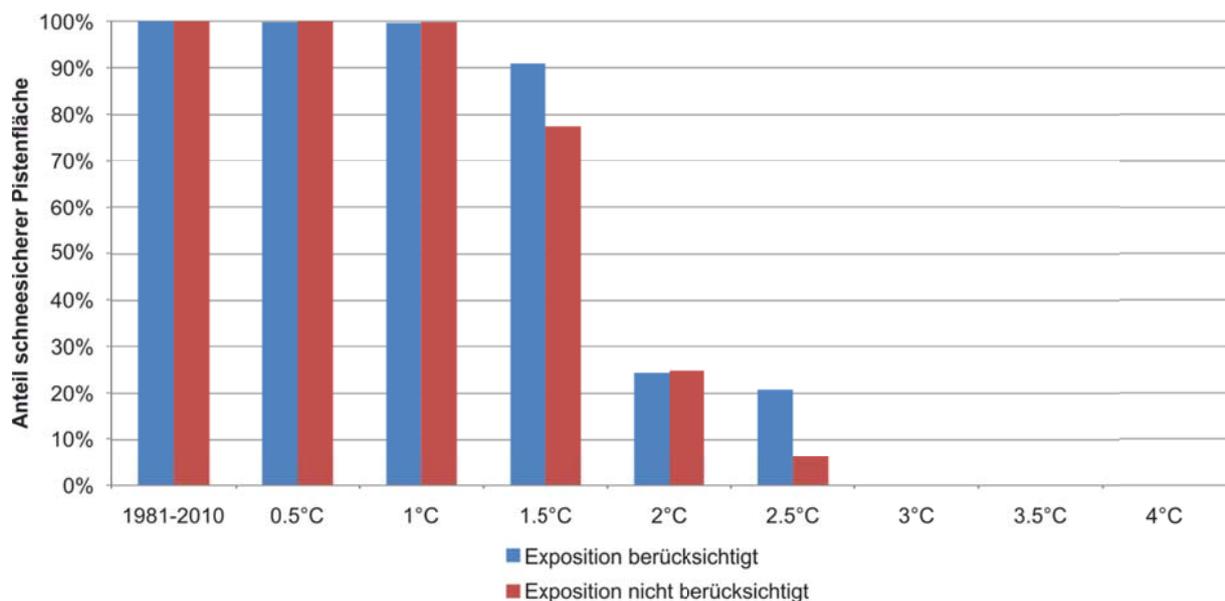


Abbildung 15: Anteil schneesicherer Pistenfläche (100-Tage-Regel) am Sudelfeld

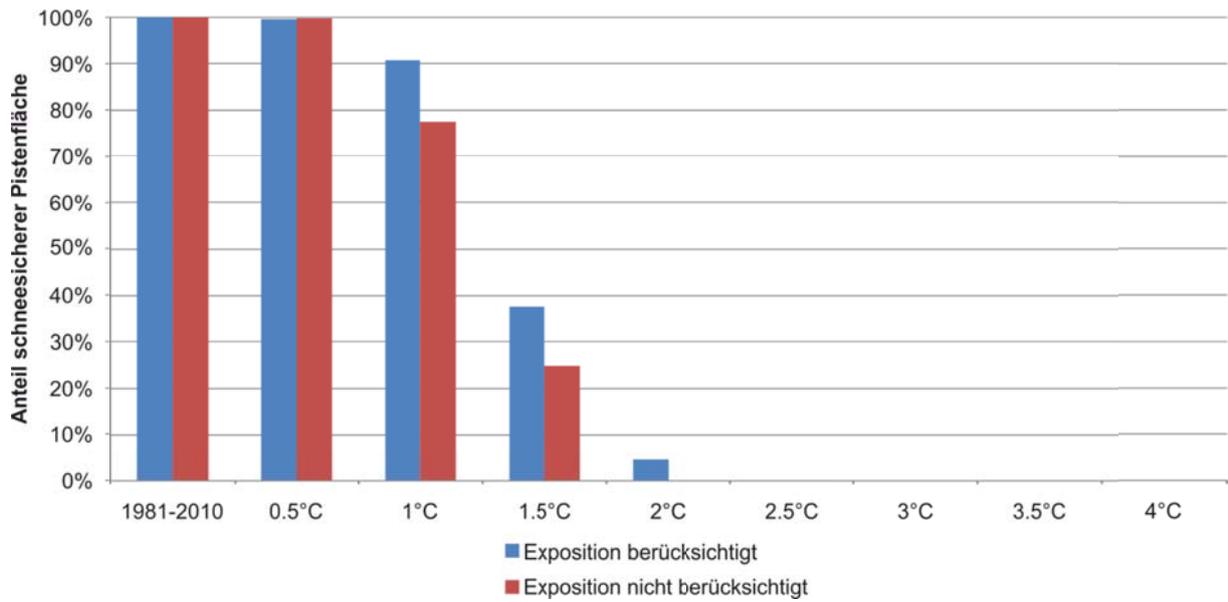


Abbildung 16: Anteil snowsicherer Pistenfläche (Weihnachts-Regel) am Sudelfeld

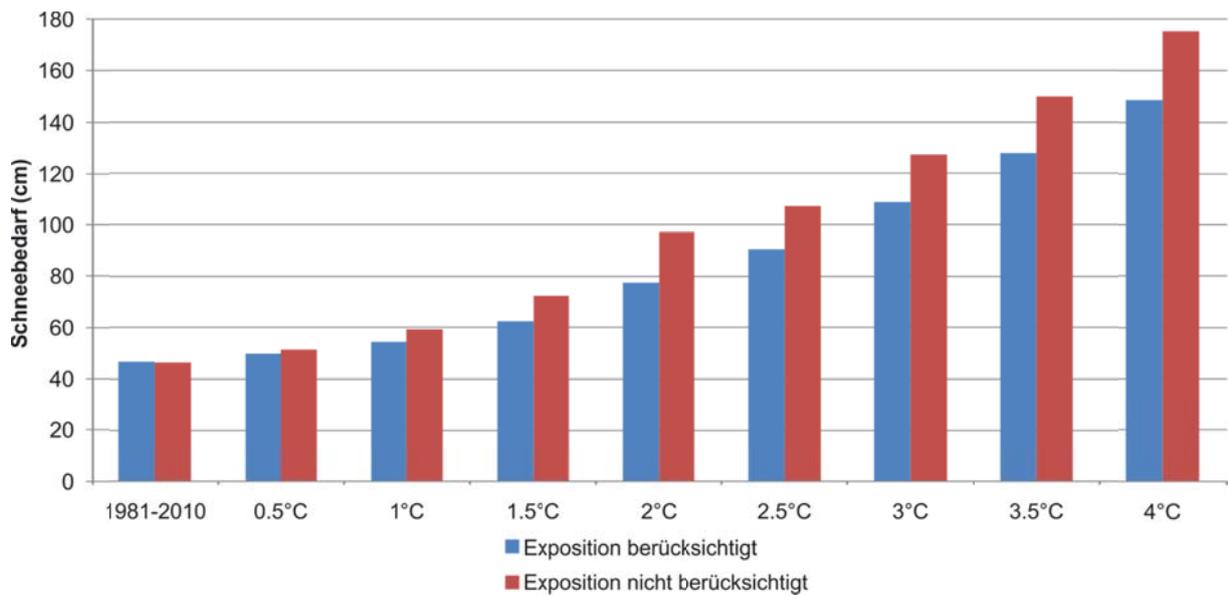


Abbildung 17: Schneebedarf am Sudelfeld

5 Implikationen und weitere Forschung

Die Modellergebnisse zeigen, dass die Beschneigung *langfristig* gesehen in kaum einem bayerischen Skigebiet eine Versicherung gegen den Klimawandel darstellen kann. *Kurz- bis mittelfristig* jedoch kann die Beschneigung, je nach Struktur und geographischer Lage des Skigebiets, negative Klimafolgen abfedern. Dies betrifft jedoch nur rein klimatisch-technische Aussagen. Inwieweit der Betrieb bei deutlich steigenden Beschneigungskosten noch rentabel führbar ist, ist ohne detaillierte Angaben einzelner Skigebiete nicht abschätzbar. Der Energieverbrauch und Wasserbedarf von Beschneigungsanlagen ist beträchtlich. In den bayerischen Alpen ist Wasser ausreichend verfügbar, problematisch hingegen ist der hohe Wasserbedarf in kurzen Zeitfenstern, was entweder einer starken Entnahme aus Fließgewässern bedarf oder eines Baus von Beschneigungsteichen. Der Ressourcenverbrauch ist aus ökologischer Sicht negativ zu bewerten. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit solcher Maßnahmen müssen jedoch auch wirtschaftliche und soziale Aspekte mit berücksichtigt werden, welche, wie schon erwähnt, derzeit aufgrund fehlender Daten nicht analysiert werden können.

Aufgrund dieser nicht eindeutigen Aussagen pro oder contra Beschneigung ist es umso wichtiger, jeden Fall für sich und im Detail zu betrachten. Hierzu ist auch eine Berücksichtigung der Alternativen vor Ort sowie der zu erwartenden Kosten und Einnahmen bei den Skigebieten nötig. Der in dieser Studie gewählte Modellansatz erlaubt die Berechnung von Beschneigungskosten, jedoch nur bei entsprechend verfügbaren Daten seitens der Skigebiete.

Der Forschungsbedarf konzentriert sich somit einerseits auf Detailstudien, welche die Nachhaltigkeit von einzelnen Projekten in den bayerischen Alpen beleuchten sollten, sowie andererseits auf Studien, welche die Möglichkeiten für und Barrieren von nötigen Umstellungen des touristischen Angebots in vielen Gemeinden zum Inhalt haben.

In jedem Falle ist die Beschneigung als Übergangslösung zu betrachten, welche einen zeitlichen Spielraum verschafft, das touristische Angebot in den nächsten Jahrzehnten umzustellen – weg vom rein schnee-basierten Angebot hin zu einem breiteren schneeunabhngigen Angebot. Eine derartige tiefgreifende Änderung kann nicht in wenigen Jahren erfolgen und wird in gewissem Maße auch an einen Generationenbergang gebunden sein. Investitionen in die Beschneigung ohne Schaffung von alternativen Angeboten in den nächsten ein, zwei Jahrzehnten könnten sich als fatale Fehlinvestitionen herausstellen, welche viel Kapital binden, das im Sinne einer nachhaltigen Zukunftssicherung eingesetzt werden müsste.

Staatliche Subventionen können eine Unterstützung für die Übergangsphase vom skifokussierten Wintertourismus zu einem breiter aufgestellten, schneeunabhngigeren Tourismus sein. Investitionen in die technische Schneesicherheit können grundsätzlich auch Anreize für private Investoren schaffen, bspw. in die Bettenqualitt oder die Qualität der touristischen Wertschöpfungskette zu investieren. Beschneigung ist mit Sicherheit ein wichtiger Be-

standteil der Qualitätssteigerung, jedoch nicht der einzige. Aber: Alleinige Investitionen in Beschneiungsanlagen (und daraus folgende höhere Preise) sind kein Garant für steigende Gästezahlen. Ohne weitere qualitative Verbesserungen des touristischen Angebots kann bestenfalls der Tagestourismus, nicht aber der aus Wertschöpfungssicht höherwertigere Urlaubstourismus profitieren.

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und bestmöglichen Verwendung der Steuergelder sollten staatliche Subventionen einen längeren Zeitraum als nur die Amortisationszeiträume betrachten. Solche Subventionen sollten demnach auch an Nachhaltigkeitskriterien und an ganzheitlichere touristische Masterpläne (unter Einbeziehung einer Angebotsverbreiterung) ausgerichtet sein und eine Unterstützung für die aktive Gestaltung der Übergangsphase und einer nachhaltigen Zukunft des Tourismus in den Bayerischen Alpen darstellen.

6 Kurzfassung

Ziel dieses Projektes ist eine Analyse der potenziellen Klimafolgen für Skigebiete im bayerischen Alpenraum. Es wurde ein Modell (SkiSim 2.0) zur Simulation der Skisaisondauer und der Beschneigungsbedingungen eingesetzt.

Kurz- bis mittelfristig gesehen wird die Beschneigung in bayerischen Skigebieten an Bedeutung gewinnen, da die klimatische Erwärmung die Verfügbarkeit von Naturschnee reduziert und somit die Schneesicherheit nur mit Naturschnee nicht mehr ausreichend gewährleistet werden kann (Abbildung 1). Bis zu einer Erwärmung von 1°C, welche in etwa im Zeitraum 2030-2040 erreicht bzw. überschritten sein dürfte, ist die überwiegende Mehrheit der Skigebiete (74 %) noch als schneesicher zu bezeichnen – ausreichende Beschneigung vorausgesetzt. Bei weiterer Erwärmung sinkt die Anzahl der schneesicheren bayerischen Skigebiete rapide trotz eingesetzter Beschneigung, da die benötigten kalten Temperaturen nicht mehr ausreichend gegeben sind. Langfristig gesehen kann die heutige Beschneigungstechnologie die Skisaison nicht absichern und stellt somit auch keine langfristige und nachhaltige Anpassung an den Klimawandel dar.

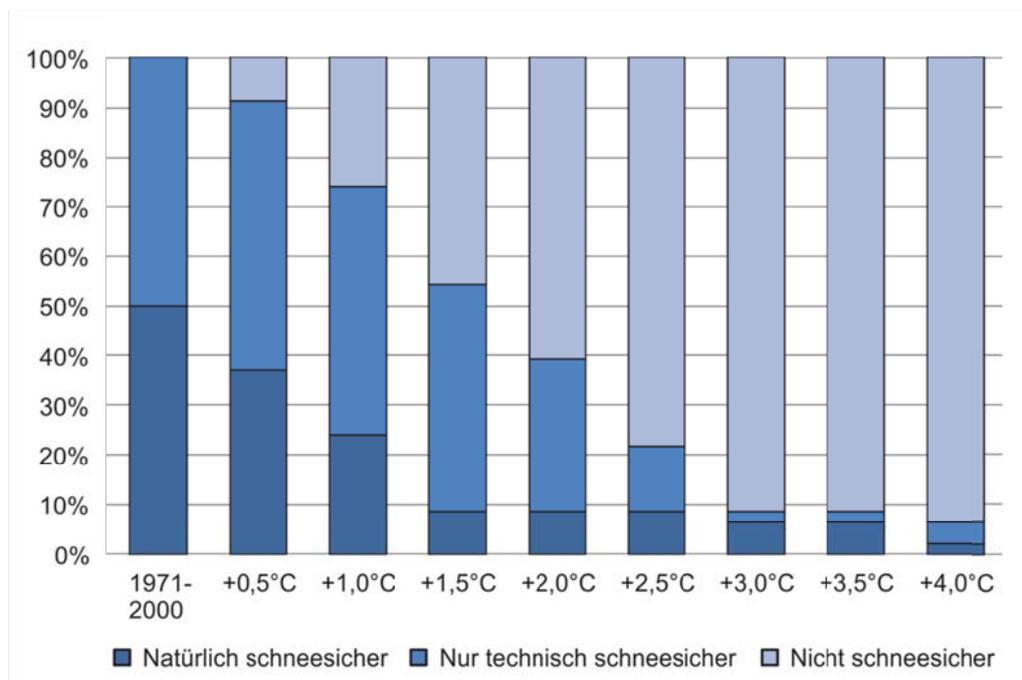


Abbildung 1: Anteil der schneesicheren Skigebiete (100-Tage-Regel)

Sollte sich die Beschneigungstechnik so weiter entwickeln, dass auch in Zukunft ausreichend beschneit werden kann, um die Saison abzusichern, müsste die durchschnittliche zu produzierende Schneemenge im Vergleich zu heute bei +1°C um 28 % ansteigen, bei +2°C um 74 %, bei +3°C um 131 % und bei +4°C um 168 %. Dies bedeutet zum einen deutliche Kostensteigerungen und zum anderen einen erhöhten Ressourcenverbrauch (Energie, Wasser).

Der Wasserbedarf der Beschneigung gemittelt über alle Skigebiete im bayerischen Alpenraum beträgt heute nach den Modellrechnungen 2.698 m³ pro Hektar. Der Energiebedarf kann heute auf 29.981 kWh pro Hektar beschneiter Pistenfläche geschätzt werden. Bei 2°C Temperaturanstieg beträgt der mittlere Wasserbedarf 4.657 m³/ha, der Strombedarf 51.746 kWh/ha.

In jedem Falle ist die Beschneigung als Übergangslösung zu betrachten, welche einen zeitlichen Spielraum verschafft, das touristische Angebot in den nächsten Jahrzehnten umzustellen – weg vom rein schnee-basierten Angebot hin zu einem breiteren schneeunabhängigen Angebot. Eine derartige tiefgreifende Änderung kann nicht in wenigen Jahren erfolgen und wird in gewissem Maße auch an einen Generationenübergang gebunden sein.

7 Literaturverzeichnis

- Abegg, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Zurich: vdf Zurich.
- Abegg, B.; Agrawala, S.; Crick, F.; de Montfalcon, A. (2007): Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Shardul Agrawala (Hg.): Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management. Paris: OECD, S. 25–60.
- Braun, L.; Aellen, M. (1990): Modelling discharge of glacierized basins assisted by direct measurements of glacier mass balance. In: Herbert Lang und A. Musy (Hg.): Hydrological measurements. The water cycle., Bd. 1. Institute of Hydrology, ETH Zurich. Wallingford: IAHS Publications (Hydrology in Mountainous Regions, 1), S. 99–106.
- Der Bergsteiger (Hrsg.) (2012): Sündenfall im ‚Skiparadies‘. Mountain Wilderness Deutschland hat am 4. März am Sudelfeld gegen künstliche Beschneigung protestiert. In: Der Bergsteiger 05/2012, S. 20.
- Fliri, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner (Monographien zur Landeskunde Tirols, 1).
- Helmholtz Gemeinschaft (Hrsg.) (2013): Regionaler Klimaatlas Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.regionaler-klimaatlas.de/> (zuletzt geprüft am 20.03.2013)
- Hollweg, H. D.; Böhm, U.; Fast, I.; Hennemuth, B.; Keuler, K.; Keup-Thiel, E.; Lautenschlager, M.; Legutke, S.; Radtke, K.; Rockel, B.; Schubert, M.; Will, A.; Woldt, M.; Wunram, C. (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. M & D Technical Report 3.
- Hottelet, C.; Braun, L.; Leibundgut, C.; Rieg, A. (1993): Simulation of Snowpack and Discharge in an Alpine Karst Basin. Kathmandu Symposium 218.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski S.; Lorenz, P.; Sieck, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, Forschungsbericht 204 41 138, UBA-FB 000969.
- Lang, T. (2009): Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen. Hg. v. Bundesamt für Energie BFE. Bern.
- LfU (2008): Beschneiungsanlagen und Kunstschnee. Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg. Online verfügbar unter <http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDEQFj>

AA&url=http%3A%2F%2Fwww.lfu.bayern.de%2Fumweltwissen%2Fdoc%2Fuw_11_beschneigungsanlagen.pdf&ei=ClcBUa2oOMXChAf83oDIAQ&usg=AFQjCNFz6_Qq-xh6djxG_mdmscD7vvsPvw&bvm=bv.41248874,d.ZG4 (zuletzt geprüft am 24.01.2013).

Mayer, M.; Steiger, R. (2013): Skitourismus in den Bayerischen Alpen - Entwicklung und Zukunftsperspektiven. In: *Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL)*, (im Druck).

Räisänen, J.; Hansson U.; Ullerstig, A. (2002): First GCM-driven RCAO runs of recent and future climate. In *SWECLIM Newsletter* No. 12, S. 16-21.

Schmidt, P.; Steiger, R.; Matzarakis, A. (2012): Artificial snowmaking possibilities and climate change based on regional climate modeling in the Southern Black Forest. In: *Meteorologische Zeitschrift* 21 (2), S. 167–172.

Scott, D.; Dawson, J.; Jones, B. (2008): Climate change vulnerability of the US Northeast winter recreation– tourism sector. In: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (13), S. 577–596.

Semenov, M.; Stratonovitch, P. (2010): Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. In: *Climate Research* 41, S. 1–14.

Steiger, R. (2007): Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Skigebiete im bayerischen Alpenraum. Bremen: Salzwasser-Verlag.

Steiger, R. (2010): The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements. In: *Climate Research* 43 (3), S. 251–262.

Steiger, R.; Abegg, B. (2011): Climate change impacts on Austrian ski areas. In: A. Borsdorf, J. Stötter und E. Veulliet (Hg.): *Managing Alpine Future II - Inspire and drive sustainable mountain regions*. Managing Alpine Future II. Innsbruck, 21.-23.11.2011. Wien: ÖAW (IGF-Forschungsberichte, 4), S. 288–297.

Steiger, R., Abegg, B. (2013): "The Sensitivity of Austrian Ski Areas to Climate Change". In: *Tourism Planning and Development* (im Druck)

Steiger, R.; Mayer, M. (2008): Snowmaking and Climate Change. Future Options for Snow Production in Tyrolean Ski Resorts. In: *Mountain Research and Development* 28 (3/4), S. 292–298. Online verfügbar unter 10.1659/mrd.0978.

Steiger, R.; Stötter, J. (2013): Climate Change Impact Assessment of Ski Tourism in Tyrol. In: *Tourism Geographies*, S. 1–24.

Steiger, R.; Trawöger, L. (2011): Klimawandel und Wintertourismus – Ein Vulnerabilitätsprofil für die Region Tirol. In: *Zeitschrift für Tourismuswissenschaft* 3 (2), S. 151–164.

Teich, M.; Lardelli, C.; Bebi, P.; Gallati, D.; Kytzia, S.; Pohl, M. et al. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung. Birmensdorf/Davos.

Urschler, R. (2012): Gespräch mit Roderich Urschler, Gründer und Geschäftsführer der Interfab Snowbusiness GmbH, Innsbruck.

Zegg, R.; Küng, T.; Grossrieder, R. (2010): Energiemanagement Bergbahnen. Hg. v. Seilbahnen Schweiz. Bern/Chur.

8 Anhang

Tabelle 3: Anteil der schneesicheren Pistenfläche 100-Tage Regel - ohne Beschneigung

ID	NAME	1971-2000	0.5°C	1°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4°C
BGL01	Predigtstuhl	100	74	48	3	0	0	0	0	0
BGL02	Gutshof	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL03	Hirschsee	23	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL04	Götschen	16	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL05	Jenner	79	41	39	28	0	0	0	0	0
BGL06	Rosfeld	100	61	6	0	0	0	0	0	0
GAP02	Kolben	17	8	0	0	0	0	0	0	0
GAP03	Steckenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GAP04	Hörnlebahn	30	19	9	0	0	0	0	0	0
GAP05	Zugspitze	100	100	100	100	100	100	100	100	100
GAP06	Garmisch Classic	69	61	51	34	19	12	4	0	0
GAP07	Gudiberg	15	3	0	0	0	0	0	0	0
GAP10	Kranzberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB02	Taubenstein	97	97	73	34	2	0	0	0	0
MB03	Spitzingsee	75	75	23	4	0	0	0	0	0
MB04	Sudelfeld	47	47	6	0	0	0	0	0	0
MB05	Wendelstein	82	82	71	38	11	1	0	0	0
OA01	Hochgrat	59	43	29	25	20	12	0	0	0
OA02	Skiarena Steibis	57	21	4	0	0	0	0	0	0
OA03	Hündle-Thalkirchdorf	4	0	0	0	0	0	0	0	0
OA06	Alpseeskitzirkus	51	29	11	1	0	0	0	0	0
OA08	Mittag Skicenter	80	47	13	0	0	0	0	0	0
OA09	Grüntental	23	23	2	0	0	0	0	0	0
OA10	Breitenstein	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OA11	Ofterschwang	74	46	17	2	0	0	0	0	0
OA12	Hörnerbahn	73	68	59	48	34	18	0	0	0
OA13	Grasgehren	100	100	100	100	100	57	0	0	0
OA14	Balderschwang	100	64	49	26	7	0	0	0	0
OA15	Söllereck	79	64	51	22	7	0	0	0	0
OA16	Fellhorn	97	96	95	92	88	85	52	52	6
OA17	Nebelhorn	95	93	90	73	68	65	56	56	43
OA18	Oberjoch	40	40	2	0	0	0	0	0	0
OA20	Unterjoch	20	20	0	0	0	0	0	0	0
OAL01	Alpseeskitzbahn	8	8	0	0	0	0	0	0	0
OAL02	Breitenbergbahn	87	87	52	12	0	0	0	0	0
OAL03	Tegelberg	8	8	5	0	0	0	0	0	0
OAL04	Buchenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OAL05	Pfronten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RO01	Hocheck	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RO03	Kampenwand	80	74	59	13	0	0	0	0	0
TÖL01	Blomberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TÖL02	Brauneck	34	21	4	0	0	0	0	0	0
TÖL03	Herzogstand	22	0	0	0	0	0	0	0	0
TS03	Hochfölln	85	64	32	23	18	0	0	0	0
TS05	Winklmoosalm	84	71	30	3	0	0	0	0	0
TS08	Unternberg	33	27	24	0	0	0	0	0	0
Anteil schneesichere Skigebiete:		50%	37%	24%	9%	9%	9%	7%	7%	2%

Tabelle 4: Anteil der schneesicheren Pistenfläche 100-Tage Regel - mit Beschneigung

ID	NAME	1971-2000	0.5°C	1°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4°C
BGL01	Predigtstuhl	100	100	100	74	74	0	0	0	0
BGL02	Gutshof	100	80	0	0	0	0	0	0	0
BGL03	Hirscheck	100	100	67	0	0	0	0	0	0
BGL04	Götschen	100	100	33	0	0	0	0	0	0
BGL05	Jenner	100	94	87	41	41	0	0	0	0
BGL06	Rossfeld	100	100	100	61	61	0	0	0	0
GAP02	Kolben	100	100	100	65	17	8	0	0	0
GAP03	Steckenberg	100	100	100	64	0	0	0	0	0
GAP04	Hörnlebahn	100	100	100	100	30	19	0	0	0
GAP05	Zugspitze	100	100	100	100	100	100	100	100	100
GAP06	Garmisch Classic	100	100	100	86	69	61	34	19	12
GAP07	Gudiberg	100	100	100	55	15	3	0	0	0
GAP10	Kranzberg	69	30	3	0	0	0	0	0	0
MB02	Taubenstein	100	100	100	99	94	73	2	0	0
MB03	Spitzingsee	100	100	100	92	56	23	0	0	0
MB04	Sudelfeld	100	100	100	78	25	6	0	0	0
MB05	Wendelstein	100	98	94	86	78	71	11	0	0
OA01	Hochgrat	100	90	59	29	20	20	12	0	0
OA02	Skiarena Steibis	100	95	57	4	0	0	0	0	0
OA03	Hündle-Thalkirchdorf	100	82	4	0	0	0	0	0	0
OA06	Alpseeskizirkus	100	93	51	11	0	0	0	0	0
OA08	Mittag Skicenter	100	91	80	13	0	0	0	0	0
OA09	Grüntendlifte	100	86	48	23	2	0	0	0	0
OA10	Breitenstein	100	91	28	0	0	0	0	0	0
OA11	Ofterschwang	100	100	100	100	46	2	0	0	0
OA12	Hörnerbahn	100	100	100	100	68	48	34	18	0
OA13	Grasgehren	100	100	100	100	100	100	100	57	0
OA14	Balderschwang	100	100	100	100	64	26	7	0	0
OA15	Söllereck	100	100	100	100	64	22	7	0	0
OA16	Fellhorn	100	100	100	100	96	92	88	85	52
OA17	Nebelhorn	100	100	100	100	93	73	68	65	56
OA18	Oberjoch	100	100	69	40	2	0	0	0	0
OA20	Unterjoch	100	100	46	20	0	0	0	0	0
OAL01	Alpspitzbahn	100	57	13	8	0	0	0	0	0
OAL02	Breitenbergbahn	100	92	89	87	52	0	0	0	0
OAL03	Tegelberg	100	92	42	29	13	13	5	0	0
OAL04	Buchenberg	100	100	50	8	0	0	0	0	0
OAL05	Pfronten	100	31	4	0	0	0	0	0	0
RO01	Hocheck	75	7	0	0	0	0	0	0	0
RO03	Kampenwand	100	100	100	100	100	74	0	0	0
TÖL01	Blomberg	55	49	11	11	0	0	0	0	0
TÖL02	Brauneck	72	69	58	58	4	4	0	0	0
TÖL03	Herzogstand	72	61	56	46	46	0	0	0	0
TS03	Hochfelln	100	100	100	100	100	64	8	0	0
TS05	Winklmoosalm	100	100	100	100	100	71	0	0	0
TS08	Unternberg	100	100	100	100	100	27	0	0	0
Anteil schneesichere Skigebiete:		100%	91%	74%	54%	39%	22%	9%	9%	7%

Tabelle 5: Anteil der schneesicheren Pistenfläche zu Weihnachten - ohne Beschneigung

ID	NAME	1971-2000	0.5°C	1°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4°C
BGL01	Predigtstuhl	48	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL02	Gutshof	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL03	Hirscheck	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL04	Götschen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL05	Jenner	39	7	0	0	0	0	0	0	0
BGL06	Rossfeld	6	0	0	0	0	0	0	0	0
GAP02	Kolben	17	8	0	0	0	0	0	0	0
GAP03	Steckenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GAP04	Hörnlebahn	30	19	9	0	0	0	0	0	0
GAP05	Zugspitze	100	100	100	100	100	100	100	100	100
GAP06	Garmisch Classic	69	61	51	34	19	7	0	0	0
GAP07	Gudiberg	15	3	0	0	0	0	0	0	0
GAP10	Kranzberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB02	Taubenstein	99	97	73	34	0	0	0	0	0
MB03	Spitzingsee	92	75	23	4	0	0	0	0	0
MB04	Sudelfeld	78	47	6	0	0	0	0	0	0
MB05	Wendelstein	86	82	71	38	1	0	0	0	0
OA01	Hochgrat	29	25	20	12	0	0	0	0	0
OA02	Skiarena Steibis	4	0	0	0	0	0	0	0	0
OA03	Hündle-Thalkirchdorf	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OA06	Alpseeskizirkus	11	1	0	0	0	0	0	0	0
OA08	Mittag Skicenter	13	0	0	0	0	0	0	0	0
OA09	Grüntenlifte	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OA10	Breitenstein	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OA11	Ofterschwang	17	0	0	0	0	0	0	0	0
OA12	Hörnerbahn	59	34	18	3	0	0	0	0	0
OA13	Grasgehren	100	100	57	2	0	0	0	0	0
OA14	Balderschwang	49	7	0	0	0	0	0	0	0
OA15	Söllereck	51	7	0	0	0	0	0	0	0
OA16	Fellhorn	95	88	85	74	29	6	0	0	0
OA17	Nebelhorn	90	68	65	61	51	43	26	0	0
OA18	Oberjoch	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OA20	Unterjoch	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OAL01	Alpspitzbahn	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OAL02	Breitenbergbahn	12	0	0	0	0	0	0	0	0
OAL03	Tegelberg	5	0	0	0	0	0	0	0	0
OAL04	Buchenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OAL05	Pfronten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RO01	Hocheck	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RO03	Kampenwand	59	13	0	0	0	0	0	0	0
TÖL01	Blomberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TÖL02	Brauneck	21	4	0	0	0	0	0	0	0
TÖL03	Herzogstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TS03	Hochfelln	32	23	8	0	0	0	0	0	0
TS05	Winklmoosalm	30	3	0	0	0	0	0	0	0
TS08	Unternberg	24	0	0	0	0	0	0	0	0
Anteil schneesichere Skigebiete:		26%	17%	15%	7%	4%	2%	2%	2%	2%

Tabelle 6: Anteil der schneesicheren Pistenfläche zu Weihnachten - mit Beschneigung

ID	NAME	1971-2000	0.5°C	1°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4°C
BGL01	Predigtstuhl	100	97	48	0	0	0	0	0	0
BGL02	Gutshof	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL03	Hirscheck	100	8	0	0	0	0	0	0	0
BGL04	Götschen	56	0	0	0	0	0	0	0	0
BGL05	Jenner	90	60	39	7	0	0	0	0	0
BGL06	Rosfeld	100	100	6	0	0	0	0	0	0
GAP02	Kolben	100	100	100	100	8	0	0	0	0
GAP03	Steckenberg	100	100	100	100	0	0	0	0	0
GAP04	Hörnlebahn	100	100	100	100	19	0	0	0	0
GAP05	Zugspitze	100	100	100	100	100	100	100	100	100
GAP06	Garmisch Classic	100	100	100	93	61	26	7	4	0
GAP07	Gudiberg	100	100	100	78	3	0	0	0	0
GAP10	Kranzberg	30	3	0	0	0	0	0	0	0
MB02	Taubenstein	100	100	99	94	34	2	0	0	0
MB03	Spitzingsee	100	100	92	56	4	0	0	0	0
MB04	Sudelfeld	100	100	78	25	0	0	0	0	0
MB05	Wendelstein	100	94	86	78	38	11	0	0	0
OA01	Hochgrat	74	43	25	12	0	0	0	0	0
OA02	Skiarena Steibis	75	21	0	0	0	0	0	0	0
OA03	Hündle-Thalkirchdorf	47	0	0	0	0	0	0	0	0
OA06	Alpseeskitzirkus	83	29	1	0	0	0	0	0	0
OA08	Mittag Skicenter	86	47	0	0	0	0	0	0	0
OA09	Grüntenlift	70	23	12	0	0	0	0	0	0
OA10	Breitenstein	61	0	0	0	0	0	0	0	0
OA11	Ofterschwang	100	100	100	46	0	0	0	0	0
OA12	Hörnerbahn	100	100	100	68	34	3	0	0	0
OA13	Grasgehren	100	100	100	100	100	2	0	0	0
OA14	Balderschwang	100	100	100	64	7	0	0	0	0
OA15	Söllreck	100	100	100	64	7	0	0	0	0
OA16	Fellhorn	100	100	100	96	88	74	29	6	0
OA17	Nebelhorn	100	100	100	93	68	61	51	43	5
OA18	Oberjoch	100	40	18	0	0	0	0	0	0
OA20	Unterjoch	84	20	0	0	0	0	0	0	0
OAL01	Alpspitzbahn	29	8	5	0	0	0	0	0	0
OAL02	Breitenbergbahn	90	87	77	0	0	0	0	0	0
OAL03	Tegelberg	100	32	20	8	0	0	0	0	0
OAL04	Buchenberg	100	19	0	0	0	0	0	0	0
OAL05	Pfronten	19	0	0	0	0	0	0	0	0
RO01	Hocheck	41	0	0	0	0	0	0	0	0
RO03	Kampenwand	100	100	100	100	100	0	0	0	0
TÖL01	Blomberg	42	0	0	0	0	0	0	0	0
TÖL02	Brauneck	66	34	21	4	0	0	0	0	0
TÖL03	Herzogstand	61	56	46	22	0	0	0	0	0
TS03	Hochfelln	100	100	100	100	8	0	0	0	0
TS05	Winklmoosalm	100	100	100	100	0	0	0	0	0
TS08	Unternberg	100	100	100	100	0	0	0	0	0
Anteil schneesichere Skigebiete:		85%	57%	48%	41%	13%	7%	4%	2%	2%

Tabelle 7: Schneebedarf (cm)

ID	NAME	1971-2000	0.5°C	1°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4°C
BGL01	Predigtstuhl	43	43	47	55	74	87	102	128	154
BGL02	Gutshof	95	116	117	139	162	185	209	233	256
BGL03	Hirscheck	51	61	85	95	110	134	159	184	210
BGL04	Götschen	64	82	97	111	128	152	177	202	227
BGL05	Jenner	50	54	63	76	85	104	123	146	171
BGL06	Rossfeld	43	43	48	59	88	88	112	138	164
GAP02	Kolben	71	86	102	120	127	146	167	191	215
GAP03	Steckenberg	76	91	109	128	132	152	175	199	223
GAP04	Hörnlebahn	63	72	87	110	114	131	151	174	198
GAP05	Zugspitze	41	41	41	41	41	42	42	41	41
GAP06	Garmisch Classic	54	60	68	77	87	101	117	133	155
GAP07	Gudiberg	77	91	108	122	133	150	172	196	220
GAP10	Kranzberg	102	112	123	134	154	177	201	225	249
MB02	Taubenstein	44	45	45	48	57	66	86	106	123
MB03	Spitzingsee	45	47	52	61	81	90	111	131	155
MB04	Sudelfeld	46	51	59	72	97	107	127	150	175
MB05	Wendelstein	48	50	54	58	67	78	96	116	134
OA01	Hochgrat	48	55	66	78	92	108	130	154	177
OA02	Skiarena Steibis	47	54	67	84	104	124	149	176	202
OA03	Hündle-Thalkirchdorf	57	70	90	116	127	152	178	204	229
OA06	Alpseeskitzirkus	47	53	67	85	99	121	145	172	198
OA08	Mittag Skicenter	47	50	59	69	91	111	133	160	188
OA09	Grüntendlifte	57	64	76	95	109	121	140	163	189
OA10	Breitenstein	59	67	83	105	118	127	150	175	201
OA11	Ofterschwang	46	49	57	69	94	107	128	152	179
OA12	Hörnerbahn	46	49	54	62	74	83	100	122	144
OA13	Grasgehren	43	43	43	44	44	45	54	75	87
OA14	Balderschwang	44	45	48	56	73	87	106	128	153
OA15	Söllereck	46	48	54	62	79	93	113	134	160
OA16	Fellhorn	43	43	44	46	47	49	53	59	75
OA17	Nebelhorn	43	44	45	47	52	58	65	73	85
OA18	Oberjoch	47	51	61	81	99	109	123	145	171
OA20	Unterjoch	52	58	71	94	109	119	136	161	187
OAL01	Alpspitzbahn	70	84	97	115	123	142	164	188	213
OAL02	Breitenbergbahn	49	51	54	59	70	88	110	116	137
OAL03	Tegelberg	105	119	122	137	156	176	195	216	237
OAL04	Buchenberg	111	135	139	151	169	190	213	235	258
OAL05	Pfronten	87	98	116	122	136	155	178	203	228
RO01	Hocheck	121	133	146	166	188	211	234	258	281
RO03	Kampenwand	48	50	53	61	76	94	107	128	154
TÖL01	Blomberg	96	110	128	148	166	190	214	237	262
TÖL02	Brauneck	74	83	97	118	133	154	173	197	222
TÖL03	Herzogstand	78	85	96	114	136	148	164	187	210
TS03	Hochfelln	44	47	50	62	75	97	104	128	151
TS05	Winklmoosalm	44	47	50	62	78	104	109	133	160
TS08	Unternberg	48	60	70	85	104	115	135	156	182