

# Unbeschwertes und sicheres Skivergnügen dank Geodaten

STEPHAN LANDTWING<sup>1</sup> & THOMAS GÖTZ<sup>2</sup>

*Zusammenfassung: Betreiber von Wintersportgebiete und Bergbahnanlagen bewegen sich topografisch, klimatisch und ökonomisch in einem rauen Umfeld. Steigende Kundenansprüche, Wettbewerbs- und Investitionsdruck zwingen die Betriebe mehr denn je zu einem maximal effizienten Mitteleinsatz. Zu diesem Zweck greifen moderne und innovative Wintersportgebiete auf eine erstaunliche Palette an Daten und Dienstleistungen aus den Bereichen Fernerkundung, Vermessung und GIS zurück.*

*Der folgende Beitrag zeigt anhand von drei aktuellen Praxisbeispielen, wie mithilfe von digitalen Geländemodellen und Echtzeit-GNSS der Kunstschnee-Einsatz optimiert wird, wie durch vollautomatischer Überwachungsmessungen die Sicherheit von kritischer Infrastruktur gewährleistet wird, und wie mittels 3D-Karten und Mobile Apps das Erlebnis der Feriengäste um eine Dimension erweitert wird.*

## 1 Einleitung, Umfeld

Perfekt präparierte Skipisten von November bis April, modernste Transportanlagen ohne Wartezeiten mit WLAN und geheizten Sitzflächen, stylische Pistenrestaurants und Lounges an der Piste sowie Echtzeit-Informationen zu Betriebszustand und Events: Die Ansprüche der Wintersport-Gäste an ihre Skigebiete sind in den letzten Jahren rasant gestiegen!

Wintersportgebiete und ihre Betreiber sehen sich vor der Herausforderung, in anspruchsvollem bis unwirtlichem Gelände komplexe technische Anlagen zu planen, zu errichten und zu betreiben. Klimaerwärmung und internationale Konkurrenz potenzieren den Wettbewerbs- und Investitionsdruck und zwingen die Betriebe zu einem maximal effizienten Mitteleinsatz.

Darüber hinaus gilt es, das Produkt „Wintersporterlebnis“ bei den (potenziellen) Kunden attraktiv zu präsentieren und zu bewerben. Hier haben neben den traditionellen Kanälen in jüngster Zeit Plattformen wie Mobile Apps, Google Earth, TripAdvisor, YouTube etc. stark an Bedeutung gewonnen. Die Wintersportler möchten sich bereits zuhause ein Bild von ihrer Feriendestination machen.

Bei all diesen Aufgaben greifen moderne und innovative Wintersportgebiete und Bergbahnen heute auf eine erstaunliche Palette an Daten und Dienstleistungen aus den Bereichen Fernerkundung, Vermessung und GIS zurück:

- Gelände- und Oberflächenmodelle zur Planung von Bahnanlagen (Längs-, Querprofile) und Pisten (Massenbewegungen, Volumenberechnung)
- Gezielte Pistenpräparierung durch Maschinen-Steuerung auf der Basis von Geländemodellen („Snow Management“)

---

<sup>1</sup> BSF Swissphoto AG, Dorfstrasse 53, 8105 Regensdorf-Watt, Schweiz  
E-Mail: stephan.landtwing@bsf-swissphoto.com

<sup>2</sup> Grünenfelder und Partner AG, Denter Tumas 6, 7013 Domat/Ems, Schweiz  
E-Mail: thomas.goetz@gruenenfelder.ch

- 3D-Visualisierungen für Pistenpläne und interaktive Karten, aufgebaut aus Oberflächenmodellen und (Winter-)Orthophotos
- GIS und Leitungskataster zur Verwaltung der Anlagen, z.B. zur technischen Beschneigung mit Rohr- und Stromleitungssystemen
- Überwachung von potenziell gefährdeten Anlagen auf Bewegungen und Deformationen (z.B. im Permafrost)
- Geländemodelle zur Simulation von Naturgefahren (Lawinen, Murgänge, Steinschlag)

Die Erfassung dieser Fernerkundungs- und Vermessungsdaten im hochalpinen Gelände ist ebenfalls eine Herausforderung. Angesichts von Topographie und Witterung kommt der Wahl der effizienten Technologie eine besondere Bedeutung zu; oft sind Speziallösungen oder Kombinationen von Messverfahren gefragt, um den Vermessungsauftrag erfolgreich durchführen zu können: Luftgestützte (Laserscanning- oder Bild-basierte Sensoren auf Flugzeug, Helikopter oder Drohne) sowie terrestrische (Laserscanning, Monitoring, GNSS, Totalstationen) Sensoren und Verfahren ergänzen sich.

## **2 Projektbeispiel 1 – Snow Management-System Weisse Arena**

### **2.1 Ausgangslage und Ziel**

Die künstliche Beschneigung von Skipisten zur Erhöhung der Schneesicherheit hat sich in den letzten Jahren im Alpenraum fast flächendeckend durchgesetzt. Gemäss Schweizerischem Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF 2016) werden in der Schweiz zur Zeit 36% der Skipistenfläche technisch beschneit. In Österreich sind es bereits 66% und in den Italienischen Alpen können einzelne Skigebiete sogar bis zu 100% beschneit werden.

Schweizer Skigebiete haben bis 2015 ca. 500 Millionen in Beschneiungsanlagen samt Speicherseen, Rohr- und Stromleitungssystemen und Schneekanonen investiert (LINER & ARN 2015). Die Betriebskosten sind ebenfalls hoch: Die Produktion von 1 m<sup>3</sup> technischem Schnee („Kunstschnee“) kostet 4 bis 7 CHF. Grosse Skigebiete wie die Weisse Arena Flims Laax Falera produzieren pro Saison bis zu 1 Mio. m<sup>3</sup> Schnee.

Hinzu kommen die Kosten für Pistenpräparierung und Schneeverteilung: Eine Pistenmaschine verbraucht ca. 25 – 30 l Diesel pro Betriebsstunde und steht rund 1200 Betriebsstunden pro Saison im Einsatz. Ein komplett ausgestattetes Pistenfahrzeug kostet rund 0.5 Mio Franken.

Die effiziente Bewirtschaftung der Schneereserven hat somit einen hohen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wintersportgebietes. Die Weisse Arena Bergbahnen haben seit der Wintersaison 2013/14 ein Snow Management-System im Einsatz, welches genau dies ermöglicht: Mithilfe eines hochgenauen Geländemodells sowie präzisen Echtzeit-Positionsmessungen an den Pistenfahrzeugen ist die aktuelle, effektive Schneehöhe bei der Pisten-Präparierung jederzeit bekannt. Schnee-Depots können geschätzt und Schwachstellen mit dünner Schneedecke können gezielt verstärkt werden. Somit sinkt sowohl der Anteil des ungenutzt liegengelassenen Schnees als auch die Anzahl „brauner Flecken“ auf den Skipisten.

## 2.2 Datengrundlagen, Datenerfassung

Als Grundlage für das Snow Management wird ein Geländemodell (DGM) benötigt, welches in der schneefreien Zeit aus der Luft erfasst wird. Als effizienteste Methode zur Bereitstellung dieses DGM für ganze Skigebiete (Flächen von 10 bis 100 km<sup>2</sup>) mit der benötigten Genauigkeit von ca. 10 cm hat sich das Lufgestützte Laserscanning (Lidar) etabliert. Neben dem Geländemodell werden auch sämtliche Objekte der Erdoberfläche gemessen: Vegetation, Gebäude, Seilbahnen, Stromleitungen, usw. sowie optional ein Orthophoto erstellt. Diese 3D-Daten stehen für weitere Anwendungen auch ausserhalb des Snow Managements zur Verfügung: Anlagenplanung, Geländearbeiten, Raumplanung etc.

Im Herbst 2013 wurde das Gelände der Weissen Arena durch BSF Swissphoto mit einem flugzeuggestützten Laserscanner befliegen. Die Fläche umfasst rund 68 km<sup>2</sup> und liegt auf einer Höhe von 1100 – 3000 m ü. M. Die Erfassung von Laserscanning-Daten im hochalpinen Umfeld bietet einige spezielle Herausforderungen:

- Flugplanung: Einhalten möglichst konstanter Punktdichte und Streifenbreite innerhalb der Möglichkeiten des Sensors durch detaillierte Planung anhand eines bestehenden Geländemodells und geländeverfolgender Befliegung.
- Befliegung: Nutzung eines Flugzeugs mit hoher Steigrate, Sauerstoffversorgung und drei-Mann-Crew (Pilot, Kopilot, Sensor-Operateur) zur Bewältigung der Aufgaben Flugzeugsteuerung, Funk, Sichtflug/Verkehr, Einhalten Flugplanung (inkl. 3D-Profil), Kontrolle Sensor-Funktion und Echtzeit-Datenkontrolle.
- Datenprozessierung: Tightly Coupled GNSS/IMU-Berechnung zum robusteren Umgang mit reduziertem GNSS-Empfang durch Abschattung durch Berge, grosse Höhenunterschiede zu Basis-Stationen; Streifenanpassung mit sorgfältig ausgewählten Verknüpfungsflächen; Bodenpunkt-Klassifizierung im steilen Gelände mit angepassten Parametern und manueller Nacharbeit.

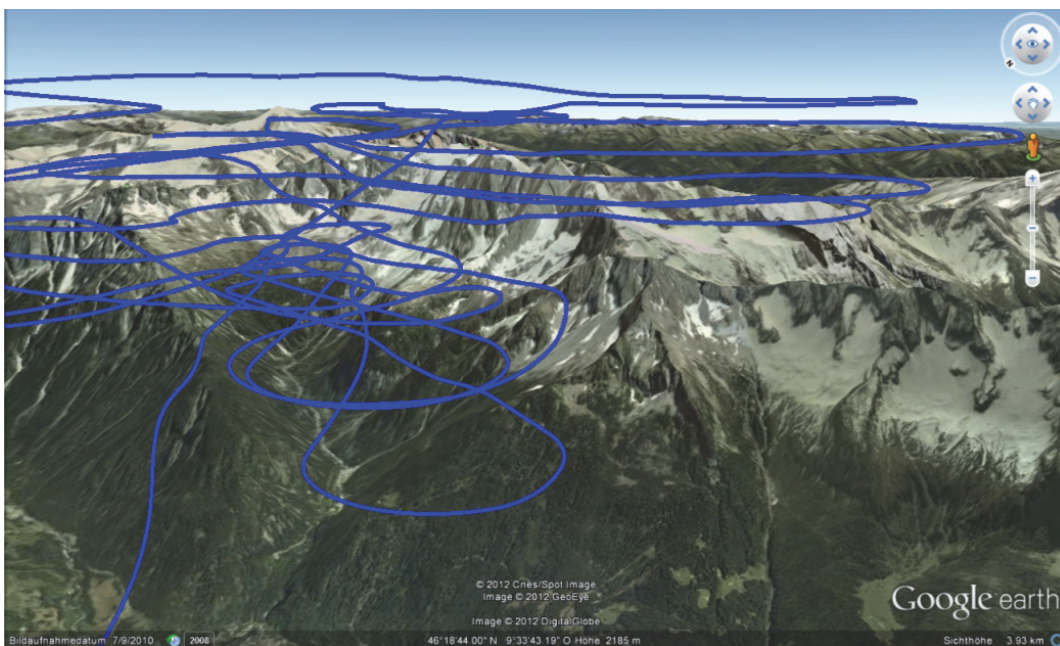


Abb. 1: Flugpfad einer Laserscanning-Befliegung im Hochgebirge (© BSF Swissphoto)

Als Resultat der Laserscanning-Befliegung liegt ein digitales Geländemodell mit einer Punktdichte von 6 Punkten pro Quadratmeter vor, welches als Dreiecksmodell oder 0.5 m-Raster verwendet werden kann.



Abb. 2: Schummerungs-Darstellung des Geländemodells der Weissen Arena

Punktuelle Nachführungen des Modells (z.B. nach Geländeänderungen) können alternativ zum luftgestützten Laserscanning auch mit terrestrischen Methoden oder mittels UAV-gestützten Bandaufnahmen erfolgen.

### **2.3 Installation, Systemkomponenten**

Mit dem DGM als Grundlage wurde auf den Pistenfahrzeugen der Weissen Arena das Snow Management-System iCONAlpine von Leica installiert. Dieses System – welches von der

Baumaschinensteuerung stammt – ist momentan das einzige auf dem Markt mit einer zuverlässigen und genauen Schildhöhenmessung. Die Installation am Pistenfahrzeug beinhaltet folgende Komponenten:

- Zweiphasen-GNSS-Antenne auf dem Dach inkl. Empfang von RTK-Korrekturen einer dedizierten Basisstation oder dem Swipos-Dienst
- Zwei Neigungssensoren zur Messung von Quer- und Längsneigung der Maschine
- Optional zwei zusätzliche Neigungssensoren zur Messung von Quer- und Längsneigung des Planierschildes
- Anzeigedisplay für den Fahrer
- Datenübertragung zum Betriebszentrum

Durch Abgleich der aktuellen Position des Pistenfahrzeugs mit dem Geländemodell lässt sich jederzeit die Schneehöhe unter dem Schild berechnen.

## 2.4 Betrieb und Resultate

Mit Hilfe des innovativen Snow Management-Systems sieht der Fahrer des Pistenfahrzeuges auf seinem Display jederzeit, wie viel Schnee sich unter seinem Schild befindet. Zugleich misst jedes Pistenfahrzeug auf seiner Fahrt laufend die aktuelle Schneehöhe und sendet diese Daten in die Betriebszentrale. Dort werden diese Daten in einem GIS-System aggregiert und erlauben so flächendeckende und tagesaktuelle Auswertungen über die Schneemenge und deren Verteilung. Dies wiederum erlaubt es, die Beschneigung optimal zu steuern und die Kosten für die Kunstschneeproduktion zu minimieren.



Abb. 3: Ansichts-Modi des Fahrer-Displays mit Schneehöhen

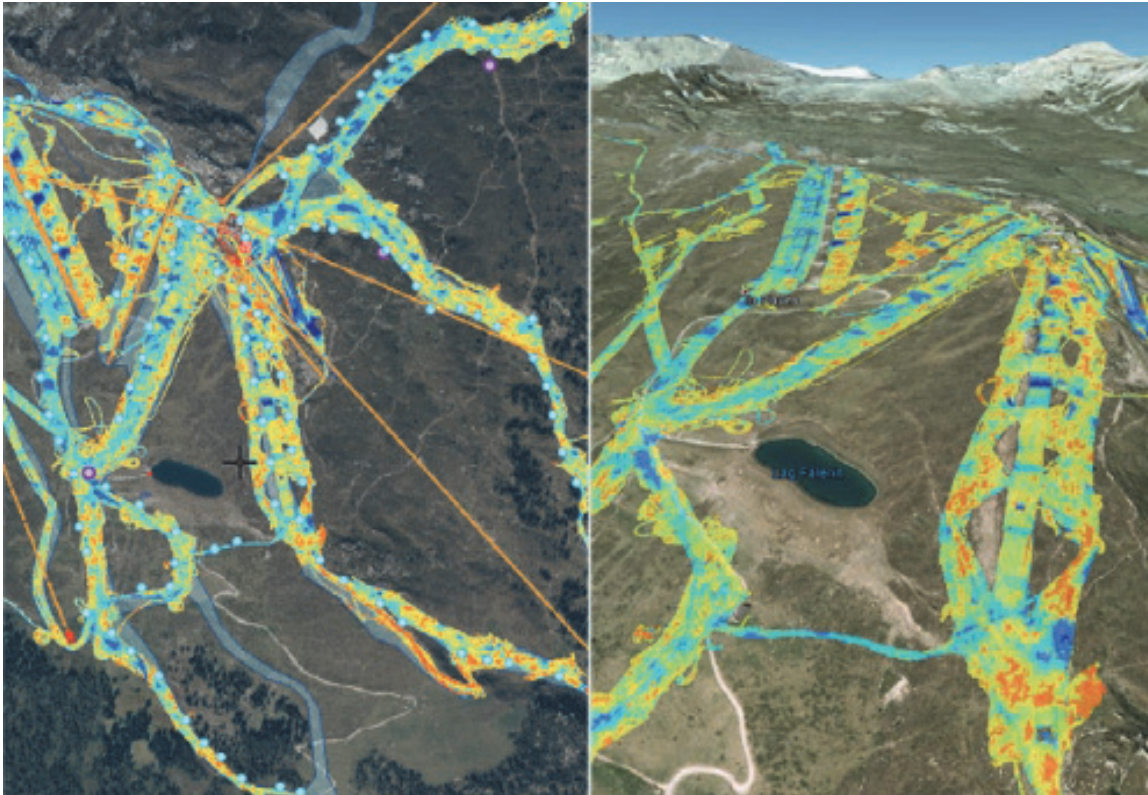


Abb. 4: Die Visualisierung der Schneehöhen im Betriebs-GIS der Weisse Arena-Bergbahnen (links 2D, rechts 3D) ermöglicht jederzeit einen schnellen und genauen Überblick über die Schneesituation im Skigebiet und erlaubt gezieltes Beschneien und Präparieren der Pisten. (© Weisse Arena/Leica)

Seit der Wintersaison 2015/2016 sind 10 Pistenfahrzeuge der insgesamt 17 Maschinen starken Flotte im Skigebiet Weisse Arena mit dem iCONalpine-System ausgerüstet und sorgen dafür, dass die Schneehöhenkarte des Skigebietes jede Nacht aktualisiert wird. Die Fahrer haben das neue Hilfsmittel nach anfänglicher Skepsis sehr positiv aufgenommen, als klar wurde, dass die Schneehöhenmessung über Erwarten genau und zuverlässig funktioniert. Die Bergbahnen schätzen, dass der Effizienzgewinn durch gezieltere Pistenpräparierung und effizientere Kunstschneeproduktion in der Grössenordnung von 10% liegt.

### 3 Projektbeispiel 2: Geo-Monitoring Talstation Heimberg-Motta

#### 3.1 Ausgangslage und Ziel

Viele Bauten von Seilbahnanlagen befinden sich im Permafrost-Gebiet, welches ab ca. 2500 m ü.M. beginnt. Als Folge der Klimaerwärmung treten Stabilitätsprobleme bei der Infrastruktur und Verwerfungen im Gelände auf (siehe BOMMER et. al 2009). Auch die Jahreszeiten (Wasserhaushalt) haben einen entscheidenden Einfluss auf das Bewegungsverhalten der Bahnanlagen.

Beim Bau der Talstation der 6er-Sesselbahn Heimberg-Motta der Lenzerheide Bergbahnen im Jahr 2013 wurden unerwartete Setzungen festgestellt. Umfang, Verlauf und Entwicklung der

Deformationen mussten überwacht und aufgezeichnet werden, um bei kritischen Veränderungen sofort betriebliche und/oder bautechnische Massnahmen ergreifen zu können.

### 3.2 Installation, Systemkomponenten

Sofort nach Auftreten der ersten Anzeichen von Setzungen wurde die Talstation noch während der Bauphase durch die Grünenfelder und Partner AG mittels periodischer (3 mal pro Woche), manueller Deformationsmessungen (Tachymeter, Nivellement, Inklinometer) überwacht. Nach Fertigstellung der Bahnanlage erfolgte ein lückenloser Übergang zu einem automatischen GeoMonitoring-System Swissmonitor.

Dieses besteht aus folgenden Komponenten:

- 1 Leica Tachymeter
- 4 Zweiachs-Neigungssensoren (je 2 am Steher vorne und hinten)
- 3 Einphasen-GNSS-Empfänger (1 Referenz / je 1 Rover an Berg- und Talstation)
- Redundanten Datenkommunikation via RS485 und UMTS



Abb. 5: Von links: GNSS-Antenne (Vordergrund) und Seilbahnstation Heimberg (Hintergrund); Tachymeter-Station im Betriebsraum; Neigungssensoren-Box im Schnee (© Grünenfelder und Partner)

Um das zuverlässige Funktionieren des Systems bei hochalpinen Bedingungen an 365 Tagen zu gewährleisten, mussten einige besondere Massnahmen getroffen werden:

- Geheizte Box der Neigungssensoren
- Tachymeterstation in geheiztem Gebäude
- Höherlegung der GPS-Antennen (Schnee)
- Schutz-Vorrichtung für Prismen (Schnee und Vandalismus)
- Zweimal täglich Reinigung der Prismen bei Schneefall durch Betriebspersonal

### 3.3 Betrieb und Resultate

Das Monitoring-System erlaubt kontinuierliche Überwachungsmessungen (Messintervall 1 Stunde) der Talstation in Lage und Höhe sowie deren Verkippung. Diese Messwerte werden der Betriebsleitung der Lenzerheide Bergbahnen auf einem Internet-Portal in Form von übersichtlichen Grafiken, Zeitreihen und Tabellen zur Verfügung gestellt. Überschreiten

Verschiebung oder Verkippung spezifizierte Alarmwerte, erfolgt eine vollautomatische Alarmierung via SMS. Zur Vermeidung von Fehlalarmen erfolgen umfangreiche Plausibilitätsprüfungen mittels Vergleich zu Nachbarsensoren bzw. Messstellen.

## VERSCHIEBUNGEN

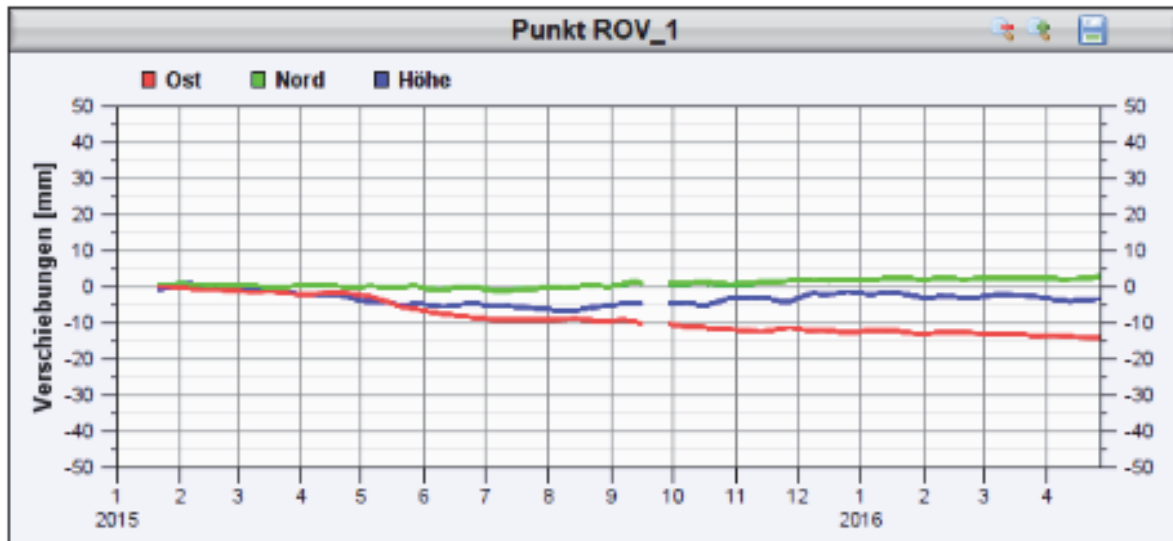


Abb. 6: Darstellung der Messresultate auf dem Internet-Kundenportal (© Grünenfelder und Partner)

Nur dank dem konsequenten und nachweislich zuverlässigen Einsatz des Monitoring-Systems konnte am Ende der Bauzeit trotz weiter auftretenden Setzungen rechtzeitig die Konzession erteilt und die Anlage Heimberg-Motte in Betrieb genommen werden. Seither funktioniert das System Swissmonitor mit einer Verfügbarkeit von über 95% sehr zuverlässig. Deformationen traten und treten im erwarteten Bereich auf und werden quartalsweise mit manuellen Inklinometer- und Nivellement-Messungen bestätigt. Dank diesen genauen und tagesaktuellen Zahlen konnten und können gezielte bauliche Massnahmen getroffen und die strukturelle Integrität der Anlagen jederzeit gewährleistet werden.

## 4 Projektbeispiel 3: 3D-Pistenplan Oberengadin

### 4.1 Ausgangslage und Ziel

Das Produkt „Wintersporterlebnis“ muss bei den (potenziellen) Kunden attraktiv präsentiert und beworben werden. Hier haben neben den traditionellen Kanälen in jüngster Zeit Plattformen wie Mobile Apps, Google Earth, TripAdvisor, YouTube etc. stark an Bedeutung gewonnen. Die Wintersportler möchten sich bereits zuhause ein Bild von ihrer Feriendestination machen.

Die Firma 3D RealityMaps entwickelt zu diesem Zweck für die Tourismusregion Oberengadin einen interaktiven 3D-Pistenplan als Internet- und Mobil-App, welche Pisten, Bahnen, Berghütten, Webcams und vieles mehr auf einer fotorealistischen 3D-Karte darstellt.



## 4.2 Datenerfassung und –aufbereitung

Basis für den 3D-Plan bilden hochauflösende Luftbilder, welche – im Gegensatz zu praktisch allen existierenden Bilddaten – gezielt im Winter aufgenommen werden. Um ein maximal attraktives Bild zu erhalten, muss der Messflug kurz nach Schneefällen, bei wolkenlosen Wetterbedingungen – oft über ein grosses Gebiet – sowie genau zur Mittagszeit erfolgen. Für das Oberengadin erfasste BSF Swissphoto im Winter 2014/15 an einem Tag 3'200 Luftbilder über eine Fläche von mehr als 1'700 km<sup>2</sup>.

Aus den orientierten Luftbildern berechnet 3D RealityMaps über Bildkorrelation ein hochgenaues 3D-Oberflächenmodell. Das angewendete Verfahren wurde speziell weiterentwickelt, um auch auf texturarmen, weissen Schnee- und Firnflächen ein zuverlässiges Matching zu erzielen. Das mit dem Orthophoto texturierte Oberflächenmodell wird anschliessend mit den Zusatzinformationen (Vektordaten inkl. Links) überlagert.

## 4.3 Präsentation

Der Nutzer kann die 3D-Karte in einem Web-Browser ohne Plug-In oder via App auf Smartphones oder Tablets nutzen. Per Maus oder Touchscreen kann er das Oberengadin interaktiv erkunden und die Landschaft aus allen Perspektiven betrachten. Die Suche nach geeigneten Pisten und Bahnen ist in der fotorealistischen Karte effizienter und intuitiver, Echtzeit-Information (Pisten- und Anlagenzustand, Tagesmenü im Pistenrestaurant, Wartezeit an der Talstation, freie Parkplätze etc.) kann problemlos eingebunden werden.



Abb. 7: Interaktiver 3D-Pistenplan des Oberengadins (© 3D RealityMaps)

Die fotorealistischen Karten sind mit geographischen Koordinaten versehen und damit voll navigationsfähig. Der App-Nutzer sieht seine eigene Position in der Karte und kann sich so orientieren.

Die Umsetzung für das Oberengadin befindet sich zurzeit im Teststadium und wird zur Ski-WM 2016 in St. Moritz aufgeschaltet. Ähnliche Applikationen von 3D RealityMaps sind für Skigebiete in Österreich und Italien bereits erfolgreich im Einsatz.

## 5 Fazit & Ausblick

Die Bedeutung von genauen 3D-Geodaten nimmt im Umfeld von Wintersportgebieten genauso zu wie in anderen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft. Wie die obenstehenden Beispiele zeigen, gibt es bereits zahlreiche praxisreife Anwendungen für state-of-the-art Messsysteme und nachgelagerte Auswertung und Präsentation, welche Betrieb und Benutzung von Wintersportgebieten effizienter, sicherer und erlebnisreicher machen. Weitere Anwendungen sind bereits in Vorbereitung oder Einführung:

- Übertragung des Konzepts des Schnee-Managements auf die Maschinensteuerung bei der Schneeräumung der Alpenpässe im Frühling.
- Integration weiterer für die Gäste relevanter Informationen in die 3D-App, z.B. Überlagerung des 3D-Modells mit der aktuellen, lokalen Lawinengefährdung.

An vielen Stellen werden von Bergbahnbetreibern oder ihren Subunternehmern 3D-Geodaten generiert und gespeichert. Der nächste entscheidende Schritt wird in der Aggregation und Überlagerung dieser Daten in einem zentralen, übersichtlichen GIS-System („Cockpit“) bestehen. So können bei geeigneter Datenintegration sämtliche für Betrieb und Unterhalt wichtigen Daten gemeinsam verwaltet und analysiert werden, z.B.:

- Infrastruktur: Leitungskataster, Anlagen-Komponenten, Überwachungsmessungen
- Schneehöhen, Beschneiungsanlage, Flottenmanagement Pistenfahrzeuge
- Gästeverhalten, Wartezeiten, Kapazitäten
- Raumplanung, Amtliche Vermessung

## 6 Literaturverzeichnis

BOMMER, C., PHILLIPS, M., KEUSEN, H.-R. & TEYSSEIRE, P., 2009: Bauen im Permafrost: Ein Leitfaden für die Praxis, Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.

LINER, M. & ARN, M., 2015: Künstliche Beschneiung in der Schweiz. ProNatura Hintergrund November 2015, 3.

SLF, 2016: Technischer Schnee. [http://www.slf.ch/forschung\\_entwicklung/schnee/kunstschnee](http://www.slf.ch/forschung_entwicklung/schnee/kunstschnee) (abgerufen am 22. April 2016).