

# Natürliche und technische Schneesicherheit in einer wärmeren Zukunft

Bruno Abegg

Institut für Tourismus- und Freizeitforschung, HTW Chur, Comercialstrasse 22, 7000 Chur  
bruno.abegg@htwchur.ch

**Ohne Schnee – kein Skitourismus: Diese simple Aussage bringt die Klimasensitivität dieses wichtigen Tourismuszweiges zum Ausdruck. Um der launenhaften Frau Holle ein Schnippen zu schlagen, wurde die technische Beschneigung erfunden. Das Potential der technischen Beschneigung ist – wie die Erfahrungen aus den schneearmen Wintern und Modellrechnungen zeigen – gross. Aber auch sie wird im Zuge der fortschreitenden Erwärmung an Grenzen stossen, kann also im Hinblick auf die zu erwartenden klimatischen Veränderungen nur vorübergehend Abhilfe schaffen. Das funktioniert aber nur, wenn die Beschneigungsintensität massiv erhöht werden kann. Und dies wiederum bedeutet mehr Beschneigungsanlagen, höherer Wasser- und Stromverbrauch und – last but not least – höhere Kosten.**

## 1 Schneesicherheit

Es gibt verschiedene Definitionen für Schneesicherheit. Aus skitouristischer Sicht hat sich die sogenannte 100-Tage-Regel durchgesetzt. In ihrer ursprünglichen Version besagt die Regel, dass «eine ökonomisch sinnvolle Investition in Wintersportgebieten unter anderem nur dann gegeben [ist], wenn während mindestens 100 Tagen je Saison eine Ausnützung der installierten Anlagen erwartet werden kann, was nur mit einer Schneedecke von genügender Mächtigkeit möglich ist» (WITMER 1986). Diese Definition weist gewisse Unschärfen auf. Punkte, die vor einer konkreten Anwendung geklärt werden müssen, betreffen zum Beispiel die Festlegung der minimal erforderlichen Schneehöhe sowie die Definition der Skisaison (100 Tage im Zeitraum von ... bis ...). Weiter stellt sich die Frage, ob die 100-Tage-Regel in jedem Winter erfüllt sein soll. Oder ob, was der Realität wohl eher entspricht, schlechte mit guten Jahren kompensiert werden können, die 100-Tage-Regel also beispielsweise nur in 7 von 10 Wintern erfüllt sein muss (vgl. ABEGG 1996). BÜRKI (2000: 42) spricht von einem schneesicheren Skigebiet, «wenn in 7 von 10 Wintern in der Zeit vom 1. Dezember – 15. April an mindestens 100 Tagen eine

für den Skisport ausreichende Schneedecke von mindestens 30 bis 50 cm vorhanden ist.»

Wenn die 100-Tage-Regel erfüllt ist, bestehen gute Voraussetzungen für einen erfolgreichen Skibetrieb. Falsch wäre es, wie von WITMER (1986) suggeriert, die 100-Tage-Regel als Indikator für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Skigebiets zu verwenden. Das Vorhandensein einer ausreichend mächtigen Schneedecke während längerer Zeit ist zwar eine wichtige Voraussetzung, bei weitem aber nicht der einzige Faktor, der über Erfolg oder Nichterfolg eines Skigebiets entscheidet. In diesem Sinne wird die 100-Tage-Regel auch von zahlreichen Skigebietsbetreibern in Europa und Nordamerika akzeptiert (ABEGG *et al.* 2007; SCOTT *et al.* 2008).

Die 100-Tage-Regel hat sich zu einem wertvollen Arbeitswerkzeug zur Analyse der natürlichen und technischen Schneesicherheit (ohne bzw. mit Berücksichtigung der technischen Beschneigung) entwickelt. Mitunter wird die 100-Tage-Regel auch mit weiteren Indikatoren ergänzt: SCOTT *et al.* (2008) haben den «Weihnachtsindikator» eingeführt, Steiger und Abegg (in Vorb.) den «Saisonstart-Indikator». Sinn und Zweck dieser zusätzlichen Indikatoren liegt darin, besonders kri-

tische Perioden detaillierter zu analysieren. Ein frühzeitiger Saisonstart – bei guten Bedingungen notabene – hat positive Auswirkungen auf das Image des Skigebiets, den Verkauf der Saisonkarten und das Buchungsverhalten der Kunden. Weihnachten ist deshalb kritisch, weil viele Skigebiete in der kurzen Zeit über Weihnachten und Neujahr mehr als 20 Prozent ihres Winterumsatzes erzielen.

## 2 Schneearme Winter

Die natürlichen Schneesicherheitsverhältnisse und damit auch die natürliche Schneesicherheit in den Skigebieten sind starken jährlichen Schwankungen unterworfen. Die Auswirkungen von schneearmen Wintern auf den Skitourismus wurden mehrfach untersucht (vgl. z.B. ABEGG und FROESCH 1994; DAWSON *et al.* 2009; STEIGER 2011). Die Ergebnisse dieser Studien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Schneearme Winter haben negative Auswirkungen auf die Saisondauer, die Nachfrage und damit auf das Geschäftsergebnis der betroffenen Skigebiete.
2. Kleinere und tiefer gelegene Skigebiete sind in der Regel stärker betroffen wie grössere und höher gelegene Skigebiete; letztere können mitunter sogar profitieren.
3. In Skigebieten, wo die Auswirkungen von mehreren und über die Jahre verteilten schneearmen Wintern untersucht wurden, gehen die negativen Auswirkungen tendenziell zurück. Diese Entwicklung wird dem Ausbau der technischen Beschneigung zugeschrieben.

### 3 Klimawandel und Skitourismus

Der alpine Winter- beziehungsweise Skitourismus gilt als besonders klimasensitiv. In keinem anderen Tourismusbereich sind die Verknüpfungen mit dem Klima so eng wie hier. Schnee ist eine Grundvoraussetzung und kann zwar technisch hergestellt, aber nicht substituiert werden. Hinzu kommt die grosse regionalwirtschaftliche Bedeutung des Skitourismus in vielen Berggebieten. Aus dieser Perspektive ist es nicht weiter verwunderlich, dass nicht nur die ersten, sondern auch die meisten Studien, die sich mit den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus befassen, über den Skitourismus geschrieben wurden (vgl. SCOTT *et al.* 2012 für einen aktuellen Überblick über den Forschungsstand im Bereich Klimawandel und Tourismus).

#### 3.1 Auswirkungen auf die natürliche Schneesicherheit der Skigebiete

Gemäss einer Studie der OECD (ABEGG *et al.* 2007) können 91 Prozent der heute bestehenden Skigebiete in den Alpen auf der Basis der 100-Tage-Regel als natürlich schneesicher (ohne

Einbezug der technischen Beschneigung) bezeichnet werden. Bei einer durchschnittlichen Erwärmung von +1°C würde dieser Wert auf 75 Prozent sinken. Bei +2°C wären noch 61 Prozent, bei +4°C nur noch 30 Prozent der Skigebiete schneesicher. Sowohl auf nationaler (vgl. Tab. 1) wie auch auf regionaler Ebene (vgl. Abb. 1) ze-

Tab. 1. Zahl der natürlich schneesicheren Skigebiete unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen (nationale Ebene). Quelle: ABEGG *et al.* 2007.

| Land        | Anzahl Skigebiete | Schneesicher heute | +1°C (≈2025) | +2°C (≈2050) | +4°C (≈2100) |
|-------------|-------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| Deutschland | 39                | 27                 | 11           | 5            | 1            |
| Frankreich  | 148               | 143                | 123          | 96           | 55           |
| Italien     | 87                | 81                 | 71           | 59           | 21           |
| Österreich  | 228               | 199                | 153          | 115          | 47           |
| Schweiz     | 164               | 159                | 142          | 129          | 78           |
| Total       | 666               | 609                | 500          | 404          | 202          |

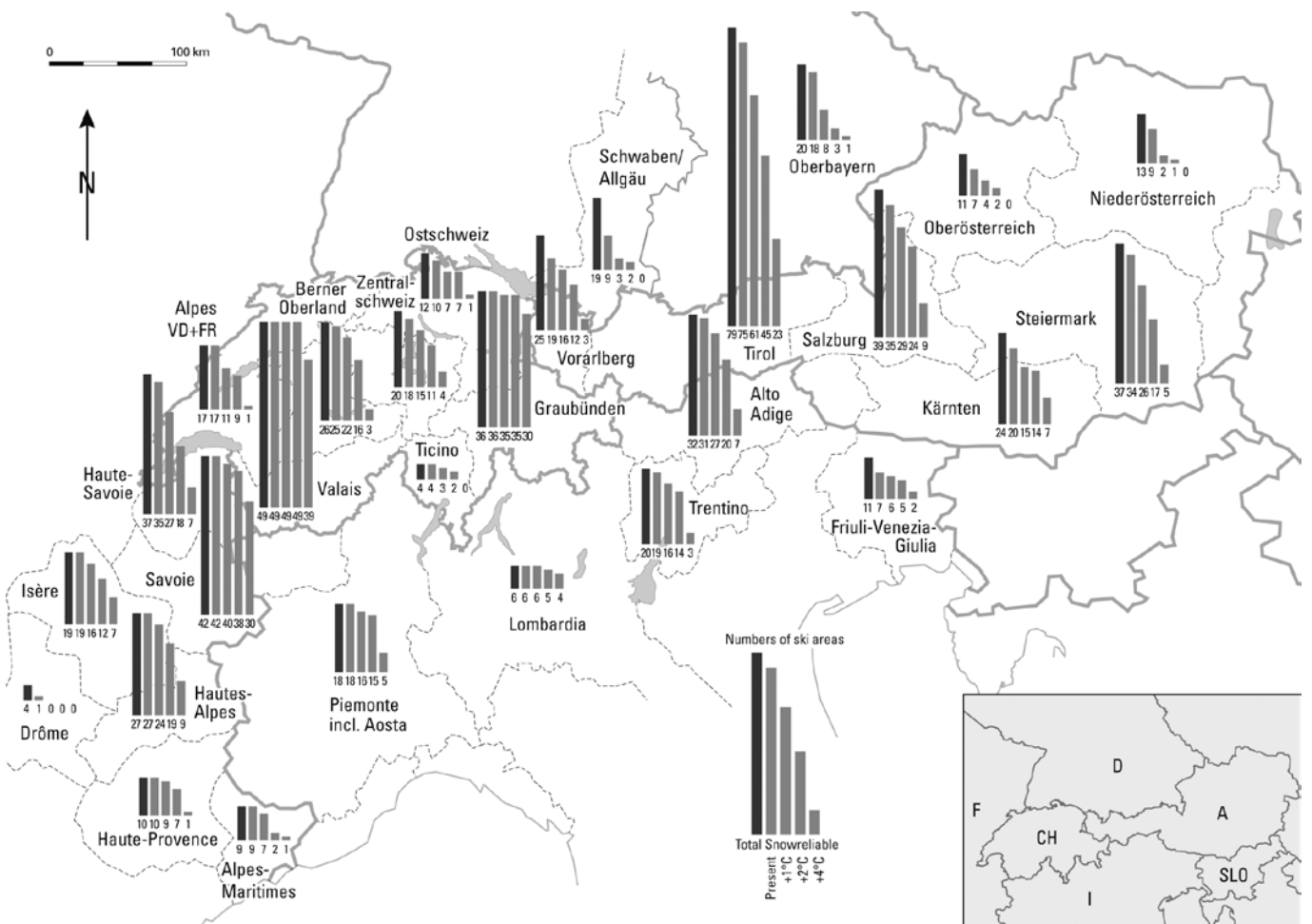


Abb. 1. Zahl der natürlich schneesicheren Skigebiete unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen (regionale Ebene). Quelle: ABEGG *et al.* 2007.

gen sich grosse Unterschiede: Vereinfacht ausgedrückt werden Gebiete mit einem hohen Voralpenanteil früher und stärker betroffen sein als Gebiete in den Hochalpen.

### 3.2 Auswirkungen auf die technische Schneesicherheit der Skigebiete

Studien, welche die Beschneigung als Anpassungsmassnahme einbeziehen, wurden unter anderem von SCOTT *et al.* (2003), SCOTT *et al.* (2007), STEIGER und MAYER (2008), DAWSON *et al.* (2009), STEIGER (2010) und RIXEN *et al.* (2011) durchgeführt. STEIGER und ABEGG (2011) haben die aktuelle und zukünftige natürliche und technische Schneesicherheit von 228 österreichischen Skigebieten berechnet. Die Resultate zeigen, dass unter Einbezug der gegenwärtigen Beschneigungskapazität und -technologie fast alle untersuchten Skigebiete (97%) zurzeit als schneesicher (100-Tage-Regel) bezeichnet werden können. Zusätzliche Beschneigung funktioniert bis zu einer gewissen Erwärmung, spätestens ab plus 2°C geht aber die Zahl der schneesicheren Skigebiete in allen Bundesländern stark zurück (Abb. 2).

Alle verfügbaren Studien zeigen, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Skigebiete durch die Berücksichtigung der technischen Beschneigung geringer ausfallen werden. Aber auch bei einem vermehrten Einsatz von Beschneigungsanlagen wird sich der Skitourismus auf die am besten geeigneten Standorte konzentrieren. Die Studien machen nämlich auch deutlich, dass die Beschneigung nur vorübergehend Abhilfe schaffen kann: Um technische Schneesicherheit zu gewährleisten, muss in Zukunft massiv mehr beschneit werden. Gleichzeitig verschlechtern sich die klimatischen Voraussetzungen für den Einsatz der Beschneigungsanlagen. Besonders betroffen sind die tiefer gelegenen Skigebiete sowie die Saisonrandzeiten, insbesondere der Saisonauftakt mit den für den Geschäftserfolg so wichtigen Weihnachtsferien.

### 4 Möglichkeiten und Grenzen der Beschneigung

In den letzten 20 Jahren wurden Hunderte von Millionen Franken in die technische Beschneigung investiert (vgl. CIPRA 2004; ABEGG *et al.* 2007) – mit

dem Resultat, dass fast die Hälfte aller alpinen Skipisten beschneit werden können (vgl. Tab. 2). Wie die obigen Ausführungen gezeigt haben, kann die technische Beschneigung durchaus Sinn machen. Der Ausbau der Beschneigung ist denn auch die wichtigste Anpassungsmassnahme der Skigebietsbetreiber. Mit einem entsprechenden Ausbau der Beschneigung – so die Überzeugung der meisten Skigebietsbetreiber – kann der Skibetrieb auch in einem wärmeren Klima über mehrere Jahrzehnte gesichert werden (ABEGG *et al.* 2008; WOLFSEGG *et al.* 2008).

Es sind aber auch immer wieder kritische Stimmen zu vernehmen. Am Anfang standen Grundsatzdiskussionen im Sinne von «Darf der Mensch Frau Holle ins Handwerk pfuschen?» im Vordergrund. Danach wurden vor allem die ökologischen Auswirkungen thematisiert. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Beschneigungsbedarfs zur Sicherung der zukünftigen Schneesicherheit geht es in erster Linie um den zusätzlichen Wasser- und Energiebedarf sowie um die mit dem Ausbau der Beschneigung verbundenen Kosten. Die ökologischen Auswirkungen sind vergleichsweise gut dokumentiert; die Einschränkungen, die bei einem massiven Ausbau der Beschneigung auftre-

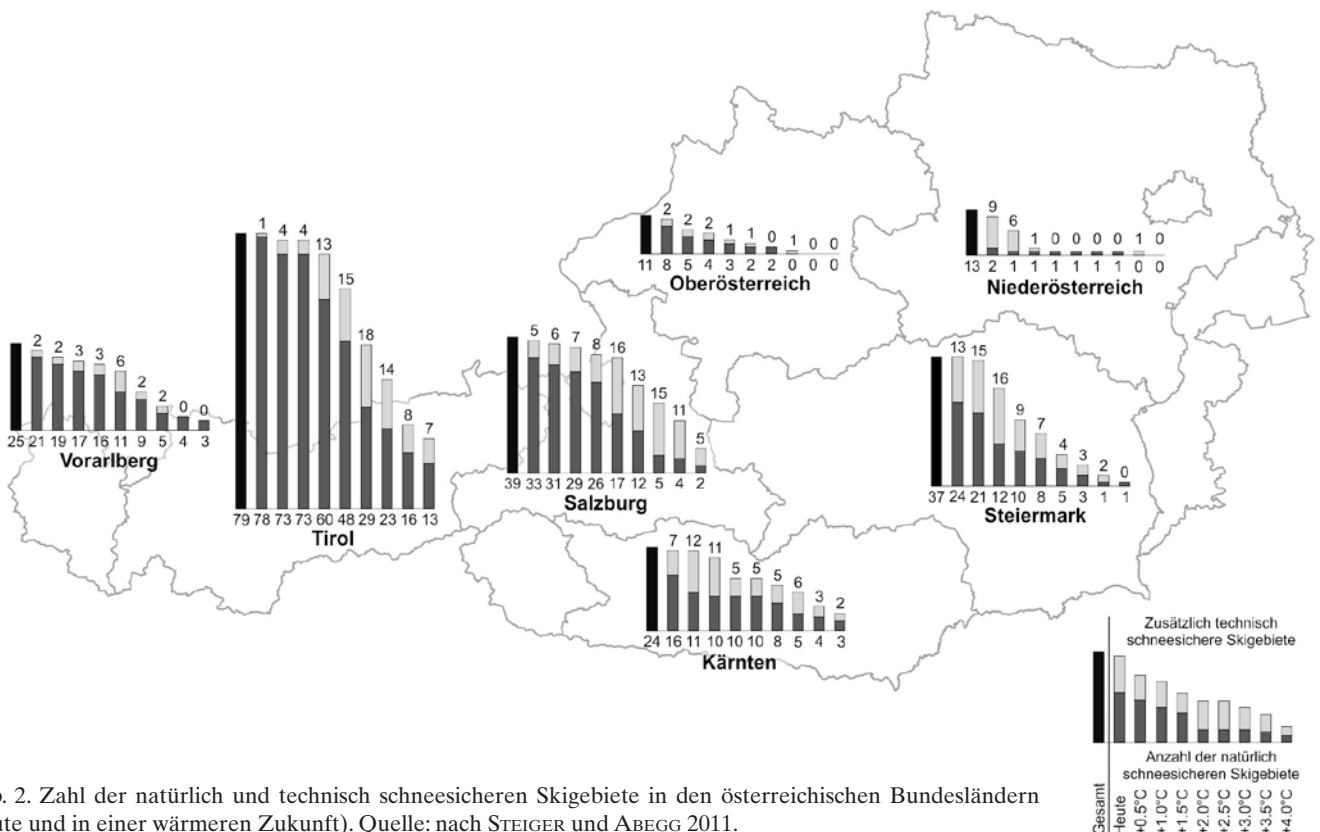


Abb. 2. Zahl der natürlich und technisch schneesicheren Skigebiete in den österreichischen Bundesländern (heute und in einer wärmeren Zukunft). Quelle: nach STEIGER und ABEGG 2011.

Tab. 2. Ausmass der technischen Beschneigung in den Alpenländern. Quelle: ABEGG 2011a.

|                      | Pistenfläche | beschneibar | in % |
|----------------------|--------------|-------------|------|
| Schweiz              | 22 000 ha    | 7 920 ha    | 36%  |
| Österreich           | 25 400 ha    | 16 760 ha   | 66%  |
| Deutschland (Bayern) | 3 700 ha     | 599 ha      | 16%  |
| Italien              | 22 500 ha    | 15 750 ha   | 70%  |
| Frankreich           | 25 000 ha    | 5 300 ha    | 21%  |
| Slowenien            | 1 200 ha     | 900 ha      | 75%  |
| Liechtenstein        | 138 ha       | 60 ha       | 43%  |
| Alpenländer          | 99 938 ha    | 47 289 ha   | 47%  |

ten können, werden zwar wiederholt erwähnt, aber selten detaillierter analysiert (vgl. PICKERING und BUCKLEY 2010; ABEGG 2011b; RIXEN *et al.* 2011).

#### 4.1 Wasserbedarf und Wasserverfügbarkeit

Der Wasserverbrauch pro Einheit Schnee ist vom Standort, den Witterungsverhältnissen und der Art/Effizienz der eingesetzten Anlagen abhängig. TEICH *et al.* (2007) gehen von folgenden Richtwerten aus:

- 1 m<sup>3</sup> technischer Schnee  $\Delta$  0,2 bis 0,5 m<sup>3</sup> Wasser (200–500 Liter Wasser).

Für die Grundbeschneigung einer Hektare Piste (30 cm) benötigt man also 600 bis 1500 m<sup>3</sup> Wasser (600 000–1,5 Mio. Liter Wasser) – und entsprechend mehr, falls nachbeschnitten werden muss.

Der Wasserbedarf ist immens. In Davos macht er 21,5 Prozent, in Scuol gar 36,2 Prozent des jährlichen kommunalen Wasserverbrauchs aus. Vor diesem Hintergrund ist es nicht wei-

ter verwunderlich, dass die Wasserversorgung eine grosse Herausforderung darstellt. Zur wichtigen Frage, ob in Zukunft genügend Wasser vorhanden sein wird, um den zusätzlichen Bedarf zu decken, gibt es leider kaum verlässliche Informationen. Folgende Entwicklungen scheinen plausibel: Je nach Region (abhängig vom Niederschlagsregime, der Topographie und der Geologie etc.) wird mehr oder weniger Wasser zur Verfügung stehen bzw. werden sich die Probleme, die mit der zusätzlichen Wasserentnahme für die Beschneigung einhergehen, mehr oder weniger stark akzentuieren. In wärmeren Gebieten ist davon auszugehen, dass die Nachfrage das Angebot übersteigen könnte (vgl. SCHÄDLER 2009). Konflikte mit anderen Wassernutzern, steigende Wasserpreise und ökologische Probleme (z.B. Restwassermengen) wären vorprogrammiert. Bleibt noch die Frage, wie das Wasser auf die Pisten kommt. Um die Wasserversorgung sicher zu stellen, müssen zusätzliche Speicherseen gebaut werden. Ausserdem braucht es Leitungen, um diese Seen zu füllen beziehungs-

weise um das Wasser von den Seen zu den Schneeerzeugern zu transportieren. Beides wird Spuren in der alpinen Landschaft hinterlassen.

#### 4.2 Energiebedarf

Wie beim Wasser gilt auch für den Strom: Der Verbrauch pro Einheit Schnee ist vom Standort, den Witterungsverhältnissen und der Art/Effizienz der eingesetzten Anlagen abhängig. TEICH *et al.* (2007) gehen von folgenden Richtwerten aus:

- 1 m<sup>3</sup> technischer Schnee  $\Delta$  1,5 bis 9 kWh

Für die Grundbeschneigung einer Hektare Piste (30 cm) benötigt man also 5000 bis 27 000 kWh Strom.

Im Jahr 2006 haben die Bergbahnen Motta Naluns in Scuol rund 2,5 Mio. kWh Strom verbraucht – davon gingen 1,2 Mio. kWh auf das Konto der technischen Beschneigung. Zum Vergleich: Das Bad Scuol benötigte rund 3 Mio. kWh/Jahr (TEICH *et al.* 2007).

Interessant ist auch ein Vergleich des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (2009): «Wenn man von einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 4 kWh für die Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> Schnee ausgeht, dann verbraucht die Grundbeschneigung in Bayern 7,2 Mio. kWh Strom. Ein Zweipersonenhaushalt verbraucht im Jahr durchschnittlich 3030 kWh Strom. Der Strom, der in Bayern für die Grundbeschneigung benötigt wird, würde also reichen, um etwa 2300 Zwei-Personen-Haushalte ein Jahr zu versorgen.»

Es ist davon auszugehen, dass der Stromverbrauch für die technische Beschneigung zunehmen wird. Dabei müssen folgende Aspekte beachtet werden:

1. In einer wärmeren Zukunft wird nicht nur mehr, sondern vermutlich auch vermehrt unter marginalen Bedingungen (= verringerte Effizienz) beschneit werden.
2. Es könnten vermehrt neue Technologien (Kälte- und Kyrotechnik) eingesetzt werden. Diese sind im Vergleich zu den herkömmlichen Anlagen energieintensiver.
3. Der Energieaufwand für die Wasserbereitstellung, insbesondere das Hochpumpen vom Tal in die

Tab. 3. Wasserverbrauch für die technische Beschneigung in Scuol, Davos und in der Schweiz (in 1000 m<sup>3</sup>). Quellen: <sup>1</sup>TEICH *et al.* 2007: 97; <sup>2</sup>Seilbahnen Schweiz 2008.

|                         | Beschneite Fläche (ha) | Wasserverbrauch gemäss Richtwerten (in 1000 m <sup>3</sup> ) | Wasserverbrauch gemäss Angaben Skigebiete (in 1000 m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|------------------------|--|---|
| Scuol (CH) <sup>1</sup> | 144                    | 86,4–216   | ca. 200 (2006)  |
| Davos (CH) <sup>1</sup> | 301                    | 180,6–451,5  | ca. 600 (2006)  |
| Schweiz <sup>2</sup>    | 7260                   | 4356–10890   | ca. 18 000 (2007/08)  |



Speicherbecken bzw. auf die Pisten, wird immer grösser.

Dies bedeutet, dass der Stromverbrauch für die technische Beschneigung – trotz Effizienzgewinnen – stark ansteigen könnte.

### 4.3 Ökologische Auswirkungen

Die ökologischen Auswirkungen der technischen Beschneigung werden seit vielen Jahren diskutiert. Die anfänglich sehr emotional geführten Diskussionen haben sich mittlerweile etwas versachlicht – nicht zuletzt, weil die in vergleichsweise grosser Zahl vorliegenden Studien ein komplexes, aber keineswegs nur negatives Bild zeichnen. Wir verzichten hier auf eine detaillierte Analyse und verweisen statt dessen auf CIPRA (2004), PRÖBSTL (2006), BADRÉ *et al.* (2009), RIXEN *et al.* (2011) sowie die dort zitierte Literatur. Stellvertretend kommen TEICH *et al.* (2007) zum Schluss, «dass ökologische Argumente nicht grundsätzlich gegen den Einsatz von Kunstschnee sprechen, da es nicht nur negative, sondern auch positive Auswirkungen gibt. Entscheidend ist, dass jeder potentielle Eingriff rechtzeitig mit Naturschutzverbänden und -verwaltungen abgesprochen werden sollte, um mögliche negative Einflüsse gering zu halten. Sensible Vegetation, mögliche Störung seltener Tierpopulationen und eventuelle Engpässe bei der Wasserversorgung sollten in jedem Einzelfall geprüft werden. Bei unvermeidlichen Baumassnahmen sollte nach modernsten Massstäben begründet werden.» Zusätzlich müssen folgende Aspekte bedacht werden (ABEGG 2011a):

1. Mit dem Ausbau der Beschneigung geht häufig ein Ausbau der Pisten einher. Damit sind zum Teil massive Landschaftseingriffe (z.B. Planien) verbunden. Sollte es tatsächlich zu einer Intensivierung des Skibetriebs in höheren Lagen kommen, werden auch Regionen tangiert, die aus ökologischer Sicht als äusserst sensibel eingestuft werden müssen.
2. In Zukunft könnten vermehrt künstliche Nukleationskeime verwendet werden. Mit Hilfe dieser Keime, zum Beispiel Snomax,

kann bei höheren Temperaturen beschneit werden. Umstritten bleibt, ob diese Keime (abgetötete Bakterien) negative Auswirkungen auf die alpine Umwelt haben. In einigen Regionen/Ländern sind sie erlaubt (Frankreich, Schweiz), in anderen dagegen (noch) verboten (Bayern, Österreich).

3. In den Alpenländern gibt es verschiedene Vorschriften, welche den Bau und Einsatz von Beschneigungsanlagen regeln. Einige dieser Vorschriften wurden in den letzten Jahren gelockert; zum Beispiel in Bayern (Verlängerung der Beschneigungsaison) oder im Kanton Bern (Vorverlegung des Beschneigungsstarts auf den 15. Oktober). Gut möglich, dass der Druck auf die bestehenden Regelungen in einer wärmeren Zukunft weiter zunimmt.

### 4.4 Ökonomische Auswirkungen

Die Kosten für die technische Beschneigung sind beträchtlich. In der Literatur finden sich zahlreiche Angaben (vgl. ABEGG *et al.* 2007). LANG (2009) geht beispielsweise von folgenden Eckdaten aus:

- Investitionskosten pro Kilometer beschneibare Piste: 750 000 bis 1 000 000 CHF
- Betriebskosten pro Kilometer beschneite Piste: 20 000 bis 100 000 CHF/Jahr

Die Investitionskosten sind in erster Linie von der Bodenbeschaffenheit abhängig, die Betriebskosten von der zu produzierenden Menge, den Witterungsverhältnissen, der Wasserverfügbarkeit und der Art/Effizienz der eingesetzten Anlagen.

In einer wärmeren Zukunft muss deutlich mehr Schnee produziert werden (je nach Gebiet und Szenario mehr als doppelt so viel wie heute), um die Schneesicherheit zu gewährleisten. Damit sind hohe Investitionen in zusätzliche Beschneigungsanlagen, in neue Technologien (effizientere, evtl. auch temperaturunabhängige Anlagen) und in die Sicherstellung der Wasserversorgung (zusätzliche Speicherseen) verbunden. Die Kosten für den Bau von Speicherseen werden von

LANG (2009) wie folgt geschätzt:

- 1,5 bis 2,5 Mio. CHF für Speicherseen mit 30 000 bis 50 000 m<sup>3</sup> Volumen
- 3 bis 3,5 Mio. CHF für einen Speichersee mit 80 000 m<sup>3</sup> Volumen

Bei den Betriebskosten müssen die höheren Volumina und die damit verbundenen Energie- und Wasserkosten berücksichtigt werden. Die Kosten pro Einheit Wasser variieren – abhängig von den Zugriffsrechten – stark. Bei der Energie schlagen vor allem die Kosten für den Wassertransport und den «Gefrier-Prozess» zu Buche. Mit Betriebsoptimierungen und neuen Technologien können Effizienzgewinne erzielt werden. Unter dem Strich werden die Betriebskosten aber massiv ansteigen: Nicht nur weil deutlich mehr Schnee produziert werden muss, sondern auch weil die Kosten pro Energie- (steigende Strompreise) und Wassereinheit (zunehmende Knappheit) ansteigen dürften. Daraus lassen sich zwei kritische Fragen ableiten:

- Wer kommt für die Kosten der zusätzlichen Beschneigung auf?
- Lohnt sich der Ausbau der technischen Beschneigung überhaupt?

Bei der Frage nach der Finanzierung müssen die Ertragskraft der Seilbahnunternehmen, die Zahlungsbereitschaft der Skifahrer und alternative Finanzierungsmodelle berücksichtigt werden:

- Die Ertragskraft der Seilbahnunternehmen ist sehr unterschiedlich. Vor allem kleinere und mittlere Unternehmen werden Mühe haben, den Ausbau der technischen Beschneigung aus eigener Kraft zu finanzieren.
- Die höheren Kosten werden sich in höheren Liftpreisen niederschlagen. Hier stellt sich die Frage, ob die Skifahrer bereit sind, noch mehr für die ohnehin schon relativ teuren Lifttickets zu bezahlen. Und wenn ja, wie viel?
- Es gibt verschiedene Bestrebungen in Richtung einer breiteren Verteilung der Kosten. Versuche, andere Anbieter (z.B. die Hotellerie) einzubinden, sind bis dato gescheitert. In vielen Regionen lässt sich aber ein wachsendes Engagement der öffentlichen Hand beobachten.

Bei der Frage, ob sich der Ausbau der technischen Beschneigung überhaupt lohnt, muss das Kosten-Nutzen-Verhältnis betrachtet werden. Auch hierzu gibt es kaum verlässliche Informationen. Die Erfahrungen aus den schnee-armen Wintern deuten auf eine lohrende Investition hin. Mitunter treten aber auch bereits heute Witterungskonstellationen auf, die den wunschgemässen Einsatz der Beschneigungsanlagen verzögern bzw. verunmöglichen (vgl. Winter 2006/07). Konkrete Studien gibt es nur sehr wenige: PÜTZ *et al.* (2011) weisen am Beispiel von Davos einen positiven Wertschöpfungseffekt nach, und GONSETH (2008) untersuchte, wie sich die Beschneigung eines zusätzlichen Pistenkilometers auf die Erfolgsrechnung von 60 Schweizer Seilbahnunternehmen ausgewirkt hätte: in 70 Prozent der Fälle positiv, in 30 Prozent der Fälle negativ (40 % wenn nur die tiefer gelegenen Skigebiete berücksichtigt werden). Mit anderen Worten: mehr Beschneigung führt nicht automatisch zu besseren Geschäftsergebnissen.

## 5 Ausblick

Der alpine Wintertourismus nimmt eine herausragende Rolle in der touristischen Klimafolgenforschung ein. Aber trotz der vergleichsweise vielen Publikationen, bleiben zahlreiche Fragen offen. Einige dieser Fragen bzw. der daraus abgeleitete Forschungsbedarf werden zum Abschluss kurz skizziert:

1. In der Schweiz wurde die natürliche, aber nicht die technische Schneesicherheit der Skigebiete untersucht (Ausnahme RIXEN *et al.* 2011 für drei ausgewählte Gebiete). Im Rahmen der CH2014 Impacts Initiative soll das nachgeholt werden (nähere Auskünfte beim Autor).
2. Die bis anhin verwendeten Ansätze (Schneemodelle, Klimamodelle, Emissionsszenarien, Indikatoren etc.) unterscheiden sich stark. Um die Resultate vergleichen zu können, müssen die Ansätze harmonisiert werden. Nur so lassen sich Aussagen über unterschiedliche Sensitivitäten im internationalen Skitourismus machen.

3. Die Diskussion über die zukünftige Schneesicherheit der Skigebiete wird von einer gewissen Technikgläubigkeit geprägt («Schneekanonen werden es schon richten»). Aus technischer Sicht ist vieles möglich, auch Schneeproduktion bei Plusgraden. Über die letztendlich wohl entscheidenden Punkte Wasserverfügbarkeit und Finanzierbarkeit wissen wir jedoch sehr wenig. Und was würde das Ausschöpfen der technischen Möglichkeiten für die Ski fahrenden Gäste bedeuten? PÜTZ *et al.* (2011) haben gezeigt, dass die Akzeptanz der Beschneigung gestiegen ist, aber die Frage, wie die Touristen auf eine längerfristige Verschlechterung der Schneeverhältnisse (fehlender Schnee in den Herkunftsgebieten, fehlende Winteratmosphäre in den Skigebieten, längere Anfahrtsweg in die schneesicheren Gebiete, höhere Liftpreise etc.) reagieren werden, ist offen (vgl. SCOTT *et al.* 2012).
4. Stichwort Finanzierbarkeit: Wie könnten alternative Finanzierungsmodelle ausschauen? Soll sich die öffentliche Hand (noch) stärker engagieren? Könnte man nicht auch sagen, dass mit jedem Franken, der in den Ausbau der technischen Beschneigung fliesst, nicht nur der Skibetrieb gesichert, sondern auch die Abhängigkeit vom Skitourismus erhöht und damit die Möglichkeit, in neue und zukunftsfähige Geschäftsmodelle zu investieren, verbaut wird? Auf diese Fragen wird es keine allgemeinen Antworten geben. Was an einem Ort Sinn ergibt, kann an einem anderen Ort in die Sackgasse führen – wichtig ist, dass bei der Bearbeitung der Frage «wo, und bis wann macht welcher Ausbau der Beschneigung Sinn?» die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der betroffenen Unternehmen (Lage, Grösse, Struktur, Ressourcen etc.) berücksichtigt werden.

## 6 Literatur

- ABEGG, B.; FROESCH, R., 1994: Climate Change and Winter Tourism – Impact on Transport Companies in the Swiss Canton of Graubünden. In: BENISTON, M. (ed) *Mountain Environments in Changing Climates*. London/New York, Routledge. 328–340.
- ABEGG, B., 1996: Klimaänderung und Tourismus – Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Zürich, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- ABEGG, B.; AGRAWALA, S.; CRICK, F.; DE MONTFALCON, A., 2007: Climate Change Impacts and Adaptation in Winter Tourism. In: AGRAWALA, S. (ed): *Climate Change in the European Alps*. Paris, OECD-Publishing, 25–60.
- ABEGG, B.; KOLB, M.; SPRENGEL, D.; HOFFMANN, V.H., 2008: Klimawandel aus der Sicht der Schweizer Seilbahnunternehmer. In: BIEGER, T.; LAESSER, C.; MAGGI, R. (eds) *Jahrbuch der Schweizerischen Tourismuswirtschaft 2008*. St. Gallen, IDT-HSG. 73–83.
- ABEGG, B., 2011a: Tourismus im Klimawandel. Schaan, CIPRA International. Compact Nr. 8.
- ABEGG, B., 2011b: Climate Change Adaptation Strategies in Alpine Tourism. In: WEIERMAIR, K. *et al.* (eds) *Coping with Global Climate Change*. Innsbruck, Innsbruck University Press. 333–342.
- BADRÉ, M.; PRIME, J.; RIBIERE, G., 2009: *Neige de Culture*. Paris, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt 2009: *Beschneigungsanlagen und Kunstschnee*. Augsburg, verfügbar auf: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de), UmweltWissen – Natur.
- BÜRKI, R., 2000: *Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus*. St. Gallen, Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, Heft 6.
- CIPRA International 2004: *Künstliche Beschneigung im Alpenraum – ein Hintergrundbericht*. Schaan, verfügbar auf: [www.cipra.org/de/alpmedia/dossiers/11](http://www.cipra.org/de/alpmedia/dossiers/11).
- DAWSON, J.; SCOTT, D.; McBOYLE, G., 2009: *Analogue Analysis of Climate Change Vulnerability in the US Northeast Ski Tourism*. *Clim. Res.* 39: 1–9.

- GONSETH, C., 2008: Adapting Ski Area Operations to a Warmer Climate in the Swiss Alps through Snowmaking Investments and Efficiency Improvements. Lausanne, EPFL (Dissertation).
- LANG, T., 2009: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen. Bern, Bundesamt für Energie. Verfügbar auf: [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch), Energie Schweiz – Unternehmen.
- PICKERING, C.; BUCKLEY, R., 2010: Climate Response by the Ski Industry: the Shortcomings of Snowmaking for Australian Resorts. *Ambio* 39: 430–438.
- PRÖBSTL, U., 2006: Kunstschnee und Umwelt. Bern/Stuttgart/Wien, Haupt.
- PÜTZ, M.; GALLATI, D.; KYTZIA, S.; ELSASSER, H.; LARDELLI, C.; TEICH, M.; WALTERT, F.; RIXEN, C., 2011: Winter Tourism, Climate Change, and Snowmaking in the Swiss Alps: Tourists' Attitude and Regional Economic Impacts. *Mt. Res. Dev.* 31, 4: 357–362.
- RIXEN, C.; TEICH, M.; LARDELLI, C.; GALLATI, D.; POHL, M.; PÜTZ, M.; BEBI, P., 2011: Winter Tourism and Climate Change in the Alps: an Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential. *Mt. Res. Dev.* 31, 3: 229–236.
- SCHÄDLER, B., 2009: Umgang mit Unsicherheiten und sich abzeichnenden Konflikten – Beispiel Wassernutzung. Bern, OcCC-Symposium: Anpassung an den Klimawandel (Vortragsmanuskript).
- SCOTT, D.; McBOYLE, G.; MILLS, B., 2003: Climate Change and the Skiing Industry in Southern Ontario (Canada): Exploring the Importance of Snowmaking as a Technical Adaptation. *Clim. Res.* 23: 171–181.
- SCOTT, D.; McBOYLE, G.; MINOGUE, A., 2007: The Implications of Climate Change for the Québec Ski Industry. *Glob. Environ. Chang.* 17: 181–190.
- SCOTT, D.; DAWSON, J.; JONES, B., 2008: Climate Change Vulnerability of the Northeast US Winter Tourism Sector. *Mitigation Adapt. Strateg. Glob. Change.* 13: 577–596.
- SCOTT, D.; GÖSSLING, S.; HALL, CM., 2012: International Tourism and Climate Change. *WIREs Clim. Chang.* 3: 213–232. doi: 10.1002/wcc.165.
- Seilbahnen Schweiz 2008: Fakten und Zahlen 2008. Bern.
- STEIGER, R.; MAYER, M., 2008: Snowmaking and Climate Change: Future Options for Snow Production in Tyrolean Ski Resorts. *Mt. Res. Dev.* 28, 3/4: 292–298.
- STEIGER, R., 2010: The Impact of Climate Change on Ski Season Length and Snowmaking Requirements in Tyrol, Austria. *Clim. Res.* 43: 251–262.
- STEIGER, R., 2011: The Impact of Snow Scarcity on Ski Tourism – an Analysis of the Record Warm Season 2006/07 in Tyrol (Austria). *Tour. Rev.* 66, 3: 4–13.
- STEIGER, R.; ABEGG, B., 2011: Climate Change Impacts on Austrian Ski Areas. In: BORSODORF, A. *et al.* (eds): *Managing Alpine Future II*. Wien, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. 288–297.
- TEICH, M.; LARDELLI, C.; BEBI, P.; GALLATI, D.; KYTZIA, S.; POHL, M.; PÜTZ, M.; RIXEN, C., 2007: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- WITMER, U., 1986: Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Bern, Geographica Bernensia (G25).
- WOLFSEGG, C.; GÖSSLING, S.; SCOTT, D., 2008: Climate Change Risk Appraisal in the Austrian Ski Industry. *Tour. Rev. Int.* 12: 13–25.

## Abstract

### Natural and technical snow-reliability of ski areas

Alpine winter tourism has been repeatedly identified as vulnerable to global climate change due to diminishing snow conditions required for skiing and snowboarding. Vulnerability to climate change, however, is not only depending on the impacts of global warming on natural snow conditions but also on the tourism stakeholders' willingness and ability to adapt. First, the concept of snow-reliability will be introduced. Second, the potential impacts of climate change on ski/winter tourism will be presented. Special attention will be given to the number 1 adaptation measure: technical snowmaking. The notion, that additional snowmaking may compensate for a decline in natural snow, will be critically reviewed, focusing on major constraints such as water availability, energy demand and costs. Finally, knowledge gaps and interesting topics for future research will be outlined.

Keywords: ski tourism, snow-reliability, snowmaking, limitations, climate change