

## Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

# Projekt: SNOW

Projektnummer: 829757

AP5



## Einbettungsanalyse zu Projekt „SNOW“

Dr. DI Meinhard Breiling, TU Wien  
e-mail: [meinhard.breiling@tuwien.ac.at](mailto:meinhard.breiling@tuwien.ac.at)  
Web: <http://ttl.tuwien.ac.at>

22. Februar 2013



## Einbettungsanalyse

Im Folgenden wird eine sogenannte Einbettungsanalyse des AP5 des SNOW Projekt präsentiert, die neben den Aktivitäten zur Verbreiterung eine wesentliche Voraussetzung ist, dass unser Produkt, der DG und dendritischer Schnee breite Akzeptanz findet. Folgende vier Meilensteine und elf Unterpunkte gehören hier hinzu:

- 1) Marktanalyse
  - a. Skigebiete weltweit;
  - b. Skihallen weltweit
  - c. Reisen in die USA, Österreich/Salzburg, Frankreich, Kanada, Österreich Tirol/  
Vorarlberg, Schweiz
- 2) Ressourceneffizienz
  - a. Wasser Energieverbrauch
  - b. Energie
  - c. Gletscherschutz
- 3) Kosten Beschneigungsinfrastruktur
  - a. Tabelle, Höhe, Herstellungskosten, Kosten je m<sup>3</sup>
  - b. Höhenprofil von Österreich nach Bundesländern
  - c. Meteorologische Randbedingungen
- 4) Chancen und Risiken für die Anwendung der DG Technologie
  - a. Alternative Wege Schnee zu erzeugen bzw. bereitzustellen
  - b. Neue Anwendungsgebiete für den DG

## 1) Marktanalyse

### a. Skigebiete

Skigebiete und die an sie gekoppelten Seilbahngesellschaften sind der erklärte Hauptkunde für dendritischen Schnee und die zu verkaufenden Geräte. Da die aktuell am Markt befindlichen Geräte unterschiedlich sind, als Hoch- oder Niederdrucksysteme je Stück zwischen 2.000m<sup>2</sup> und 10.000 m<sup>2</sup> beschneien können, wir selbst die genaue Kapazität des DGs nicht wissen, geben wir das Marktpotential nicht in Stück an, sondern in der Pistenfläche, die durch unsere Geräte beschneit werden kann.

Die Pistenlänge bzw. die Pistenfläche, die als Hauptquelle für die Wintersportinfrastruktur genannt wird, ist dabei unterschiedlich und es findet keine einheitliche internationale Erhebung statt. So messen einige Skigebiete ihre Abfahrten in km, wobei die Breite variieren kann, andere geben Flächen an, die aus unserer Sicht relevanter sind<sup>1</sup>. In jedem Fall handelt es sich bei den unten angeführten Tabellen um Schätzungen und keine Erhebungen. Die Alpenregion ist dabei klar der Hauptmarkt. Derzeit finden sich hier alleine knapp 100.000 ha Skipiste oder aktuell zwei Drittel der geschätzten Weltkapazität im Alpenbereich. Da speziell in Russland und China die Zahl der neuen Skigebiete rasant zunimmt, während er in den Alpen stagniert oder sogar abnimmt, rechnen wir, dass bis 2030 die Skigebietsfläche außerhalb der Alpen gleich groß jener innerhalb der Alpen sein wird. Wir nehmen an, dass mit Stand Februar 2013, 80.000 ha weltweit beschneibar sind. Das ist rund die Hälfte der heute existierenden Skigebietsfläche. Es wird von einem Marktvolumen von 200.000 ha bis 2030 ausgegangen.

Für den Absatz der DG Technologie ist entscheidend, ob das Produkt als Substitution oder als Komplement zu der bestehenden Produktion von Kunstschnee gesehen wird. Der Industriepartner SIEMENS ist von einer Substitution bzw. möglichen Substitution ausgegangen. Der mögliche Markt für die DG Technologie ist dadurch größer. Betrachtet man DG Schnee als Komplement zur bestehenden Form der Schneeproduktion, dann ist der Markt kleiner. Statt der direkten Relation Skipiste – DG Schneeproduktion, haben wir in eine Relation Skipiste – konventionelle Schneeproduktion – DG Schneeproduktion. Der DG kann andererseits die bestehende Infrastruktur zur Schneeproduktion mitbenutzen und die weiteren Kosten zur Produkteinführung sind gering. Dies trifft sich auch mit der im SNOW Projekt gemachten Erfahrung, dass vor allem exklusive Skigebiete wie das Kitzsteinhorn oder Obergurgl besonderes Interesse an der DG Technologie zeigten. Auch Skiregionen, die zu 100% beschneibar sind, wie die Skiregion Nassfeld, sind mögliche Kunden für den Komplementär Schnee produziert durch die DG Technologie.

Wir können annehmen, dass aktuell 160.000 ha Skigebietsfläche existieren. Vor allem in Ländern mit aufstrebenden Volkswirtschaften werden bis 2030 noch 40.000 ha Skigebietsfläche hinzu kommen. Nicht überall wird Schneeproduktion durch den Menschen benötigt, aktuell sind es ca. 72.000 ha oder 45% der weltweiten Pistenfläche und rund 100.000 ha Skipiste werden bis 2030

---

<sup>1</sup> Siehe „Der Standard“ vom 21.2.2013, S. 11, „Falsche Pistenlänge: Täuschung des Konsumenten“ von Verena Langegger

beschneibar sein. In der verbleibenden Hälfte kann es aus verschiedenen Gründen, in erster Linie auch betriebswirtschaftlichen Gründen, schwierig sein, Schneeproduktion zu etablieren.

Die Kosten für die Infrastruktur der Schneeproduktion setzen sich zu 75% aus Wasserspeicherbecken und Leitungen für Strom, Wasser und Luft zusammen. Lediglich 25% wird direkt in den Schneeerzeuger investiert. Da der DG auf der bestehenden Infrastruktur aufbaut, sind die Einführungskosten der DG Technologie vergleichsweise gering, da die Hauptlast der neuen Infrastruktur nicht benötigt wird.

### Pistenflächen der Alpenregion

	Beschneibare und projektierte Pistenfläche* (ha)	Gesamte Pistenfläche (ha)	Skigebiete
Slowenien	700*	1.200	60
<b>Österreich</b>	<b>17.000*</b>	<b>25.400<sup>2</sup></b>	400
Schweiz	8.800*	22.000 <sup>3</sup>	350
Italien. Alpen	15.000*	22.600	350
Bayern/D	1.700*	3.700	185
Franz. Alpen	12.000*	20.800	500
<b>Alpen Total</b>	<b>55200*</b>	<b>95.700</b>	<b>1845</b>

\* Schätzungen der aktuellen Fläche, teilweise verifiziert durch Seilbahndachverbände, Stand Februar 2013

Die Alpenregion und Österreich im Speziellen ist der Hauptmarkt für die DG Technologie, denn hier alleine befinden sich 60% der weltweiten Pistenfläche. Von den 95.700 ha Skigebiet sind aktuell 58% beschneibar oder kurz vor der Fertigstellung. Die Entwicklung in den einzelnen Ländern war dabei unterschiedlich. Vor allem in Österreich und Italien sind die meisten Flächen beschneibar und in diesen beiden Ländern können sogar 67% der Pistenfläche beschneit werden. Andere Länder wie die Schweiz und Frankreich waren eher restriktiv mit Beschneigung, haben aber in den letzten Jahren ihre Position geändert und es kommt zu einem entsprechenden Nachholbedarf. Wir gehen davon aus, dass in der nächsten Dekade der gesamte Alpenraum zu 75% mit Beschneigungsanlagen ausgestattet sein wird und mehr als 70.000 ha beschneibar sind. Mehr als zwei Drittel des Weltmarktes liegt in der eigenen Region. Österreich alleine, mit über 15% der weltweiten Skigebietsfläche ist der wichtigste Markt in der Alpenregion. Hier wurden im Laufe des SNOW Projekts auch entsprechende Kontakte zu Skigebieten gefestigt, die als Partner für notwendige Feldversuche zur Verfügung stehen können.

<sup>2</sup> [http://portal.wko.at/wk/format\\_detail.wk?angid=1&stid=621089&dstid=329&opennavid=52573](http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=621089&dstid=329&opennavid=52573)

<sup>3</sup> <http://www.1815.ch/wallis/aktuell/schweizer-seilbahnen-haben-400-millionen-franken-investiert-44178.html>

## Weltweite Pistenflächen außerhalb des Alpenraumes

	Beschneibare Pistenfläche* (ha)	Gesamte Pistenfläche (ha)	Skigebiete
Sonstiges Europa, Türkei, Naher Osten	2000*	5000	250
<b>Russland</b>	1000*	5600	280
<b>Zentralasien</b>	50*	4000	200
<b>FSU Europe**</b>	1000*	3000	150
Nordostasien	2000*	15000	1000
USA, Kanada	7000*	20000	750
Südamerika & Südafrika	600*	4000	200
<b>Australien &amp; NZ</b>	3000*	6000	500
<b>India &amp; Pakistan</b>	100*	2000	100
<b>Total</b>	<b>16750</b>	<b>68600</b>	<b>3430</b>

\* Einschätzung der aktuellen Fläche mit Schneeerzeugern, Stand Februar 2013

Sonstiges Europa: Skandinavien, Pyrenäen, und Karpatenländer

FSU Europe: Armenien, Belarussia,

Zentralasien: Usbekistan, Tadschikistan, Kirgistan, Pakistan, Indien

Die Zahlen zu den Flächenangaben müssen vor einer detaillierten Marktbearbeitung noch gesondert geprüft werden. Generell sind Informationen nur indirekt ableitbar. Der direkte Vergleich von Skigebieten ist nicht möglich, da die Skigebiete in den Alpen wesentlich größer sind. Die Schätzungen nehmen auf diesen Umstand Rücksicht.

Viele neue Märkte sind im Entstehen. Skifahren ist zu einem Zeichen der Mittelschicht oder sogar Oberklasse geworden. Die globalen Marktverhältnisse sind auch bezogen auf den Skisport im Umbruch. Die Tradition, die im Alpenraum vorherrscht, findet sich in den neuen Märkten nicht. Eher kann man hier von Trends sprechen, die unberechenbarer sind, als die gewachsenen Strukturen der Alpen. In Russland sind binnen kürzester Zeit zahlreiche neue Skigebiete entstanden, der Vorstand der Vereinigung der russischen Skigebiete, Boris Petrov<sup>4</sup>, bezifferte die Zahl mit 280, meinte aber gleichzeitig, dass ihre Vereinigung gar nicht alle Skigebiete erfasst hat. Viele dieser neu entstandenen Gebiete gingen zuvor in Zentralasien und der ehemaligen Sowjetunion verlorengegangen. Es handelt sich hier auch um eine Verschiebung. Er warnt in Veranstaltungen immer wieder, die Situation in Frankreich oder Österreich als direkten Vergleich heranzuziehen. Vielfach sind die Erwartungen der neuen Skigebietsbetreiber zu hoch.

Die Entwicklung kann hier wohl ähnlich wie in Japan verlaufen, wo Skifahren Anfang der 90iger Jahre besonders attraktiv war und überall im Lande neue Skigebiete entstanden. Bald kletterte die Zahl über 600 Skigebiete, wobei Kleinstskigebiete, die fast in jeder Gemeinde in Nordjapan und Hokkaido entstanden, nicht mitgerechnet wurden. Dann kam aber die Krise und die „bubble economy“ brach zusammen. Viele Investitionen mussten zu einem Bruchteil ihrer Entstehungskosten veräußert werden, die Struktur vieler Skigebiete ist verglichen zu den Alpen stark veraltet. Ohne Schulschikurse wären viele lokale Skigebiete schon zu Grunde gegangen. Die Gruppe der 30ig Jährigen, aus der sich besonders viele Skifahrer rekrutierten, verdient heute nur noch 60% des Gehalts, welches vor 20 Jahren üblich war. Gleichzeitig gibt es heute viele neue Beschäftigungen, Computerspiele und Internet Aktivitäten, und weitere Faktoren die den Rückgang im Skisport gefördert haben. Aus diesem Grund ist die Investitionsbereitschaft in Kunstschnee gering und vielfach muss die

<sup>4</sup> Persönliches Gespräch anlässlich des World Snowforum, Jänner 2013 in Novosibirsk, Russland

unausweichliche Klimaänderung als Argument für den Rückgang schneebasierter Aktivitäten erhalten.

In Summe sind die außeralpinen Märkte höchst heterogen. Im Gegensatz zu den Alpen kann man schlecht generalisieren, zu unterschiedlich sind sowohl die klimatischen als auch die sozio-ökonomischen Randbedingungen. Im Zuge der Patentierungsstrategie für die DG Technologie seitens der Universitäten TU Wien und der BOKU Wien, wurde die Technologie in Europa, in USA und Kanada zur internationalen Patentierung angemeldet. Mit diesen Ländern sind über 70% des potentiellen Marktes abgedeckt. Gleichzeitig finden sich hier die Länder mit einer kontinuierlichen ökonomischen Entwicklung.

## b. Skihallen weltweit

Skihallen sind eine österreichische Erfindung: die erste Skihalle wurde in der Zwischenkriegszeit in Wien gebaut. Der Nordwestbahnhof in Wien war zuvor der Schneepalast und wurde am 26. November 1927 durch den Bürgermeister Karl Seitz eröffnet. Die Piste im 3000 m<sup>2</sup> großen Skigelände verlief über eine Holzrampe. Eine Sprungschanze machte Sprungweiten bis zu 20 Meter möglich. Die Skifahrer mussten zu Fuß den „Berg“ hinaufgehen, da es keine Aufstiegshilfe gab. Rodelschlitten konnten jedoch mit einer elektrisch betriebenen Anlage hinaufgezogen werden. Der künstliche Schnee wurde von dem englischen Chemiker Ayscoughs aus Soda hergestellt.

Abbildung: Die Halle im Nordwestbahnhof während der Adaptierung für den Skilauf



Quelle: <http://www.bildarchivaustria.at/download/11286817/layout/113397b.jpg>

Aktuell gibt es etwa 50 Skihallen, die eine Pistenlänge von bis zu 400m haben und mehrere 1000m<sup>2</sup> bis zu maximal 4 ha groß sein können. In Deutschland, im wichtigsten Markt für den österreichischen Wintersport, gibt es alleine gibt es sechs Skihallen, eine siebente ist im Bau. In den Niederlanden, den zweitwichtigsten Markt finden sich sieben Skihallen, bezogen auf die Bevölkerung sogar die größte Dichte an Skihallen. Oft finanzieren österreichische Skigebiete – etwa Sölden im deutschen Ort Bispingen - die Skihallen mit, denn man möchte die städtische Kundschaft auf den Geschmack für das Skifahren bringen. Kinder sollen das Skifahren lernen und danach nach Österreich kommen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht würden sich Skihallen ansonsten kaum rechnen.

Neuerdings sind Skihallen in der ganzen Welt ein besonderes Statussymbol. Die Skihalle in Dubai ist ein herausragendes Beispiel, doch viele Länder versuchen dieses Beispiel zu übertreffen. Durch Kombination mit einer Entsalzungsanlage kann Kunstsnee als Zusatzprodukt erzeugt werden. Generell ist in allen heißen Ländern Schnee eine überaus große Attraktion. Im Rahmen des Projekt SNOW wurde die Skihalle in Shenzhen, Südchina besucht. Die Betreiber hatten große Probleme den verwendeten Kunstsnee nicht vereisen zu lassen. Immer wieder gelangen mit den Besuchern, oft Schulklassen, die einfach nur einmal Schnee angreifen möchten, auch wärmere Luftströme aus der Umgebung in die Skihalle und dadurch wird der Schnee relativ schnell in Eis umgewandelt. Die Betreiber zeigten sich interessiert an der DG Technologie und würden bei Bedarf gerne auch mit uns zusammenarbeiten. Eine weitere Skihalle befindet sich in der „Snow Town“ der „Dream World

Langsit“ in Thailand oder die Snow World in Hyderabad, Indien. Ähnliche Projekte sind in vielen aufstrebenden Regionen der Welt angedacht und die Anzahl der Skihallen kann sich vervielfachen. Wir rechnen, dass bis 2030 rund 1000 ha Skipiste unter Dach sind. Dies ist ein wichtiger Impuls neue Skifahrer für die heimischen Skigebiete zu gewinnen. Durch Skihallen bleibt auch der Skisport präsent in den Köpfen. Skihallen sind auch potentielle Großlabors um DG Schnee an möglichst viele unterschiedliche Produktionsbedingungen im Freiland anzupassen. Alleine deshalb sind sie interessant, wenngleich die Fläche nur rund 0,5% von Freilandflächen betragen wird.

Abbildung: Skihalle "Shenzhen - Alp Center" in Südchina



Quelle: M.Breiling, 17.11.2011

Problematisch können die hohen Betriebskosten sein. In Japan musste die weltweit größte Skihalle, der Spring-Summer-Autumn-Winter-Skiing SSAWS Chiba Ski Dome aufgrund von hohen Betriebskosten 2009 geschlossen werden. Zudem kamen nach den ersten Jahren keine neuen Kunden mehr und die betriebswirtschaftliche Rechnung stimmte nicht mehr. Generell nahm in Japan – entgegen dem Trend in aufstrebenden Märkten für Wintersport wie Russland und China – die Zahl der Skifahrer ab. Selbst wenn man sich aus heutiger Sicht von Skihallen keine großen Verkaufserfolge erwarten kann, sollte eine Kooperation mit Skihallen gesucht werden um dendritischen Schnee besser zu vermarkten. Hier finden wir standardisierte Temperaturverhältnisse mit kleinen Schwankungen, keine Probleme mit Schneeverwehungen und wesentlich einfachere Möglichkeiten, DG Schnee vom Labor auf die Piste zu bringen. Pläne von 2009, die alte Wiener Skihallentradition am Flughafen Aspern um 100 Millionen Euro wieder entstehen zu lassen<sup>5</sup>, haben sich bis dato noch nicht realisiert. Sollte dies wieder ein Thema werden, so könnte diese Skihalle jedenfalls wiederum eine Weltpremiere bieten können: sie wäre dann die erste, die mit dendritischem Schnee beschneit werden kann.

<sup>5</sup> [http://diepresse.com/home/panorama/oesterreich/443582/Wien\\_Skihalle-in-Donaustadt-geplant](http://diepresse.com/home/panorama/oesterreich/443582/Wien_Skihalle-in-Donaustadt-geplant)



c. Reisen zur Erfassung des Marktpotentials im Rahmen des SNOW Projekts:

Um die Marktsituation des DG besser abschätzen zu können wurden gezielte Reisen unternommen. Die ökonomische Bedeutung von Beschneigung und des DG im Speziellen sollte beurteilt werden. In erster Linie wurden Skigebiete, Skihallen, und akademische Institute besucht. Klarheit über potentielle neue Vermarktungen der Technologie sollte gefunden werden.

Reise USA, 5.-12. Februar 2011: Besuch der Ohio State University und des Byrd Laboratory und seines Leiters Prof. Lonny Thompson. Lonny Thompson<sup>6</sup> forscht auf dem Gebiet von tropischen Gletschern. Sein Forschungsfeld, so meint er wird in rund 20 Jahren verschwunden sein. Denn dann werden alle tropischen Gletscher, die sich auf Bergspitzen in Südamerika, Afrika, Indonesien befinden geschmolzen sein. Da Prof. Thompson seit 40 Jahren zu dem Thema forscht und in zahlreichen Expeditionen Eiskernbohrungen auf tropischen Gletschern unternommen hat, die allesamt im Keller des Instituts tiefgekühlt lagern, werden er bzw. die Mitarbeiter des Byrd Polar Research Center auch nach Abschmelzen der tropischen Gletscher noch viel zu forschen haben. Im Detail diskutierten wir, ob er es für sinnvoll erachtet, wenn eine vom Netz unabhängige Beschneigung von dendritischem Schnee möglich wäre. Die Idee dahinter wäre, dass DG Schnee durch Albedo viel von der einfallenden Einstrahlung reflektiert. Prof. Thompson war skeptisch, denn selbst wenn wir den Apparat bereit hätten, müssten wir ein unabhängiges Netz auf Basis von Photovoltaik parallel entwickeln.

Ein weiterer Besuch führte mich in die USDA, zu Dr. V.A.Reddy, Research Leader USDA-ARS<sup>7</sup>, Crop Systems and Global Change Lab. Diese Forschungseinrichtung im US Landwirtschaftsministerium ist weltweit führend in der Modellierung von Klimafolgen für die Landwirtschaft. Seit 20 Jahren arbeiten rund 15 Mitarbeiter an der Entwicklung des Modells, welches auf die Änderung von bis zu 300 Umweltparametern reagiert. Dendritischer Schnee und seine physikalischen Eigenschaften sind geeignet, wesentlich auf das Wachstum von Kulturpflanzen Einfluss zu nehmen. Wachstumsprozesse der Pflanzen mit und ohne dendritischen Schnee können vergleichend simuliert werden. Das Potential von dendritischem Schnee für die Landwirtschaft kann so aufgezeigt werden. Dieser Markt wäre wesentlich größer als jener Wintersportindustrie.

Reise Kitzsteinhorn, Salzburg, 19.-20. Februar 2011:

Die Kitzsteinhornbahnen in Kaprun verfügen über ein Skigebiet zwischen 1900m und 3000m. Rechnet man noch die Region Zell am See hinzu, bekommt man auf engstem Raum Möglichkeiten zum Skifahren zwischen 700m und 3000m und einen einzigartigen Höhenunterschied von 2300m. Bürgermeister Karlsböck, der auch Vorstandsdirektor der Kitzsteinhornbahnen<sup>8</sup> ist, lud das Konsortium zur Kooperation in sein Skigebiet ein. Dieser Kooperation entsprang ein durch SIEMENS AG Österreich finanziertes Projekt bei dem die Möglichkeiten der dendritischen Schneeerzeugung auch im Freiland getestet wurden.

Reise Frankreich, Savoyen, 14.-19.5.2011: Ein Lokalausweis im Departement Grenoble und ein Besuch bei Fr. Prof. Carmen de Jong<sup>9</sup> Universität von Savoyen wurde genutzt um mir ein Bild des französischen Wintertourismus zu machen. Im Vergleich zu Österreich ist in den französischen Alpen eine Abwanderung passiert, die in Österreich verhindert werden konnte. Die Schneeproduktion ist in

<sup>6</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Lonnie\\_G.\\_Thompson](http://de.wikipedia.org/wiki/Lonnie_G._Thompson)

<sup>7</sup> <http://www.ars.usda.gov/PandP/docs.htm?docid=6566>

<sup>8</sup> [http://www.kitzsteinhorn.at/sys/download/public/presse/mitteilungen/Kitzsteinhorn\\_\\_HV\\_21022013.pdf](http://www.kitzsteinhorn.at/sys/download/public/presse/mitteilungen/Kitzsteinhorn__HV_21022013.pdf)

<sup>9</sup> <http://carmendejong.org>

Frankreich weniger entwickelt als in Österreich. Dies lag daran, dass die Elektrizitätswirtschaft zuvor die Schneeproduktion eher negativ betrachtet hat, da gerade zu Zeiten der größten Wasserknappheit, Wasser für die Beschneigung benötigt wird und folglich nicht für die Produktion von elektrischem Strom zur Verfügung steht. Die französische Elektrizitätsgesellschaft hat aber viele Skigebiete aufgekauft und als Besitzer von Skigebieten wird durch Wintertourismus mehr Gewinn erzielt als durch reine Energiegewinnung. So wurden viele neue Projekte für die Kunstschneeproduktion vorangetrieben. Gemeinsam mit Prof. de Jong habe ich das Skigebiet Les Arcs<sup>10</sup> besucht. Jüngst wurde hier ein 500.000 m<sup>3</sup> großes Speicherbecken errichtet. Hier wird Wasser von fünf Tälern gesammelt und für die Skigebiete in Les Arcs verwendet.

Abbildung: Speicherteich des Skigebiet „Les Arcs“ mit 500.000m<sup>3</sup> Fassungsvermögen



Quelle: M.Breiling, 18.5.2011

Der Wasserhaushalt wird entscheidend verändert und Fr. de Jong wies auf entscheidende Faktoren im Wasserhaushalt hin. Vier Täler werden trockener, das Tal in dem Ski gefahren wird, bekommt wesentlich mehr Abfluss. Ziel muss es sein, Ausschläge in zu trocken und zu feucht in jede Richtung ab zu mindern. In Österreich fasst der größte Speicher Zauchensee, der für Beschneigung errichtet wurde, 450.000 m<sup>3</sup> Wasser. Die dendritische Schneeerzeugung erzeugt Schnee im Behälter. Dadurch können bis zu 30% Wasser eingespart werden, die bei herkömmlicher Schneeproduktion in die Luft entlassen würden.

Reise Shenzhen und Hongkong 14.-23.11.2011: Shenzhen ist eine Sonderwirtschaftszone in Südchina in der Firmen wie Apple, Sony und HP ihre Produkte herstellen lassen. Die erste der drei chinesischen Skihallen steht in Shenzhen<sup>11</sup> und beherbergt auch den Hong Kong Ski Club. Der Besuch in der 4.300 m<sup>3</sup> großen Skihalle diente dem Lokalaugenschein. Im subtropischen Klima ist schwierig, den Kunstschnee als Schnee zu bewahren, sondern die Skulpturen und Skibahnen waren vereist. Zu oft gelangen mit den Besuchern warme Luft ins gekühlte Zentrum der Skihalle. Da die meisten Besucher noch nie zuvor Schnee gesehen haben, ist es nicht möglich zwischen einzelnen Produkten zu unterscheiden. Die chinesischen Verantwortlichen für das Alps Zentrum im Komplex „Window of the

<sup>10</sup> <http://de.ski-france.com/skigebiet-paradiski/les-arcs-1800/>

<sup>11</sup> <http://eng.szwwco.com/motionproject/aebbsxj/>

World“ können in Bezug auf Schnee und Schneequalität keine Unterschiede feststellen. Die verantwortlichen Manager vor Ort waren in der Produktion von DG Schnee sehr interessiert.

Abbildung: Chinesische Schülerinnen erleben erstmals Schnee



Quelle: M. Breiling, 17.11.2011

Über Vermittlung konnte ich auch den „Incubator Shenzhen“ besuchen. Er ist in Kooperation zwischen den Universitäten Peking und Hong Kong gegründet worden und gibt zahlreichen spin offs die Möglichkeit ihre Produkte zu entwickeln und „public“ zu gehen. Public im chinesischen Maßstab bedeutet an die Börse zu gehen und Aktien auszuschütten. Die chinesische Regierung unterstützt die spin offs durch vorteilhafte Risikofinanzierung.

Reise Kanada, 5. – 12.2.2012: Die Reise nach Kanada diente einerseits dem Besuch von drei Skigebieten in Ontario, der Region um Toronto und dem akademischen Austausch mit Kollegen, die sich mit Wintersport, Tourismus, Klimawandel beschäftigen.

Nachtskifahren in Glenn Eden in Nähe zu Toronto.



Quelle: M. Breiling, 5.2.2012

Der erste Teil des Besuchs hatte ein praktisches Anliegen, wie funktioniert Schneeproduktion außerhalb von Europa. Das warme Wetter mit bis zu 20°C Tagesmaxima zu Beginn des Februars 2012 stellte die dortigen Schneemeister vor eine Belastungsprobe. Der erste Besuch galt dem Skigebiet Glenn Eden<sup>12</sup>, einem Nachtskigebiet, welches im Einzugsbereich von Toronto in einem Naturpark liegt. Der Park macht sein Hauptgeschäft im Sommer, doch auch im Winter soll das Personal beschäftigt und Umsatz gemacht werden. Dies geht in dieser Saison nur durch massiven Einsatz von Kunstschnee. An Plätzen mit kaltem Mikroklima wird auf Vorrat beschneit. Die maximale Schneedeckenhöhe aus Kunstschnee betrug im Jänner vor Einbruch der Wärmewelle 25m, wurde durch das ungewöhnlich warme Wetter aber auf 6m Dicke reduziert. Hätte man kein Polster geschaffen, es wäre nicht möglich gewesen, einen Betrieb anzubieten. Die Kosten waren dabei sehr hoch, doch den Betreibern ist es in diesen Fall egal, wenn der Winterbetrieb nicht kostendeckend ist, solange eine Aktivität passiert. Viele der Konkurrenten konnten keine Kuntschneepisten anbieten.

Das zweite Skigebiet war Chicopee<sup>13</sup> in Kitchener. Es wurde als Skiclub konzipiert und gehört seinen Mitgliedern. Das Gebiet zum Skifahren wird geleast. Da das Zusetzen von chemischen und physikalischen Zusatzstoffen in Kanada erlaubt ist, wird Snowmax, ein bakterieller Zusatz um den Schmelzpunkt zu erhöhen, verwendet. Die Schneeproduktion wird dadurch leichter, aber auch empfindlich teurer. Der Schneemeister des Skigebiets erklärte auch, dass es Kostengründe sind, die ihn abschrecken Snowmax zu verwenden, während ökologische Bedenken keine große Rolle spielen.

Das dritte Skigebiet war Cobble Hills Ski Resort<sup>14</sup> liegt schon weiter von Toronto entfernt beim Städtchen London und der Skiclub im Winter alterniert hier mit einem Golfclub im Sommer. Ähnlich wie bei den anderen zuvor besuchten Skigebieten ist die Auslastung über das ganze Jahr hindurch ein Thema.

Abbildung: Skigebiet Cobble Hills: die Beschneieung des Skigebiets war nicht ausreichend für das warme Wetter und führte im Februar 2012 zu eingeschränktem Skibetrieb



Quelle: M. Breiling, 10.2.2012

<sup>12</sup> <http://gleneden.on.ca/>

<sup>13</sup> <http://www.discoverchicopee.com/index.php/about/>

<sup>14</sup> <http://www.golfcobblehills.ca/>

Für Beschneigung stehen hier weniger Mittel zur Verfügung als in den beiden zuvor genannten Skigebieten, die viel näher bei Toronto liegen. Daher fehlt die Besuchermasse für ein wirtschaftliches Florieren. Entsprechende Auslastung wäre nur am Wochenende möglich, doch da die Kosten für die Schneeerzeugung gleich hoch sind wie bei den großstadtnahen Skigebieten, wird bei einer Wärmewelle lieber auf den Skibetrieb verzichtet und auf natürlichen Schneefall gewartet. Der zweite Teil des Besuchs galt Forschern an kanadischen Universitäten. Dr. Daniel Scott von der Universität Waterloo<sup>15</sup>. Wir diskutierten das Problem der Erfassung des globalen Marktes für den Wintertourismus. Teile dieser Diskussion sind auch in die Marktanalyse eingegangen. Prof. Robert Brown<sup>16</sup> der Universität Guelph ist Landschaftsarchitekt und spezialisiert auf mikroklimatische Beurteilungen der Landschaft. Wir haben die Anwendung von DG Schnee als Verbesserung für das Mikroklima diskutiert. Ein weiterer Besuch galt Prof. Ted Munn<sup>17</sup> in Toronto, der auch vier Jahre Direktor des Umweltprogramms am IIASA in Laxenburg war.

Reise Kärnten, Tirol, Vorarlberg, Schweiz 26. – 30.9.2012: Die letzte Reise im Rahmen des SNOW Projekts führte in Österreichs Westen und in die Schweiz. Die lokale Situation am Arlberg, in Bludenz, in Altdorf wurde analysiert und im Tourismus tätige wurden befragt, welche Herausforderungen sie auf sich zukommen sehen. Die Tourismusbetriebe stehen unter Druck in regelmäßigen Abständen neue Standards bieten zu müssen. Wer leise tritt und nicht investiert, droht aus dem Geschäft verdrängt zu werden. Als solches ergibt sich auch ein guter Start für den DG. Er stellt eine wesentliche Erneuerung da, die Kosten sind bei Komplement zum existierenden Kunstsnee aber überschaubar, während sie schnell überborden, wenn auch noch die sonstige Infrastruktur, Speicherteiche und Leitungen gebaut werden müssen.

Abbildung: Hochgurgl & Obergurgl: hier konnte Kunstsnee Höhen zwischen 2000m und 3000m erobern



Quelle: M. Breiling, 10.3.2012

<sup>15</sup> <http://uwaterloo.ca/geography-environmental-management/people-profiles/daniel-scott>

<sup>16</sup> <http://atguelph.uoguelph.ca/2012/06/kudos-for-book-by-prof-robert-brown/>

<sup>17</sup> <http://www.library.utoronto.ca/iip/journal/Profiles/munn.htm>

Aus anderen Quellen finanziert wurden Reisen in die Skigebiete Obergurgl und Nassfeld besucht. Es wurde vorgefühlt inwieweit die Skigebiete ein Interesse für das Mitwirken an Feldversuchen haben. Obergurgl<sup>18</sup>, wo mein Ansprechpartner Bernhard Scheiber war, lebt nicht vom Wintersport, sondern vom gehobenen Tourismus. Nirgendwo sonst in Österreich gibt es so viele Luxushotels über 2000m. Bis vor kurzem konnte man sich absolut nicht vorstellen, dass Beschneigung in hochalpinen Regionen ein Thema sein kann, doch dies hat sich radikal geändert. Man denkt nun laut nach ob es sinnvoll wäre, die Gletscher zu beschneien. Doch bis dato ist dies noch rechtlich verboten. Beim Skigebiet Nassfeld wurde ich durch Helmut Hochenwarter, Obmann der Treßdorfer Almgemeinschaft auf einige Probleme im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt aufmerksam gemacht<sup>19</sup>. Bis in den Jänner 2013 hinein gab es Schneeprobleme und alleine die Nachbeschneigung hat innerhalb einer Jännerwoche 450.000 m<sup>3</sup> Wasser oder mehr als 2000m<sup>3</sup> pro ha verschlungen. Am Nassfeld finden sich 220 ha mit 100% Beschneibarkeit. Es scheint evident, dass der Wassereinsatz wesentlich höher ist als jener Teil, der als Kunstschnee in der Schneedecke verbleibt.

Abbildung: Die Wasserentnahme in alpinen Gewässern – im Bild die Gail - wird durch Beschneigung massiv vorangetrieben.



Quelle: M. Breiling, 4.2.2013

<sup>18</sup> <http://www.obergurgl.com/main/DE/GG/WI/skigebiet/index.html>

<sup>19</sup> <http://www.nassfeld.at/de/winter/>

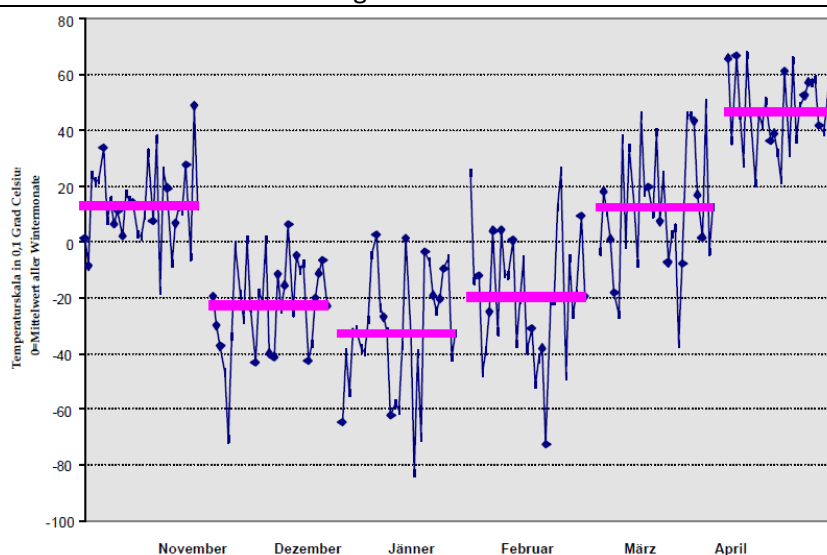
## 2) Ressourceneffizienz

### a. Wasser

Ein wesentlicher Aspekt der DG Technologie ist es Ressourcen effizienter zu verwenden. In unserem Fall brauchen wir weniger Wasser als die konventionelle Kunstschneeproduktion. Der Wasserverbrauch unterscheidet sich von Skigebiet zu Skigebiet. Es gibt eine saisonale, zeitliche Achse in der produzierter Schnee wieder schmelzen kann und so zu Wasserverlusten führt und erzeugungsspezifische Verluste, die stark von lokalen Gegebenheiten abhängig sind.

Als ein absolutes Minimum werden "konservativ" mit 3.000 m<sup>3</sup> Wasser gerechnet, das entspricht in etwa 7.000 m<sup>3</sup> Kunstschnee mit einer Dichte von 430 kg pro m<sup>3</sup>. Würde es theoretisch gelingen die verschneite Menge gleichmäßig auf der Skipiste aufzutragen, würde man eine Kunstschneedecke von 70cm bekommen. In der Realität variiert diese Höhe, ein Teil der Schneedecke schmilzt in warmen Perioden ab, hinzu kommt eine bestimmte Menge Naturschnee. Ziel ist es über die gesamte Saison eine Schneedecke mit 30cm aufzubauen, in Grenzsituationen fährt man auch schon auf 20cm Schneedecke im Hochgebirge benötigt man sogar 50cm Schneedecke.

**Abbildung 3:** Die Verlagerung des Beschneigungsmuster von November hin zu Dezember bis Februar würde die Effizienz der Beschneigung erhöhen und die Wasserverluste minimieren.



Quelle: Breiling et al. 1997

Rund 70% der Schneeproduktion passiert als sogenannte „Grund- oder Basisbeschneigung“ zu Saisonbeginn im November und zu einer Zeit in der die durchschnittlichen Monatswerte im Schnitt um drei Grad Celsius wärmer sind als über in den zentralen Wintermonaten Dezember, Jänner und Februar. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein großer Teil des Wassers für die Basisbeschneigung nicht als Kunstschnee ankommt liegt nahe. 70% der Wassermenge also 2100 m<sup>3</sup> oder 4900 m<sup>3</sup> Kunstschnee werden im November oder im frühen Dezember umgesetzt. Würde die gesamte Wassermenge als Kunstschnee ankommen, hätte man eine gleichmäßige mittlere Schneedecke von 49 cm Höhe. In der Praxis werden aber die erforderlichen 30cm Schneedecke produziert. Es gehen schon bei der Grundbeschneigung 39% des Wassers für den eigentlichen Zweck der Schneeerzeugung verloren. Die restlichen 900 m<sup>3</sup> Wasser bzw. 2100m<sup>3</sup> Kunstschnee oder eine 21cm hohe Schneedecke ersetzen eine kleiner werdende Schneedecke während der Monate Dezember, Jänner, Februar oder in Ausnahmefällen auch noch März wieder auf das Niveau von 30cm Schneedecke zu heben. Über die

Wintersaison gesehen schmilzt mehr als die Hälfte des erzeugten Schnees in warmen Perioden wieder davon.

Der Wert von 3.000 m<sup>3</sup> Wasser ist ein konservativer Wert, der in der Praxis wesentlich höher sein kann. Die CIPRA nimmt in einer Studie vom Dezember 2004 eine Wassermenge von durchschnittlich 4.000 m<sup>3</sup> für den Alpenraum an. Dies ergibt 9.333m<sup>3</sup> erzeugten Schnee mit 430 kg/m<sup>3</sup> je ha oder eine mittlere Schneedecke von 93cm. Alleine während der vier bis sechs Wochen Grundbeschneigung schmilzt die Hälfte der Schneedecke, bzw. wird gar nicht zu Schnee umgewandelt. Im Bezug zur gesamten Saison schmelzen gleich zwei Drittel der eingesetzten Wassermenge wieder davon. Die Schmelzverluste sind sehr hoch, doch nur ein Teil der Wasserproblematik bei Kunstschnee.

Die Leitungsverluste vom Speicherteich hin über Pumpstationen zu den Schneeerzeugern können selbst in sehr gut überwachten Skigebieten wie am Kitzsteinhorn 30% betragen. Von der bei den Schneeerzeugern angekommenen Menge Wasser verdunstet ein erheblicher Teil wieder, wenn unterkühltes Wasser mit Überdruck in die winterliche Atmosphäre entlassen wird. Bei hoher Luftfeuchte und im Grenztemperaturbereich der Schneeerzeugung, ca. -5°C bis -3°C friert nur ein Teil des unterkühlten Wassers als Eispartikel aus. Die Umwandlung Wasser in Eis setzt Energie frei, die einen Teil des eingesetzten Wassers in der Atmosphäre verdunsten lässt. Der Prozess bei der konventionellen Schneeerzeugung wandelt unterkühltes Wasser zu Eis bzw. Kunstschnee um und kann in diesem Umwandlungsprozess zu einem Verlust von 30% des Wassers führen. Als eine dritte Quelle für weiteren Wasserverlust sind Schneeverwehungen zu nennen, die lokal bedeutend sein können.

Bei einem Lokalausweis am Skigebiet Nassfeld in Kärnten im Februar 2013 konnte ich folgende Beobachtung machen. Dort wurden laut Auskunft des Obmann der Tressdorfer Almgemeinschaft 450.000 m<sup>3</sup> in nur einer Jännerwoche für 220 ha verschneit, also mehr als 2.000 m<sup>3</sup> in einer Woche, abseits der "Basisbeschneigung". Wenn das stimmt, kann man mindestens mit 6.000 m<sup>3</sup> Wassereinsatz je ha rechnen, die Hälfte des Wassers kommt dabei nie als Kunstschnee an und mehr als die Hälfte des erzeugten Kunstschnees schmelzen in wärmeren Abschnitten der Wintersaison wieder dahin.

Die DG Technologie kann zumindest in einigen Bereichen Abhilfe schaffen. Schnee kristallisiert in einem Behälter aus der Dampfphase aus und wird nicht als unterkühltes Wasser in die Atmosphäre geschleudert. Verluste, die aufgrund von Verdunstungswärme und Schneeverwehungen entstehen fallen daher bei der DG Technologie nicht an. Es stehen daher bis zu 30% mehr Wasser für die Umwandlung in Kunstschnee zur Verfügung. Da die Infrastruktur der bestehenden Beschneigung benutzt wird fallen nach wie vor Leitungsverluste an. Ein Hauptproblem der Schneeerzeugung ist der frühe Saisonstart mit Beginn Dezember. Das bedeutet, dass vor allem im November und zu ungünstigen Temperaturbedingungen Schnee erzeugt wird. Die Kombination eine erst mit 20. Dezember beginnende Skisaison, die dafür aber gerne bis Anfang Mai dauern kann, und der Einsatz des DG für die Schneeerzeugung kann die produzierte Kunstschneemenge bei gleichbleibender Infrastruktur verdoppeln.



## b. Energie

Daten zum Energieverbrauch existieren nur begrenzt und es liegt immer am Betrachter welche Prozesse mit berücksichtigt werden und welche nicht. Es wird daher auf Sekundärquellen zurückgegriffen (CIPRA 2004) ohne die Systemgrenzen genau zu kennen. Die konventionelle Beschneigung benötigt rund 25.000 kWh je ha und Jahr oder 3 kWh pro erzeugtem m<sup>3</sup> Kunstschnee oder 8 kWh pro benötigtem m<sup>3</sup> Wasser. Ohne auf die in diesem Bericht vorliegende Energiebilanz der Produktionsweise des DG einzugehen erzielt man eine bessere Energieeffizienz wenn man das an die Schneeerzeuger herbeigeführte Wasser auch in Kunstschnee überführt. In jedem Teilsystem, Anlagenbau, Anlagenfunktion, Pumpleistung und Wassertransport, Funktionsprinzip der Schneeerzeugung, überall lassen sich wesentliche Verbesserungen und eine Verbesserung der Energiebilanz erreichen. Die Analyse all dieser Teilsysteme wäre jeweils ein neues Projekt wert. Österreich als wichtigster Markt für die Erzeugung von Kunstschnee kommt hier eine Vorreiter Rolle zu, die zu einem späteren Zeitpunkt wahrgenommen werden muss.

Das in Österreich in den einzelnen Bundesländern gegebene Verbot, vor 1. November generell eine Beschneigung in Skigebieten zu verbieten, ist aus energiepolitischer Sicht zielführend, da am Saisonbeginn die größte Ineffizienz des Energieeinsatz zu beobachten ist. Hochgelegene Skigebiete wie das Kitzsteinhorn (1900m bis 3000m), die eine wesentlich kältere Umgebungstemperatur haben, konnten Ausnahmebestimmungen für sich reklamieren können und dürfen schon ab 1. September beschneien.

Über Softwaresteuerung der Schneiprogramme kann die Energieeffizienz zusätzlich beeinflusst werden. Der Verzicht auf Beschneigung in Randertragszeiten ist kein technisches Problem, sondern ein Bewusstseinsprozess. Heute leben viele Skigebiete in Konkurrenz zueinander, es gilt früher als die Konkurrenz mit dem Skisport beginnen zu können. Die Betriebskosten für die Beschneigung sind in Relation zu anderen Investitionskosten, z.B. in die Erneuerung der Liftanlagen oder der Neuerrichtung von Beschneiungsanlagen nicht besonders hoch. Deshalb zeigen viele Verantwortliche von Skigebieten die Tendenz eher zu viel und auch bei Grenztemperaturen zu beschneien. Ein Eco-Labeling für erzeugten Kunstschnee wäre hier ein großer Fortschritt.

### c. Gletscherschutz

Die alpinen Gletscher verlieren dramatisch an Masse<sup>20</sup>. Sie erwärmen sich schneller als andere Regionen und die Gletscherfläche in den über 5000 Gletschern der Alpen ist zwischen 1850 und 2000 auf die Hälfte reduziert worden, das Volumen hat sogar noch wesentlich stärker von 246 km<sup>3</sup> auf 125 km<sup>3</sup> im Jahr 1970 und 75 km<sup>3</sup> im Jahr 2000<sup>21</sup> abgenommen. Alleine im Extremjahr 2003 sollen weitere 10% von damals 75 km<sup>3</sup> alpiner Gletschermasse geschmolzen sein. Noch dramatischer als bei den alpinen Gletschern ist der Schwund in anderen Weltregionen. Die verbliebenen tropischen Gletscher (z.B. Kilimanjaro in Tanzania oder Irianjaya in Indonesien) können bereits in zwanzig Jahren verschwunden sein<sup>22</sup>.

Durch den Gletscherschwund gehen auch die Wasserspeicher in den Bergen drastisch zurück. Selbst wasserreiche Länder wie Österreich werden mehr Wasser einsparen müssen. Die raschen Änderungen führen uns zu ganz neuen Herausforderungen in der Klimaadaptation, die schneller und effizienter als bisher durchgeführt werden muss. Die Anpassung wird dabei zunehmend teurer und technisch anspruchsvoller. Die Kunstschneeproduktion in den Alpen ist eine neue Nutzung, die erst in den letzten beiden Jahrzehnten ausgebaut wurde und die jährliche Produktion an Kunstschnee entspricht aktuell schon 1% der verbliebenen Gletschermenge mit stark steigender Tendenz. Zudem ist der Wasserreichtum nicht gleichmäßig über die Alpen verteilt und bis vor drei Jahrzehnten wurde hochalpines Wasser nur für die Trinkwasserversorgung und Energiegewinnung genutzt. Während es in einigen trockeneren Alpenregionen schon Engpässe bei der Wasserversorgung gibt, wird es bei Andauern des Trends auch in Österreich und wasserreicheren Alpenregionen zu Wasserknappheit kommen. Sollten chemische oder bakterielle Zusätze für die Beschneigung erlaubt werden, dann wären hochalpine Regionen auch gefährdet ihre Wasserqualität einzubüßen. Geringer werdende Wasservorräte und mehr Verschmutzung wirken gemeinsam in diese unerwünschte Richtung.

Ein Spezialfall der Klimaanpassung, ist die Schneeproduktion für den Wintertourismus oder zur Erhaltung von alpinen Gletschern. Dendritischer Schnee könnte eine über die touristische Nutzung hinaus führende Anwendung finden. Er ist heller als konventioneller Kunstschnee und Meteorologen haben herausgefunden, dass es die Neuschneeereignisse im Sommer sind, die den Gletscherschwund hinten an halten und gerade der Sommerschneefall reflektiert die Sonneneinstrahlung und schützt somit den Gletscher. Gelänge es die Gletscher mit dendritischem Schnee zu beschneien, würden die Gletscher vor allzu raschem Abschmelzen geschützt. Derzeit ist es in den meisten Bundesländern noch verboten, Gletscher zu beschneien. Dies könnte sich mit der Einführung des DG und der Möglichkeit gepaart mit dem Wunsch zu einem Gletscherschutz ändern. Eine weitere Möglichkeit im Sinne der Erhaltung der Artenvielfalt im Hochgebirge aktiv zu werden, wäre Pflanzen, die eine bestimmte Konsistenz an Schnee verlangen, mit Hilfe von dendritischem Kunstschnee zu schützen.

---

<sup>20</sup> Böhm R., Schöner W., Auer I., Hynek B., Kroisleitner C., Weyss G. (2007): Gletscher im Klimawandel. Vom Eis der Polargebiete zum Goldbergkees in den Hohen Tauern. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 111 Seiten, ISBN 987-3200010130

<sup>21</sup> Zemp, Michael (2006): Glaciers and climate change – Spatio-temporal analysis of glacier fluctuations in the European Alps after 1850. PhD thesis, Universität von Zürich, 201 Seiten

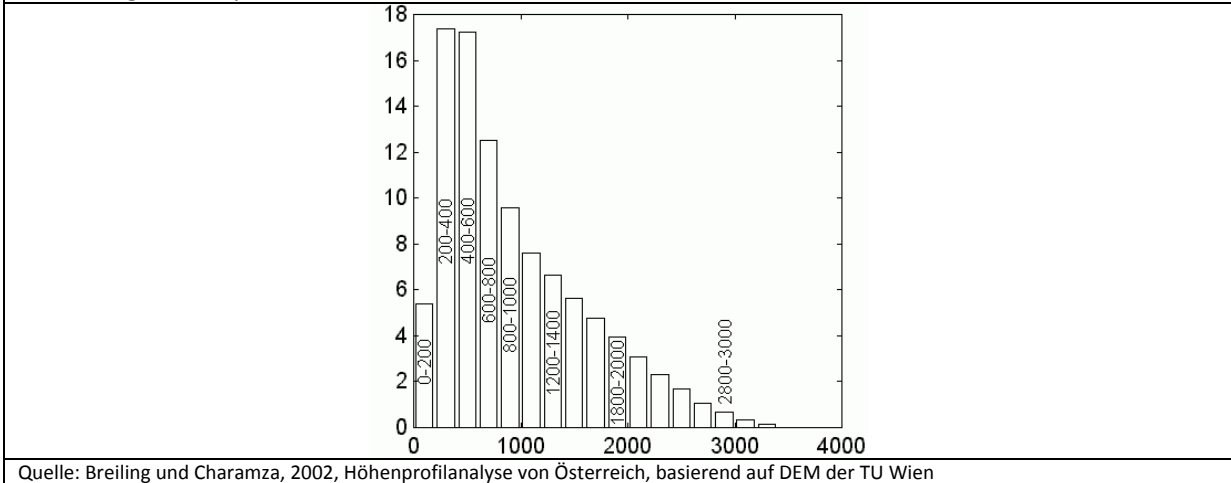
<sup>22</sup> Thompson Lonnie (2011). Personal communication; Columbus, February 7<sup>th</sup>, 2011.

### 3) Kosten Beschneigungsinfrastruktur

#### a. Tabelle, Höhe, Herstellungskosten, Kosten je m<sup>3</sup>

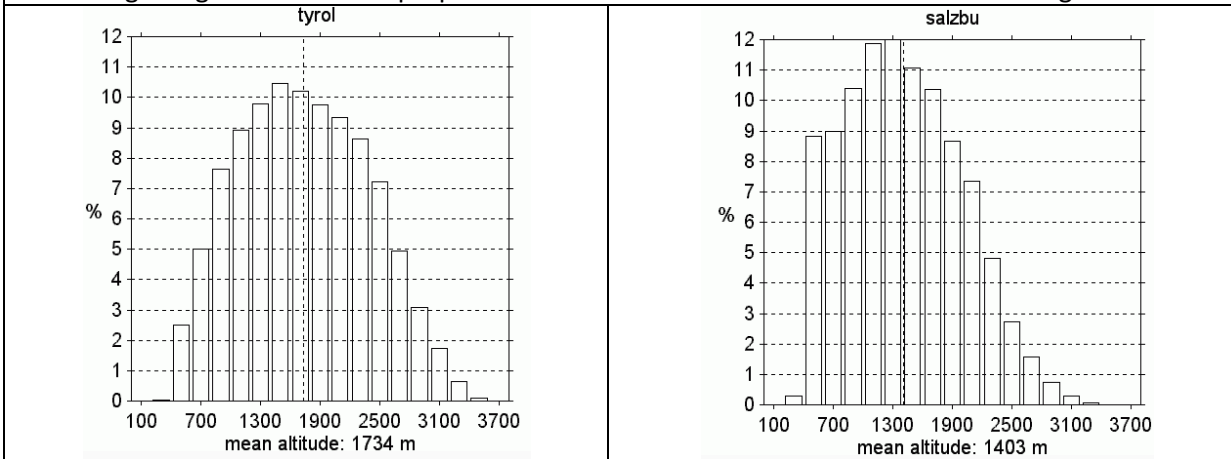
Die Höhenlage in der die Infrastruktur gebaut wird ist entscheidend für die Kosten und die Performance von Beschneigungsanlagen. Die Höhenstruktur von Österreich und den wichtigsten Bundesländern im Wintersport wiedergegeben. In Österreich alleine befinden sich 30% der beschneibaren Fläche weltweit.

Abbildung: Höhenprofil von Österreich und Höhenklassen im Abstand von 200m



Drei Fünftel oder 60% der Fläche Österreichs liegen unter 1000m Seehöhe, 28% der Fläche liegen in einer Höhe zwischen 1000m und 2000m und 12% der Landesfläche liegen über 2000m Seehöhe. In Tirol, dem für den Wintertourismus wichtigsten Bundesland liegen nur 15% der Landesfläche unter 1000m, 49% der Landesfläche befinden sich zwischen 1000m und 2000m und 36% der Landesfläche über 2000m Seehöhe. Die durchschnittliche Höhe im Bundesland beträgt 1734m. In Salzburg, den zweitwichtigstem österreichischem Bundesland für den Wintertourismus liegen 29% unter 1000m, 54% liegen zwischen 1000m und 2000m und 17% der Landesfläche liegen über 2000m Seehöhe. Die mittlere Seehöhe im Bundesland beträgt 1403m. In der Steiermark liegen 54% unter 1000m, 43% liegen zwischen 1000m und 2000m Seehöhe und 3% liegen über 2000m Seehöhe. In Vorarlberg liegen 35% des Landes unter 1000m, 48% zwischen 1000m und 2000m Seehöhe und 17% des Bundeslandes sind über 2000m Seehöhe.

Abbildung: Vergleich der Höhenproportionen in den Bundesländern Tirol und Vorarlberg



Dendritischer Schneeerzeugung ist Teil einer aufwendigen alpinen Infrastruktur. Die Einführung eines Systems für die dendritische Schneeerzeugung ist unterschiedlich teuer für Skigebiete, die bereits konventionellen Kunstschnee produzieren und anderen, die noch keinen Kunstschnee produzieren. Die bestehende Infrastruktur der konventionellen Beschneigung kann weiterverwendet werden. Im Schnitt wird man in Skigebieten, die noch rein von Naturschnee abhängig sind, den fünffachen Betrag aufwenden müssen um dendritische Schneeproduktion einzuführen, verglichen mit jenen Skigebieten, die bereits eine konventionelle Beschneigung besitzen. Es ist daher wahrscheinlich, dass Skigebiete, die schon länger Erfahrung mit Beschneigung gemacht haben, zuerst die neue Technik übernehmen werden. Der Hauptmarkt für die dendritische Schneeproduktion liegt vor der Haustüre.

Jedes Projekt zum Infrastrukturaufbau ist unterschiedlich und liegt in einer Landschaft mit unterschiedlichen Bedingungen. Der Ausbau der Beschneigungsinfrastruktur hat in tiefen Lagen begonnen, die weniger kalt sind, doch leichter erreichbar sind. Allmählich ist die Beschneigung auch in die höheren Lagen gekommen und heute überlegt man auch die Beschneigung der Gletscher. Der Tourismus war die treibende Kraft hinter dem Ausbau. Die strategischen Überlegungen und der Rahmen von finanziellen Investitionen für Skigebiete sind dabei unterschiedlich. Generell gilt, je tiefer die Beschneigungsinfrastruktur, desto geringer die Kosten für die Entstehung aber desto höher sind in der Folge die Betriebskosten. Je höher die Beschneigungsinfrastruktur, desto teurer die Kosten für die Entstehung, aber desto geringer die Betriebskosten.

*Tabelle: Kosten der Infrastruktur für die Schneeproduktion*

Seehöhe	Herstellungskosten/ha	Kosten je m <sup>3</sup>	Kosten je ha/ 7000 m <sup>3</sup> Schnee	% Kosten für Schneeerzeuger
1000 m	100.000	5	35.000	40%
2000 m	200.000	3,5	24.500	20%
3000 m	400.000	2	14.000	10%

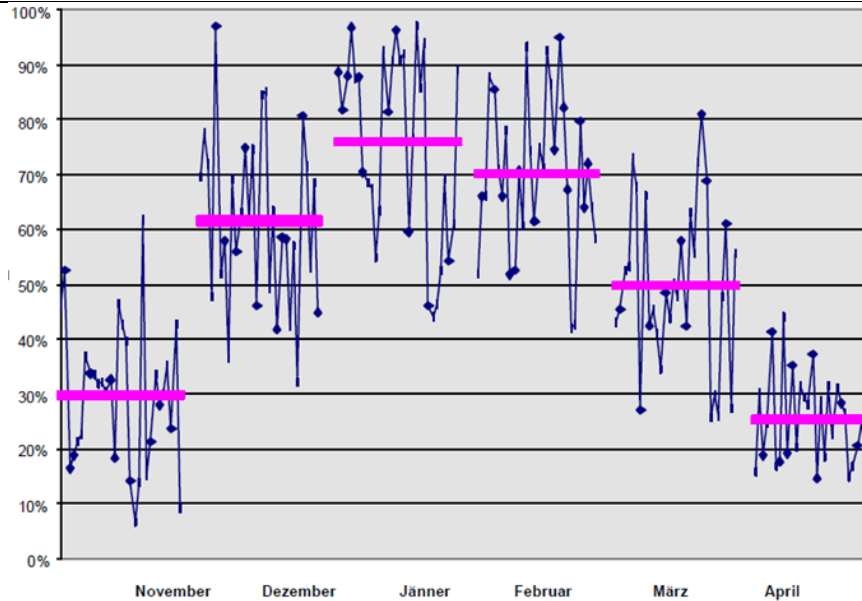
Die Tabelle zeigt, dass es bei den Kosten erhebliche Unterschiede geben kann. Die CIPRA<sup>23</sup> gibt einen Richtwert von € 140.000.- an ohne dass auf eine spezielle Höhenlage eingegangen wird. Der jüngste Ausbau von 50 ha im hochalpinen Skigebiet des Kitzsteinhorns hat 20 Millionen Euro gekostet. Im Gegenzug für diese hohe Investition sind die Betriebskosten gering. Die Schneeerzeuger selbst, fallen in tiefen Lagen mit 40% Kostenanteil noch relativ stark ins Gewicht, doch sind in hohen Lagen mit 10% Kostenanteil eher nebensächlich im Vergleich zu anderen Kosten, wie dem Bau von Speicherbecken, Stationsgebäuden, Zapfstellen, Installation einer entsprechenden Energieversorgung bzw. Pumpleistung, dem Verlegung von Rohrleitungen oder Renaturierungsmaßnahmen in der Landschaft.

<sup>23</sup> Alpmedia.net (2004). Künstliche Beschneigung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht

## b. Abhängigkeit von meteorologischen Randbedingungen

Der Wintersport in Österreich entstand in einer klimatisch kälteren Periode als dies heute der Fall ist. Im Schnitt konnte während der letzten 60 Jahre eine Erwärmung von 1°C festgestellt werden. Laut IPCC wird eine weitere und schnellere Erwärmung in den nächsten Jahrzehnten auf alle Skiregionen zukommen. Schnee ist der bedeutendste meteorologische Faktor für einen erfolgreichen Wintertourismus und war zudem bis vor wenigen Jahrzehnten gratis verfügbar.

Die Wahrscheinlichkeit einer natürlichen Schneedecke in Österreich 1965-1995 basierend auf 76 Schneestationen in einer Höhe zwischen 176m und 2140m

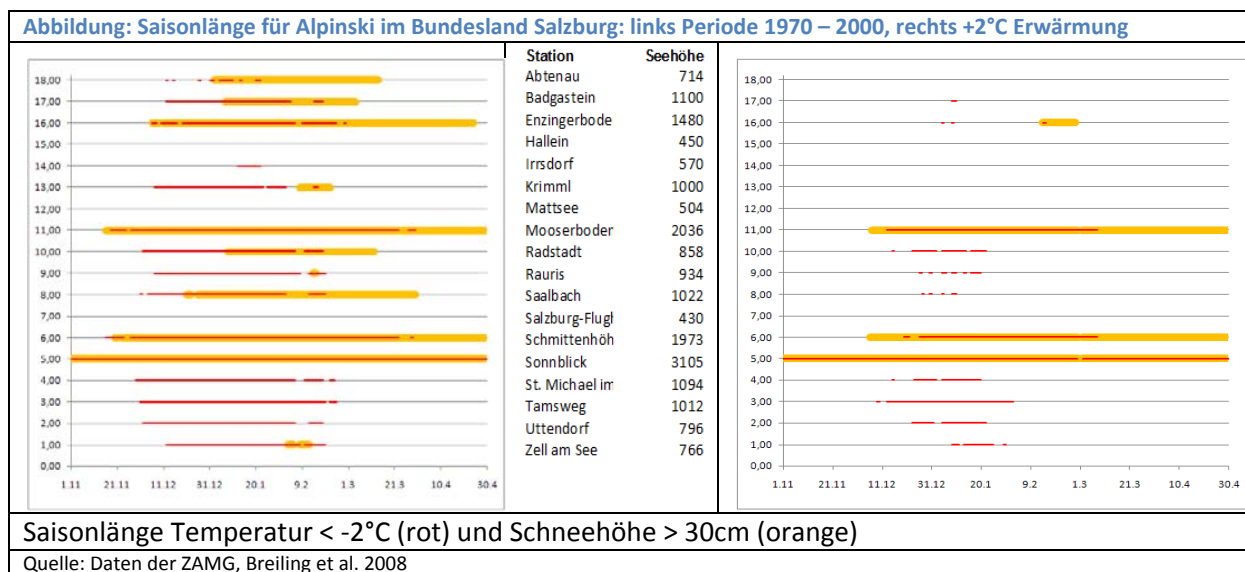


Quelle: Daten ZAMG, Breiling et al. 1997, rosa = 30 jähriger Durchschnitt, blau = saisonaler Durchschnitt von 76 österreichischen Schneestationen

Man erkennt, dass im Jänner die Wahrscheinlichkeit einer Schneedecke mit 75% am größten ist. Im November ist diese Wahrscheinlichkeit nur zu 30% gegeben, im April nur mehr zu 25%. Dies bedeutet auch, dass im zentralen Winter die Konkurrenz bis zu drei Mal größer ist als in den Saisonrandzeiten, in denen nur mehr wenige Skigebiete intakte Pisten anbieten können.

Basierend auf der Periode 1970 bis 2000 haben wir die Verkürzung der Saisonlänge für den Salzburger Wintertourismus errechnet. Über 2000m Seehöhe wirkt sich eine Erwärmung wenig nachteilig auf die Bedingungen für den Skisport aus. Dennoch waren die Tendenzen in den letzten Jahren gerade hier eine neue Schneefraktur zu lassen. Wintertourismus ist wirtschaftlich zu bedeutend um ihn der Natur alleine zu überlassen. Zwischen 1000m und 2000m, jener Bereich in dem die meisten österreichischen Skigebiete liegen, sind die Auswirkungen besonders gravierend. Die Wintersaison wäre nicht mehr aufrecht zu erhalten, wenn man nicht in den letzten zwei Jahrzehnten die Kunstschneeproduktion forciert hätte. Die Stationen unter 1000m hatten immer schon eine relativ kurze Skisaison. Durch Schneeproduktion kann man die regelmäßig wiederkehrenden kalten Tage für Schneeproduktion nutzen. Doch Skigebiete in tieferen Lagen müssen besonders um ihr Image fürchten. Tirol hat im Vergleich zu Salzburg die höheren Skigebiete und das kann ein bedeutender Vorteil sein um innerhalb Österreichs noch mehr Marktanteile im Wintersportbusiness zu generieren.

Am Beispiel des Bundeslands Salzburg und anhand von 18 Klimastationen, zumeist in Skigebieten gelegen, soll verdeutlicht werden, was eine Temperaturänderung und ein einhergehender Rückgang der natürlichen Schneedecke für die Skigebiete bedeuten würde.



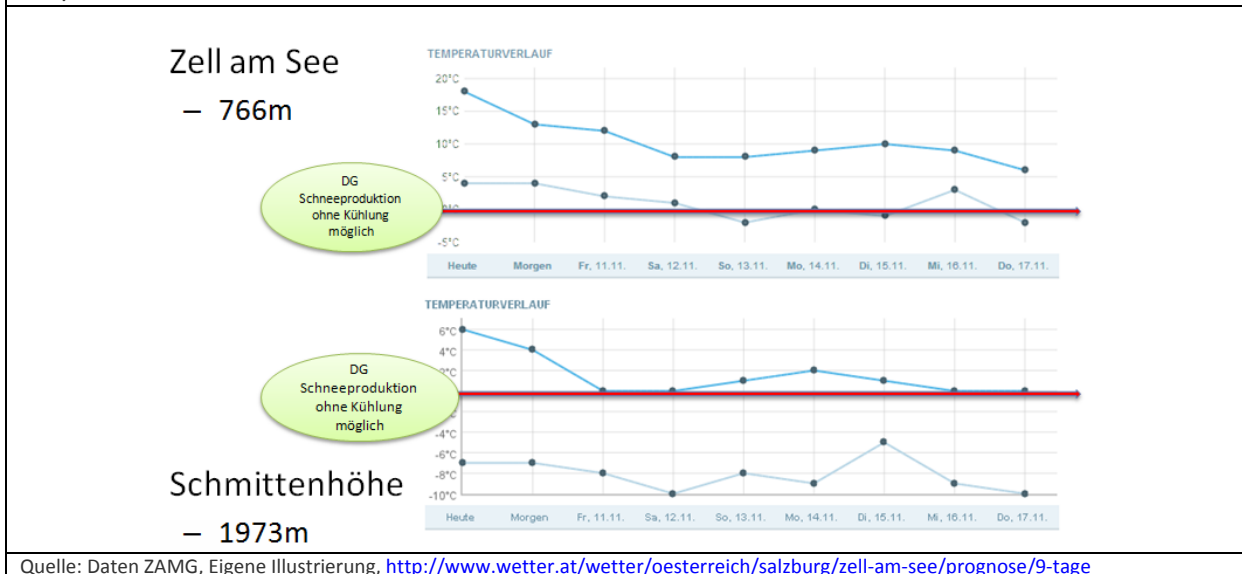
Die meteorologischen Randbedingungen fußen im Klima. Die Schneeerzeugung hängt konkret an der Möglichkeit genügend kalte Tage vorzufinden an denen Schnee produziert werden kann. Die Variabilität bei Betrachtung einzelner Beobachtungsjahre ist dabei sehr groß. Alleine die Februarwerte der Periode 1948-2007 haben um mehr als 12°C gestreut.

Wir konnten eine Analyse auf Basis von Tagesmittelwerten feststellen. Im Tagesverlauf schwankt die Temperatur aber um bis zu 20°C, der in der Analyse angewandte Wert von -2°C Tagesmitteltemperatur umfasst Stunden mit -12°C bis +8°C. Konventionelle Beschneigung benötigt Temperaturen von -5°C, die an Tagen mit -2°C Tagesmitteltemperatur während 8 bis 10 Stunden erreicht werden. Wärmere Tagesmitteltemperaturen bedeuten weniger Schneestunden und eine geringere Effizienz der Anlagen. In etwa nimmt man an, dass konventionelle Beschneigungsanlagen während 700 und 1000 Stunden pro Saison in Betrieb sind und dabei 7000m<sup>3</sup> Kunstschnee produzieren.

Der DG kann Schnee im Grenztemperaturbereich erzeugen und es können wärmere Tage mit 0°C Mittelwert herangezogen werden um Schnee zu produzieren. Bei den Testversuchen konnten wir dendritischen Schnee bei einem Temperaturmaximum von -1°C erzeugen, es war dies relativ nasser und schwerer Schnee. Wir erreichen 10 bis 12 Stunden Schneizeit bei 0°C Tagesmitteltemperatur. Mit einer leichten Kühlung können weitere Stunden hinzukommen.

Basierend auf einer Analyse der Periode 1948 bis 2007 und den Salzburger Referenzklimastationen können wir einen markanten Rückgang der kalten Tage mit einer Mitteltemperatur unter -2°C feststellen und folglich der Möglichkeit Kunstschnee zu erzeugen. Das Potential konventionellen Kunstschnee zu erzeugen ist bei den ausgewählten Stationen in wenigen Jahrzehnten und im Schnitt auf 79% zurückgegangen, je nach Höhenlage unterschiedlich, auf 63% bei der Station Mattsee oder auf 99% bei der Station Sonnblick.

Abbildung: Beschneigungstage zu Beginn der Basisbeschneigung, Beispiel Skigebiet Zell am See/Schmittenhöhe Nov. 2011



Konventionelle Beschneigung hat bis dato die festgestellte Erwärmung ausgeglichen. Während passender kalter Tage Schnee ohne Niederschlag wurde erzeugt. Die Anpassungskapazität hält sich in Grenzen. Der DG und seine gesteigerten technischen Möglichkeiten erweitern wiederum den Spielraum zur Anpassung an ein wärmeres Klima und es gibt je nach Höhenlage ein Zuwachs an Tagen an denen beschneit werden kann: um 28% auf der Schmittenhöhe und 74% in Hallein. Für den Betrachter von außen – den Touristen – gibt es dadurch mehr Schneesicherheit. Die Betreiber spüren einen starken Anpassungsdruck, dem sie nur zunehmend schwerer entgegenwirken können.

Der DG kann auch im Grenztemperaturbereich oder ab 0°C Tagestemperatur Schnee erzeugen. Dadurch erhöht sich die Anzahl jener Tage an denen wieder beschneit werden kann. Prinzipiell kann die DG Technologie auch bei Plus Graden Celsius betrieben werden, doch dann müsste der DG mit einem Kühlaggregat ausgestattet sein und die Energiebilanz würde sich wieder verschlechtern.

4) Chancen für die Anwendung der DG Technologie  
a. Alternativen zur dendritischen Beschneigung

Die Entwicklung von neuen Beschneigungstechnologien zeichnet sich ab, sie sind vorerst umstritten. Eine Methode ist „cloud seeding“ oder das Impfen von Wolken mit Reagenzien und der dadurch erzwungenem Schneefall. Diese Methode ist z.B. in USA, Kanada und Russland für die Bewässerung der Landwirtschaft im Einsatz. Prinzipiell lässt sich diese Methode auch für die alpine Beschneigung<sup>24</sup> anwenden, man kann sowohl in Richtung mehr als auch in Richtung weniger Schneefall hinarbeiten. Durch cloud seeding könnte Schnee bedeutend billiger erzeugt werden als am Grund. Auch die CO<sub>2</sub> Bilanz wäre günstiger. Man würde selbst bei Ausweitung der künstlichen Beschneigung weniger Treibhausgase emittieren. Nachteile des „cloud seeding“ wären: Verabreichung eines chemischen Zusatz der eine Beschneigung hervorruft, nur während bestimmter Wetterbedingungen möglich, Umleitung der Wolken - ähnlich wie bei umgeleiteten Flüssen ergibt sich auch hier eine rechtliche Problematik – und fehlende Tests zur Veranschaulichung dieser Methode.

Eine weitere Methode der Schneeproduktion ist der Einsatz von Mikroorganismen – u.U. auch von genetisch modifizierten Mikroorganismen - zur Erhöhung (prinzipiell auch Senkung) des Taupunktes von Schnee. Dieses Phänomen kommt auch natürlich vor, allerdings nur im Bereich von 0,01° C<sup>25</sup>. Der Bereich der möglichen Taupunkterhöhung, der aber noch nicht nachgewiesen ist, soll 3°C betragen können. Vorteile des mikrobiellen Einsatzes sind der geringere Ressourcenverbrauch und das verminderte CO<sub>2</sub> Aufkommen. Nachteile sind die gezielte Vermehrung von bestimmten Mikroorganismen und deren Aussetzen in die Natur. Es wird auch auf die möglichen pathogene Wirkung einiger Mikroorganismen und den Konflikt mit der Trinkwasserversorgung hingewiesen.

Die Schneelagerung ist eine Alternative zur Schneeproduktion. Dabei wird Schnee aus der vergangenen Saison vor Sonneneinstrahlung geschützt und gelagert. Ein Teil des Schnees schmilzt, der andere Teil ist gleich zu Beginn der nächsten Saison verfügbar. In Nordschweden hat man begonnen in Erdaushüben gelagerten Schnee für die Temperierung von öffentlichen Gebäuden zu verwenden. Die Energieeffizienz im Vergleich zu konventioneller Kühlung ist mit Schnee höher. Die Schneelagerung ist bevorzugt in Regionen des hohen Nordens anzutreffen, denn hier werden die Sommertemperaturen weniger hoch und die Schmelzverluste bleiben gering. In der Schweiz und den USA wurden spezielle Kunststofffolien entwickelt, die Schnee vor Sonneneinstrahlung schützen können. Speziell als Gletscherschutz finden diese Folien Einsatz.

Eine spezielle Art die Schneedecke länger zu erhalten wurde von der Partneruniversität der TU Wien der Lulea Tekniska Universitet entwickelt. Dabei wird der Boden mittels eines patentierten Verfahrens gekühlt. Ein praktischer Einsatz für diese Erfindung findet sich beim Eishotel in Jukkasjärvi und es gilt, die jährliche Saison des Eishotels zu verlängern. Zwei bis drei Wochen Saisonverlängerung bringen eine bessere Wirtschaftsbasis für das Hotel, das jedes Jahr neu errichtet wird.

Der heutige Stand der Beschneigungstechnik ist nicht der letzte. Neue Entwicklungen sind im Kommen und Kunstschnee wird künftiger vielleicht billiger produziert. Der Technik sind aber in jedem Fall Grenzen durch die natürlichen Bedingungen gesetzt. Eine Erwärmung kann durch die Entwicklung

---

<sup>24</sup> Personal Communication Andrei Shinkevich, Russian Academy of Sciences (2007).

<http://www.universetoday.com/15189/when-cloud-seeding-goes-wrong-cement-chunk-falls-from-the-sky/>

<sup>25</sup> Florin Aonofriesei (2008). Microbial life in polar regions pp 74-80 in Proceeding to The Vienna Conference on Polar Tourism [http://www.breiling.org/lect/090209/proceedings\\_polar\\_tourism\\_081021.pdf](http://www.breiling.org/lect/090209/proceedings_polar_tourism_081021.pdf)



Technologie basierter Anpassungsmethoden gemildert, aber nicht aufgehoben werden. Die Für und Wider einer Beschneigungstechnologie müssen gegeneinander aufgewogen werden. Eine Technik alleine erscheint zu wenig. Die Bündelung verschiedener Techniken erscheint zielführend, wenn man den Wintersport möglichst lange aufrechterhalten will.

#### b) Neue Anwendungen zur dendritischen Beschneigung

Dendritischer Schnee, es wurde schon erwähnt, kann auch in anderen Bereichen als Wintertourismus Verwendung finden. Ein Einsatz in der Landwirtschaft zur Verbesserung der Bodenfeuchte ist denkbar. Gletscherschutz ist eine zweite mögliche Anwendung. Die Erhaltung von Pflanzen, die von einer bestimmten Schneemenge abhängig sind, wäre ein weiteres Einsatzgebiet. Schnee kann auch als temporäres Baumaterial verwendet werden.

Schnee als Spassfaktor, jeder Schule ihren DG, ist eine weitere Idee für die praktische Anwendung. Schnee in Wellnessanlagen und im Gesundheitstourismus können auch künftige Produktbeispiele für dendritischen Schnee sein. DG Schnee kann in heißen Ländern zur Kühlung verwendet werden und ist billiger als der Einsatz von Klimaanlage und resultiert in weniger CO<sub>2</sub> Ausstoss. Dendritischer Schnee, der den Gaumen erfreut und den Whisky kühlt sind zusätzliche Vermarktungsideen. Der Einsatzbereich für DG Beschneigung wird graduell wachsen. Doch ungleich den Anwendungen im Wintersport müssen entsprechende Produkte erst dem Konsumenten näher gebracht werden und die Hauptmärkte liegen nicht mehr vor der Haustüre.