

# Untersuchung des Potenzials stereoskopischer ASTER Satellitenbilddaten zur Extraktion lawinengefährdeter Bereiche

BJÖRN DULLECK<sup>1</sup>, MICHAEL BREUER<sup>2</sup>

*Zusammenfassung: Für die Ermittlung von Lawinenrisikogebieten sind die Wetterverhältnisse, die Begebenheiten des Geländes und die Schneedeckensituation maßgebend. Gefahrenkarten zeigen die Risikogebiete, ungeachtet der Wetter- und Schneeverhältnisse. Das Potenzial stereoskopischer ASTER Satellitenbilddaten zur Detektion lawinengefährdeter Gebiete wird untersucht. Dabei wird überprüft, welche auslösenden Faktoren mit Hilfe dieser Daten erkannt werden können. Als Referenz dient der Atlas der Schweiz. Es wird gezeigt, dass mit ASTER Satellitenbilddaten gute Gefahrenkarten generiert werden können.*

## 1 Einleitung

Satellitenbilddaten finden schon seit längerer Zeit Anwendung in der Lawinenkunde. Dabei wird ein weites Spektrum von Anwendungen genutzt. Es reicht von Messungen der Schneehöhe mit LIDAR-Daten (DEEMS ET AL. 2013), über die Modellierung von Lawinenabgängen, die Kartierung von Lawinenaktivitäten, bis hin zur Erstellung von Risikomodellen mit Hilfe von Digitalen Geländemodellen (DGM) (BÜHLER 2012). Letztere sind von besonderer Bedeutung für die Gefahrenabschätzung, da die topographische Beschaffenheit, im Gegensatz zu allen anderen Faktoren, eine dauerhaft aussagekräftige Auskunft über die Gefahr eines Hanges wiedergibt. Hierfür sind die Eigenschaften Hangneigung, Exposition, Höhe und Hangform differenziert zu betrachten. Außerdem spielt die Vegetationslage am Hang eine wichtige Rolle, die mittels Bildklassifizierung untersucht werden kann. ASTER Daten verfügen zum einen über eine breite spektrale Auflösung und zum anderen lassen sich durch stereoskopische Aufnahmen DGM erzeugen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Zentralschweiz, rund um den Vierwaldstättersee, und hat eine Ausdehnung von etwa 3600 km<sup>2</sup> (Abb. 1). Die Höhenlagen reichen von ca. 400 m bis zu 3614 m (Berg Tödi). Es lässt sich grob zweiteilen. Im Norden und Nordwesten befinden sich neben dem Vierwaldstättersee weitere Seen und einige größere Ortschaften in großen verkarsteten Tälern. Der Süden und Südosten besteht primär aus eisigem und felsigem Hochgebirge (ab 2000 m), teilweise von Gletschern durchzogen, wie beispielsweise der 7,1 km lange und 3 km breite Hüfigletscher zwischen Clariden (3267 m) und Tödi. Im Gebiet werden regelmäßig Lawinenabgänge aller Schadensklassen und Stärken registriert.

1) Björn Dulleck, Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB III, Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin, s53780@beuth-hochschule.de

2) Michael Breuer, Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB III, Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin, breuer@beuth-hochschule.de

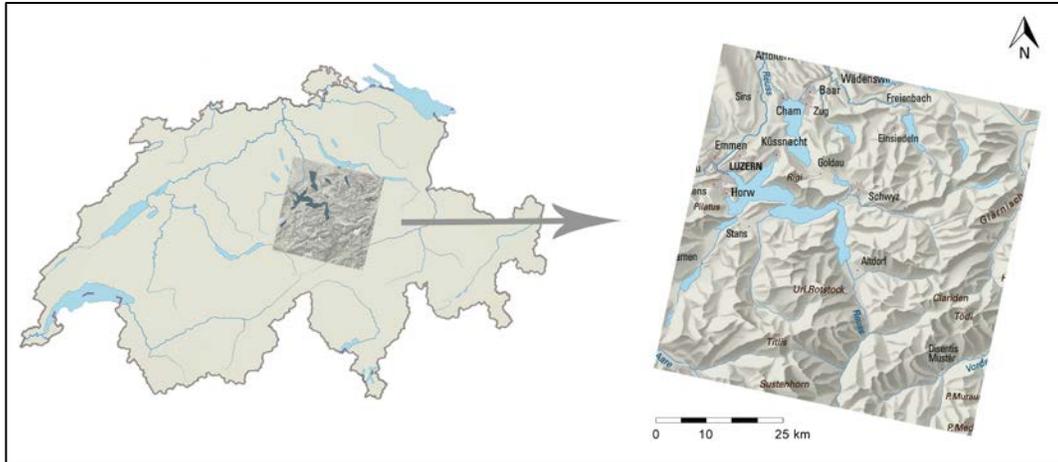


Abb. 1: Untersuchungsgebiet (Quelle: Atlas der Schweiz)

### 3 Datengrundlage

Bei dem zur Verfügung gestellten Datensatz handelt es sich um eine ASTER Level- 1A Satellitenbildszene, die am 24.08.2001 über dem Untersuchungsgebiet vom Satelliten TERRA (EOS/AM1) aufgenommen wurde. ASTER steht für *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* und ist Teil der TERRA-Mission der NASA (National Aeronautics and Space Administration).

ASTER verfügt über 14 Bänder, die im sichtbaren nahen Infrarot (VNIR), kurzwelligen Infrarot (SWIR) und thermalen Infrarot (TIR) Bilddaten aufzeichnen können (Abb. 2). Die zeitliche Auflösung beträgt ca. 16 Tage. Des Weiteren, ist es dank eines rückwärtsgerichteten Kanals möglich, stereoskopische Daten aufzuzeichnen (ABRAMS & HOOK 2002).

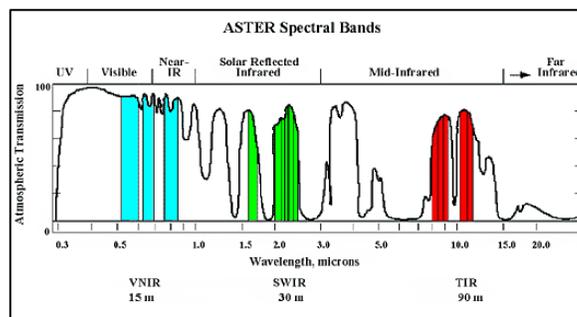


Abb. 2: ASTER Kanäle (Quelle: ASTER User Handbook v2)

### 4 Lawinenauslösende Faktoren

Als Ursache für Lawinen kommen mehrere, im Zusammenhang stehende Faktoren in Frage. Grundvoraussetzung für die Entstehung einer Lawine ist das Zusammenwirken von Topographie, Schneeverhältnissen und Wetterlage. Ein weiterer, nicht unmaßgeblicher Faktor ist der

Mensch. Der Einsatz fernerkundlicher Daten und Methoden zur Untersuchung dieser Faktoren findet regen Gebrauch. Mit Hilfe von Wettersatelliten lassen sich regionale und zeitlich genaue Vorhersagen über die Wetterlage treffen und damit die für die Lawinengefahrabschätzung essentiellen Faktoren Temperatur, Wind und Niederschlag analysieren. Für die Untersuchung der Topographie eines Hanges stehen unterschiedlichste Datenquellen zur Verfügung. Aus stereoskopischen Luft- und Satellitenbildern, sowie LIDAR- und RADAR-Daten lassen sich DGM erzeugen, mit denen die o.g. Faktoren Hangneigung, Höhe, Hangexposition und Hangform betrachtet werden können.

#### **4.1 Hangneigung**

Lawinen können bei Hangneigungen zwischen 20° und 60° abgehen (HOPF 2000:100). Am häufigsten treten Lawinen jedoch bei einer Hangneigung zwischen 30° und 45° auf (HOFFMANN 2000:51, PUDASAINI & HUTTER 2007:78). Grund dafür ist, dass bei dieser Hangneigung das Gleichgewicht zwischen Gravitationskraft und Haftung des Schnees am Hang am kritischsten ist (PUDASAINI 2007:73). An Hängen über 45° treten Lawinen seltener auf, da einerseits der Schnee vorher abgleitet (AMMANN ET AL. 1997:62) und andererseits kaum Menschen unterwegs sind (HOFFMANN 2000:51).

#### **4.2 Höhe**

Lawinen entstehen meistens in Höhen zwischen 1500 und 3000 Metern. Oberhalb dieses Bereiches treten Lawinen eher seltener auf, da in diesen Höhen stärkere Winde vorherrschen, die den Neuschnee wegtragen. Unterhalb von 1500 Metern bietet, wenn vorhanden, die Vegetation Schutz vor Lawinenabgängen. Zudem ist die Schneemenge in geringeren Höhen weniger groß und die wärmeren Temperaturen begünstigen das Setzen der Schneedecke (AMMANN ET AL. 1997:87f).

#### **4.3 Hangexposition**

Nord-, nordost-, und ostseitig ausgerichtete Hänge sind am häufigsten von Lawinen betroffen. Dies hängt damit zusammen, dass diese weniger Sonnenstrahlung ausgesetzt sind als anders ausgerichtete Hänge. An Südseiten herrschen höhere Temperaturen, die eine schnellere Setzung des Schnees und damit eine höhere Stabilität begünstigen (HOFFMANN 2000:77, HOPF 2000:101). An Nordhängen bestehen größere Temperaturunterschiede zwischen Boden, Schneedecke und Luft, was zu Schwimmschneebildung führen kann, welcher wiederum gefährliche Gleithorizonte für Neuschnee bieten kann (HOPF 2000:101, DURNER & RÖMER 2003:13).

#### **4.4 Hangform**

Die Form des Hanges ist ein wichtiger Faktor für die Lawinenbildung. An konkaven Hängen besteht größere Gefahr, da nach Windperioden in Mulden oft gefährlicher, frischer Triebsschnee liegt. An steilen, schattigen Kammlagen ereignen sich die meisten Unfälle, da diese häufig felsdurchsetzt und große Angriffsflächen für den Wind bieten (WSL/SLF 2013). Konvexe Formen wie Rippen, Rücken und Grate sind windexponiert und abgeblasen oder völlig schneefrei und damit lawinenhemmend (HOPF 2000:98, DURNER & RÖMER 2003:12).

## 4.5 Vegetation

Ein weiterer, nicht unwesentlicher Faktor, ist der Bewuchs eines Hanges. Grundsätzlich lässt sich sagen, je dichter der Baumbewuchs, desto höher ist der Schutz vor Lawinen. Denn bei Schneefall bleibt der Schnee auf den Bäumen liegen, der zum Teil verdunstet. Zudem wird auch die Ablagerung des Schnees am Boden begünstigt da der von den Kronen herabfallende Schnee die Schneedecke stärker strukturiert (MARGRETH 2004:22), wird diese weniger verfrachtet.

Grund dafür ist die punktuelle Abstützung der Schneedecke durch die Bäume, sowie die windschützende Wirkung des Waldes. Optimalen Lawinenschutz bietet mehrstufiger, geschlossener Waldbestand, der sich über das gesamte potentielle Abbruchgebiet einer Lawine erstreckt (HOPF 2000:102).

## 5 Methodik

Um das Potenzial des ASTER Datensatzes zu überprüfen, wird mit der Software ArcGIS (10.1) der Firma ESRI ein Lawinenrisikomodell konzipiert. Als Datengrundlage dafür dienen ein zuvor extrahiertes DGM und eine klassifizierte Landbedeckungskarte. Abbildung 3 zeigt die Vorgehensweise vom Import der Daten bis zur Konzeption des Modells.

### 5.1 Vorprozessierung

ASTER Level- 1A Daten sind weder korrigiert noch georeferenziert. Bevor mit der Generierung des DGM oder der Bildinterpretation begonnen werden kann, müssen die Bilddaten ggf. radiometrisch und geometrisch korrigiert werden. Für die DGM-Generierung werden zunächst die Bilddaten der Kanäle 3B und 3N importiert, radiometrisch korrigiert und mittels *Destriping* von den für ASTER Daten typischen Streifenstrukturen befreit. Anschließend erfolgt die gleiche Prozedur der Kanäle 1 und 2 (VNIR) für die Bildklassifizierung.

### 5.2 DGM Generierung

Die Generierung des absoluten DGM erfolgt mit der Software ERDAS Leica Photogrammetry Suite (LPS) der Firma INTERGRAPH. Dazu werden die Bilder zunächst orientiert. Die Messung von 27 Vollpasspunkten und Generierung von 250 Verknüpfungspunkten dient als Grundlage. Danach wird mit dem LPS *Automatic Terrain Extraction Tool* (ATE) das DGM mit einer Zellengröße von 15 m extrahiert. Die Genauigkeitsuntersuchung findet zunächst punktbasiert statt. Dafür werden die Koordinaten

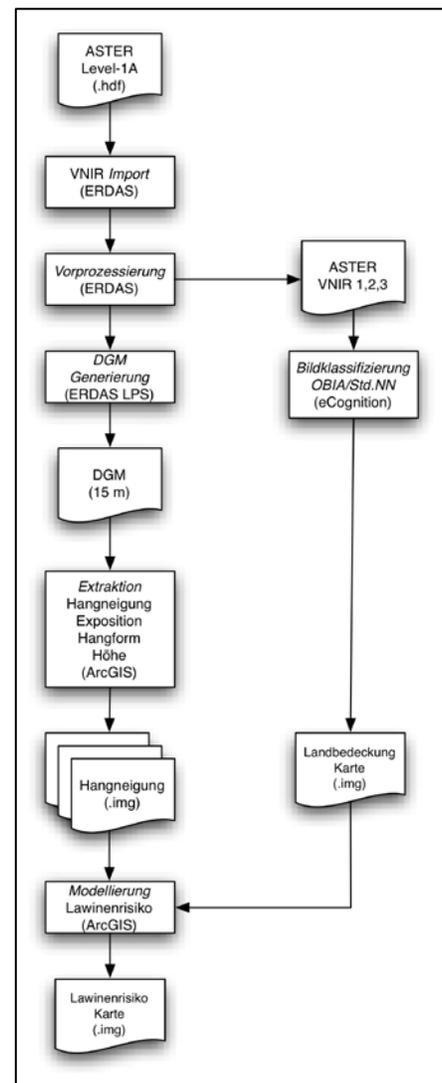


Abb. 3 Flowchart Methodik

und Höhenwerte von 75 Lagefestpunkten genutzt. Als weitere Referenz wird zusätzlich das ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) der NASA herangezogen.

### 5.3 Untersuchung der topographischen Eigenschaften des DGM

Zur Detektion lawinengefährdeter Bereiche werden die topographischen Faktoren Hangneigung, Hangexposition, Höhe und Hangform untersucht. Deren Analyse und Visualisierung erfolgt mit der ArcGIS- Erweiterung *Spatial Analyst* mit den Funktionen *Slope*, *Aspect* und *Curvature*.

### 5.4 Bildklassifizierung mit der Software eCognition der Firma Trimble

Für die Klassifizierung der Landbedeckung werden die VNIR- Kanäle 1, 2 und 3N und das DGM verwendet. Als Klassifizierungsmethode wird eine Kombination aus objektbasierter und überwachter, pixelbasierter *Standard Nearest Neighborhood* Klassifizierung gewählt (STD.NN). Zu Beginn werden bei der Segmentierung aus möglichst homogenen Objekten Segmente erstellt. Im Anschluss wird mit der eigentlichen Klassifizierung begonnen. Es werden relevante Klassen definiert, welchen dann, wie bei der überwachten Klassifizierung, Trainingssegmente zugewiesen werden. Jeder Klasse werden, je nach Eigenschaft (z.B. Form, Höhe, Spektralwert), Regeln mit entsprechenden Schwellenwerten zugewiesen (Tab. 1). Abschließend werden die Segmente zusammengeführt und exportiert.

<i>Klasse</i>	<i>Klassifizierungsmethode</i>
Wasser	STD.NN + NDVI + Mean DGM + Ratio Blau
Schnee/Eis	STD.NN
Urban	STD.NN + Mean DGM Slope
Wald	STD.NN
Grünflächen	STD.NN
Brache	STD.NN
Fels	STD.NN

Tab. 1: Klassifizierung

### 5.5 Lawinenrisikomodell

	<i>Hangneigung</i>		<i>Exposition</i>		<i>Höhe</i>		<i>Wald</i>	
<i>Signifikanz</i>	40		10		30		20	
<i>klasseninterne Signifikanz</i>	0 - 10°	1	Nord	5	0 - 500 m	1	Wald	5
	10 - 20°	2	Nordost	4	500 - 1000 m	2	kein Wald	1
	20 - 30°	3	Ost	3	1000 - 1500 m	3		
	30 - 45°	5	Südost	2	1500 - 3000 m	5		
	45 - 60°	4	Süd	1	3000 - 3465 m	4		
	60 - 90°	1	Südwest	2				
			West	3				
			Nordwest	4				

Tab. 2: Signifikanzen Lawinenrisikomodell

Auf Grundlage der Ergebnisse der topographischen Untersuchung und der Bildklassifizierung wird ein Lawinenrisikomodell konzipiert. Dieses wird im Anschluss mit Referenzdaten des Atlas der Schweiz verglichen (www.atladerschweiz.ch). Als Werkzeuge dienen der *Modelbuilder* und das Tool *Weighted Overlay* von ArcGIS. Dort wird aus den gewichteten Werten jeder Klasse mit Bezug zu den Werten aller anderen Klassen das Lawinenrisiko berechnet (Tab. 2).

## 6 Ergebnisse

Die Evaluierung des DGM zeigt, dass mit zunehmender Höhe ab etwa 1600 m markante Differenzen auftreten können. Die durchschnittliche Höhenabweichung beträgt etwa 65 m, was im Vergleich zu anderen Arbeiten, wie z.B. von HIRANO ET AL. (2002) oder CUARTERO ET AL. (2004), überdurchschnittlich hoch ist.

Bei der Bildklassifizierung hingegen können mit einer Genauigkeit von 83% durchschnittlich gute Ergebnisse erzielt werden. Die Extraktion der Geländeeigenschaften liefert, bis auf den Faktor Hangform, ebenfalls gute Ergebnisse. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die ASTER-Expositionskarte im Vergleich zur Referenzkarte des Atlas der Schweiz (AdS).

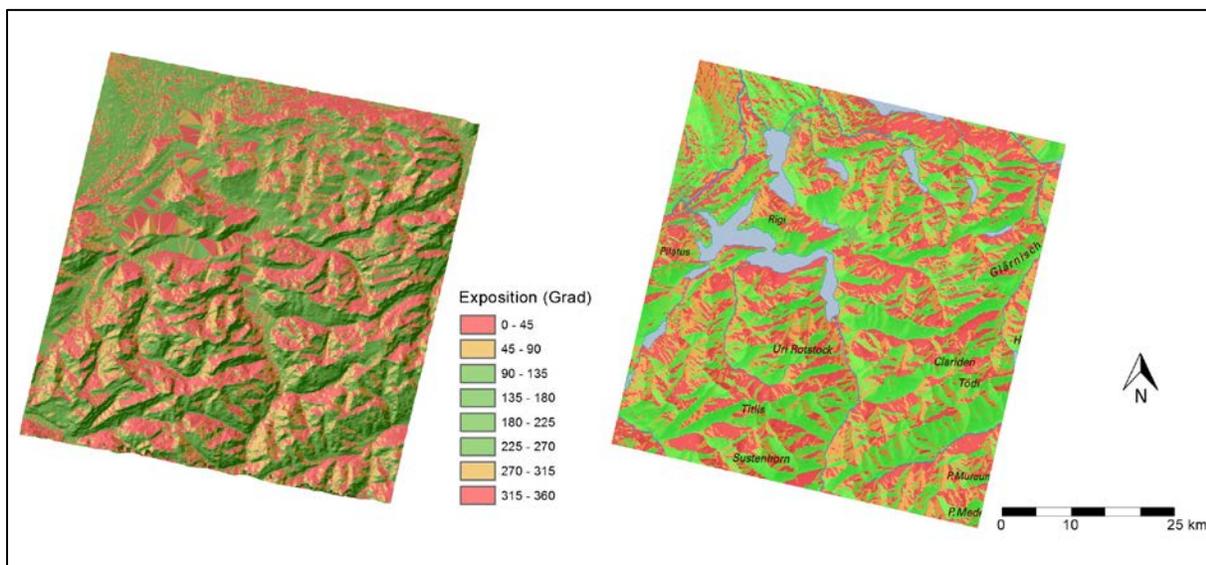


Abb. 4: Exposition ASTER

Abb. 5: Exposition Referenz AdS

Das fertige Risikomodell weist fünf Gefahrenstufen auf (Abb. 6). Im Vergleich dazu sind in Abbildung 7 die Gefahrenstufen des Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) abgebildet. Da sich dieses über die ganze Schweiz erstreckt, sind keine einzelnen Hänge klassifiziert. Demnach kann dieses Modell nur als grobe Orientierung dienen. Des Weiteren sind Lawinenzüge von vergangenen Lawinenabgängen dargestellt. Vor allem im Süden und Südosten sind in den Gefahrenbereichen des hier erstellten Risikomodells in der Vergangenheit einige Lawinen abgegangen. Trotz der aufgetretenen Ungenauigkeiten des zugrundeliegenden DGM können gute Ergebnisse erzielt werden.

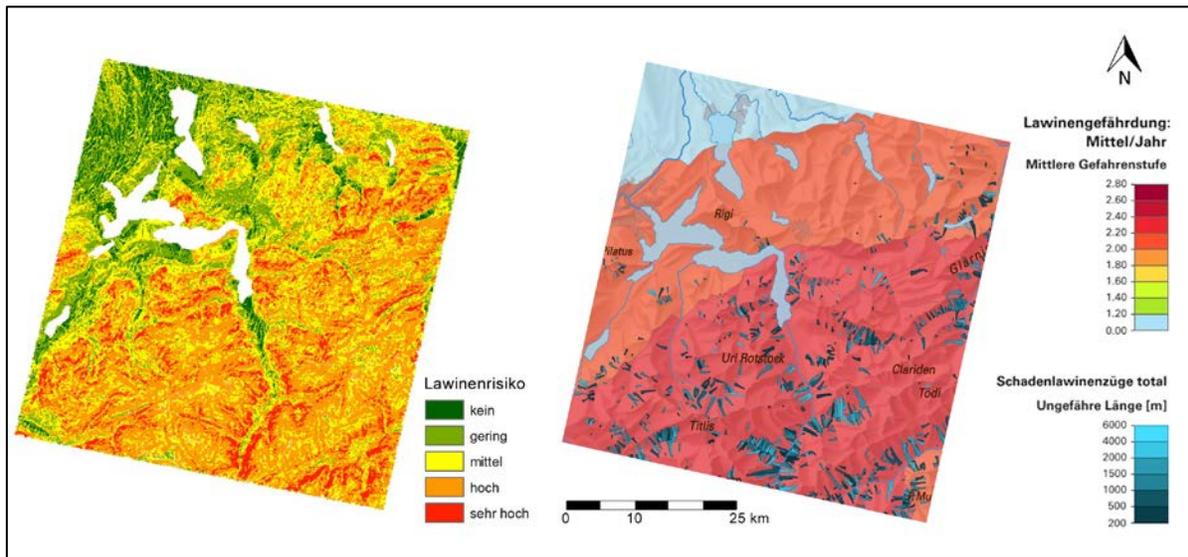


Abb. 6: Lawinenrisikokarte

Abb. 7: Lawinengefahrstufen SLF/AdS

## 7 Fazit und Ausblick

Der Ansatz, DGM für die Untersuchung von lawinengefährdeten Bereichen zu nutzen, ist nicht neu. Es zeigt sich aber, dass eine optimale Umsetzung nur mit geeigneten Werkzeugen möglich ist. Bei anderen Arbeiten (z.B. CUARTERO ET AL. 2004) lieferten ERDAS Konkurrenzprodukte wie z.B. *ENVI* und *PCI Geomatica* bessere Ergebnisse als ERDAS. Da diese jedoch auf älteren Versionen basieren, wäre ein Vergleich aktueller Softwarelösungen zu dieser Thematik erstrebenswert.

Lawinen sind von komplexer Natur und bilden sich aus einer Vielzahl von sich z.T. stetig ändernden Faktoren. Einige davon können mit o.g. Mitteln und Daten der Fernerkundung untersucht werden. Doch die Fernerkundung hat ihre Grenzen. Tiefgreifende Schneedecken-Untersuchungen lassen sich gänzlich nur direkt am Hang vornehmen. Wetterveränderungen können sich innerhalb kürzester Zeit lokal ereignen. Zudem spielt der Faktor Mensch eine nicht zu unterschätzende und unvorhersehbare Rolle.

Trotzdem konnte gezeigt werden, dass in dem zeitlich engen Rahmen einer Bachelorarbeit mit einem Workload von 360 Arbeitsstunden gute Ergebnisse erzielt werden können. Insbesondere bei Hangneigung und Exposition konnten sehr gute Resultate erzielt werden. Auch die Bildklassifizierung lieferte trotz geringer Bodenauflösung (15m·15m) akzeptable Genauigkeiten, welche durch sehr hochauflösende Daten v.a. zur Detektion von Vegetationsarten effizienter wäre. Probleme traten beim Import der Daten in ERDAS 2011, der DGM Generierung in LPS und der Untersuchung der Hangform auf. Für weitere Untersuchungen zur Lawinenthematik könnten auch andere Sensoren der TERRA-Mission genutzt werden. Durch die simultane Aufnahme eignen sich diese im besonderen Maße. Beispielsweise wären Schneekartierungen mit Hilfe des MODIS-Sensors möglich. Daten des TERRA-Satelliten sind z.T. frei verfügbar oder zu günstigen Konditionen beziehbar, was sie im Vergleich zu Daten von kommerziellen Anbietern attraktiver macht und somit ihr Potenzial zur Lawinengefahrabschätzung untermauert.

## 8 Literaturverzeichnis

- ABRAMS, M. & HOOK, S. (2002): ASTER User Handbook Version 2. Online in Internet: [http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03\\_data/04\\_Documents/aster\\_user\\_guide\\_v2.pdf](http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf)
- AMMANN, W.; BUSER O. & VOLLENWYDER, U. (1997): Lawinen. Birkhäuser Verlag, Basel. 170 Seiten.
- BÜHLER, YVES (2012): Remote Sensing Tools for Snow and Avalanche Research. Proceedings, 2012 International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska. S. 264-268.
- CUARTERO, A., FELICÍSIMO A.M. & F.J. ARIZA (2004): Accuracy Of Dem Generation From TERRA-Aster Stereo Data.
- DEEM, J.S.; PAINTER T.H. & FINNEGAN, D.C. (2013): Lidar measurement of snow depth: a review. In: Journal of Glaciology, Vol. 59, No. 215, 2013, S. 467-479.
- DURNER, G. & RÖMER, A. (2003): Lawinen Know How. AM-Berg Verlag, Garmisch-Partenkirchen. 80 Seiten.
- MARGRETH, STEFAN (2004): Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. Forum für Wissen 2004: S. 21–26.
- HIRANO, A.; WELCH, R. & LANG, H. (2002): Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 57, (2003), S. 356-370.
- HOFFMANN, MICHAEL (2000): Lawinen Gefahr. BLV, München. 111 Seiten.
- HOPF, JOSEF (2000): Beurteilung der Lawinengefahr. In: Lawinenhandbuch. 7. Auflage. Tyrolia-Verlag, Innsbruck-Wien. 224 Seiten.
- PUDASAINI, S. & HUTTER, K. (2007): Avalanche Dynamics. Springer, Berlin. 602 Seiten.
- WSL-INSTITUT FÜR SCHNEE- UND LAWINENFORSCHUNG SLF (2013): Faktoren der Lawinenbildung. Online in Internet: [http://www.slf.ch/praevention/ueberlawinen/lawinenbildung/index\\_DE](http://www.slf.ch/praevention/ueberlawinen/lawinenbildung/index_DE)