

Landesweite digitale Vegetationshöhenmodelle aus historischen SW - Stereoluftbildern

CHRISTIAN GINZLER¹, MAURO MARTY¹ & LARS T. WASER¹

Zusammenfassung: Methoden der Fernerkundung erlauben die Erfassung von 3D Strukturen von Wäldern über grosse Gebiete. Landesweite Berechnungen von Oberflächenmodellen mit photogrammetrischen Verfahren aus digitalen Stereoluftbildern oder ALS Daten werden in einigen Ländern bereits operationell eingesetzt. Die Verfügbarkeit historischer Stereoluftbilder erlaubt die Berechnung digitaler Oberflächenmodelle aus der Vergangenheit mittels photogrammetrischer Methoden. Wir stellen einen Arbeitsfluss vor, mit welchem wir für die Schweiz landesweite Oberflächenmodelle für die 1980er und 1990er Jahre berechnet haben. Es wurden zwei verschiedene Bildmatching Verfahren getestet und die Ergebnisse hinsichtlich der Vollständigkeit der Bildkorrelation verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Verfahren trotz der zum Teil geringen Kontraste in den digitalisierten schwarz-weißen Luftbildern zufriedenstellende Ergebnisse erzielten. Auf offenen Wiesen und im Gebiet der Landwirtschaft war die Vollständigkeit gering. In Waldgebieten jedoch deutlich höher.

1 Einleitung

Die Erfassung von horizontalen und vertikalen Strukturen in Wäldern erlaubt die Modellierung einer weiten Palette von Waldfunktionen. So können Ressourcen, wie zum Beispiel Holzvorrat und Biomasse, mit der Höhe von Waldbeständen geschätzt werden. Für die Schutzfunktion der Wälder gegenüber Naturgefahren, wie zum Beispiel Steinschlag und Lawinen, sind die Variabilität der Bestandeshöhen und Bestandeslücken entscheidende Parameter. Kronenschluss, Lückigkeit und Bestandesdichte, sowie die Stufigkeit von Waldrändern, sind wichtige Eingangsgrößen für die Modellierung von Biodiversität. Die Erholungsfunktion für den Menschen wird unter anderem von Lichtverfügbarkeit und Abwechslung in den Waldstrukturen beeinflusst.

Methoden aus der Fernerkundung erlauben heutzutage die Erfassung von 3D Strukturen von Wäldern über grosse Gebiete. Sowohl aktive, wie z. Bsp. Airborne Laserscanning (ALS) und Synthetic Aperture Radar (SAR), als auch passive Fernerkundungssysteme, wie multispektrale Sensoren haben sich in den letzten Jahren etabliert um 3D und 2.5D Daten der Erdoberfläche präzise zu erfassen. Landesweite Berechnungen von Oberflächenmodellen mit photogrammetrischen Verfahren aus digitalen Stereoluftbildern werden in einigen Ländern (z.B. Schweiz, Österreich, manche Bundesländer in Deutschland) bereits operationell eingesetzt.

Die Verfügbarkeit historischer Stereoluftbilder erlaubt die Berechnung digitaler Oberflächenmodelle aus der Vergangenheit mittels photogrammetrischer Methoden. In unserem Artikel stellen wir einen Arbeitsfluss vor, mit welchem wir für die Schweiz landesweite Oberflächenmodelle aus den 1980er Jahren berechnet haben. Zudem liegen aktuelle schweizweite Oberflächenmodelle aus dem Landesforstinventar (LFI) Schweiz vor.

¹ Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail: [Christian.Ginzler, Mauro.Marty, Lars.Waser]@wsl.ch

2 Material und Methoden

Im Rahmen der Arealstatistik Schweiz wurden die analogen SW-Stereoluftbilder der landesweiten Befliegung vom Bundesamt für Landestopographie (swisstopo) der Jahre 1979-85 mit dem Leica DSW700 Scanner mit einer Pixelgrösse von $14 \mu\text{m}$ gescannt. Die Luftbilder wurden mit der Kamera RC10, mit einem mittleren Massstab von $\sim 1:25'000$ aufgenommen.

Die Maschenweite der Pixel entspricht somit $\sim 0.35 \text{ m}$. Die Bildorientierungen wurden von swisstopo durchgeführt und für diese Studie übernommen. Der hauptsächliche Einsatz der Bilder war die Aktualisierung der Bodenbedeckung und Bodennutzung der Arealstatistik durch stereo Bildinterpretation am Bundesamt für Statistik (BFS 2018). Bei der Bildorientierung wurde speziell auf die Genauigkeit in der Lage geachtet. Die Genauigkeit in der Höhe war für den primären Einsatz der Bilder von untergeordneter Bedeutung und liegt im Bereich von $\pm 1 - 5 \text{ Meter}$. Für den Vergleich von zwei unterschiedlichen Bildmatching Verfahren wurden sechs repräsentative Gebiete in der Schweiz mit unterschiedlicher Landnutzung und Topographie ausgewählt (Abbildung 1).

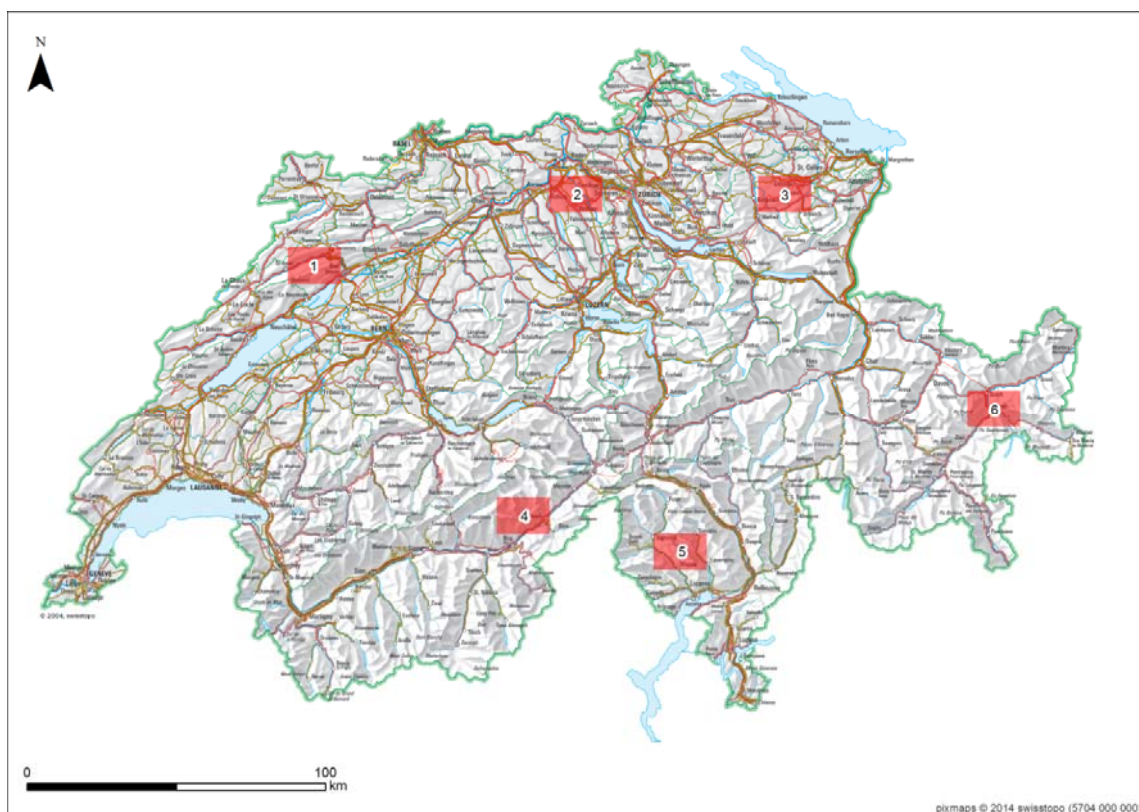


Abb. 1: Sechs Testgebiete in der Schweiz, welche die unterschiedlichen Landschaften und Topografien der Schweiz repräsentieren.

3 Verwendete Bildmatching Verfahren

In der vorliegenden Studie wurden zwei unterschiedliche Softwarepakete für die Bildkorrelation getestet. Es waren dies SocetSet 5.6.0 und Match-T von Trimble Photogrammetry 7.1.

3.1 SocetSet 5.6.0

Die Berechnung der Punktwolke im Softwarepaket SocetSet 5.6.0 von BAE Systems wurde mit dem Modul „Next Generation Automatic Terrain Extraction“ (NGATE) durchgeführt. Die Bildkorrelation erfolgt dabei auf verschiedenen Pyramidenstufen bis auf die 1:1 Pixelebene und verwendet eine Kombination aus flächenbasierter und kantenbasierter Korrelation. Obwohl NGATE die Korrelation bis auf Pixelebene durchführt, können die berechneten Werte aus SocetSet nur in einem regelmässigen Raster ausgegeben werden. Die Interpolationsmethode welche die korrelierten, unregelmässigen Punkte in ein regelmässiges Raster umwandelt ist nicht dokumentiert. Beim Export der Daten kann zu jedem Punkt ein Merkmal ausgegeben werden, welches angibt, ob der Punkt korreliert oder interpoliert wurde. Die Maschenweite für das endgültige Raster wurde auf 1x1 m festgesetzt.

Die Verarbeitung der Stereomodelle erfolgte ähnlich wie in GINZLER & HOBI (2015). Für jedes Luftbild wurde die Bildabdeckung im Gelände berechnet. Aus benachbarten Luftbildern derselben Fluglinien konnten somit Stereoabdeckungen abgeleitet werden. Die Bildkorrelation wurde für jedes Stereomodell separat durchgeführt. Stereomodelle aus den Querüberlappungen der Flugstreifen wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Bildkorrelationen wurden für jedes einzelne Stereomodell unabhängig voneinander prozessiert und konnten somit auf verteilte Prozesse ausgelagert werden. Die Steuerung der Berechnungen erfolgte dabei über eine zentrale Datenbank. Auf die zentral gespeicherten Luftbilder konnte über das Netzwerk zugegriffen werden.

Die exportierten regelmässigen Punkte wurden schliesslich in ein digitales Oberflächenmodell (DOM) umgewandelt.

3.2 Match-T

Die Punktwolken wurden mit Match-T des Softwarepaketes Trimble Photogrammetry 7.1 berechnet. Match-T verwendet dabei drei verschiedene Bildkorrelations Algorithmen, „Feature Based“ (FGM), „Least Squares“ (LSM) und einen „Cost Based“ (CBM) Ansatz, einem Semi Global Matching Algorithmus (HIRSCHMÜLLER 2008). Diese Algorithmen werden hierarchisch durch alle Bildpyramiden angewendet, bis auf die 1:1 Pixelebene. Match-T verwendet sequentielles Multi-Matching. Dabei werden basierend auf den Blickwinkeln die am besten geeigneten Bildpaare für eine Berechnungseinheit ausgewählt. Die einzelnen Punktwolken werden anschliessend zusammengeführt und robust gefiltert. Für die Bildkorrelation der gescannten schwarz-weiss Stereobildpaare wurden die Standardeinstellungen der Software gewählt. Dabei werden für die ersten Bildpyramiden das FBM und für die letzten drei Bildpyramiden das CBM verwendet. Zur Generierung der DOMs haben sowohl gewünschte Punktedichte als auch ein sogenannter „Optimize“ Parameter einen wichtigen Einfluss auf die angewandte Filtermethode für die Endpunktwolke. Die Filterung wurde vom Standard 2.5D auf den 3D-Modus umgestellt, so dass nur erfolgreich korrelierte Punkte als unregelmässige Punktwolke exportiert werden. Die Punktdichte wurde auf den Wert 3

gesetzt, um eine Einstellung anzuwenden, die am ehesten mit der für NGATE verwendeten vergleichbar ist. Die irregulären Punktwolken wurden zu einem DOM mit der Auflösung $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ linear interpoliert.

4 Qualitätsabschätzung

Ein geeignetes Mass für die Qualitätsabschätzung der berechneten Oberflächenmodelle ist die Vollständigkeit der effektiv korrelierten Punkte pro Flächeneinheit. Diese ergibt sich aus dem Verhältnis der korrelierten Punkte zur maximal möglichen Anzahl Punkte pro Flächeneinheit. Um die Vollständigkeit für die unterschiedlichen Bodenbedeckungen berechnen zu können wurde der Datensatz der Arealstatistik Schweiz verwendet. Bei der Arealstatistik Schweiz wird auf einem Stichprobennetz von $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ die Bodenbedeckung und Bodennutzung erhoben. Für sechs Klassen der Bodenbedeckung (geschlossener Wald, Grasland, Gebüsch, versiegelter Boden, Fels und Offenboden, Gletscher) wurden um den Stichprobenpunkt in einem Radius von 5 m die Anzahl der korrelierten Punkte für beide Korrelationsansätze gezählt. Die maximal mögliche Anzahl beträgt dabei 80 Punkte. Anders als bei Match-T, wo durch das sequentielle Multimatching mehr als 1 Punkt pro Quadratmeter entstehen können. Damit die Werte mit NGATE verglichen werden konnten wurde pro Quadratmeter aber dann nur 1 Punkt gezählt.

5 Resultate

5.1 Digitale Oberflächenmodelle

Die Generierung von digitalen Oberflächenmodellen war mit beiden Bildmatching-Verfahren erfolgreich. Durch die Subtraktion eines digitalen Geländemodells wurden beide DOMs normalisiert (nDOM). Ein Ausschnitt eines typischen Waldgebietes aus dem nördlichen Schweizer Mittelland ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Waldstrukturen werden mit beiden Methoden gut abgebildet. Sowohl grössere Waldlücken als auch schmale Waldstreifen wurden gut modelliert. Ausschnitte aus vier Testgebieten geben einen Eindruck der erfolgreichen Modellierung der Oberflächen aus den digitalisierten schwarz-weiss Luftbildern (Abbildung 3).

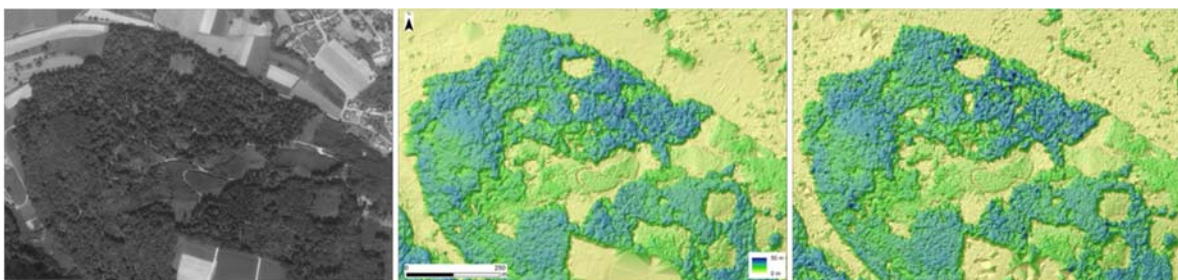


Abb.2: Typisches Waldgebiet im Schweizer Mittelland. Links: Schwarz-weiss Luftbild. Mitte: Reliefdarstellung des digitalen Oberflächenmodells und des normalisierten Oberflächenmodells aus NGATE. Rechts: Reliefdarstellung des digitalen Oberflächenmodells und des normalisierten Oberflächenmodells aus Match-T.

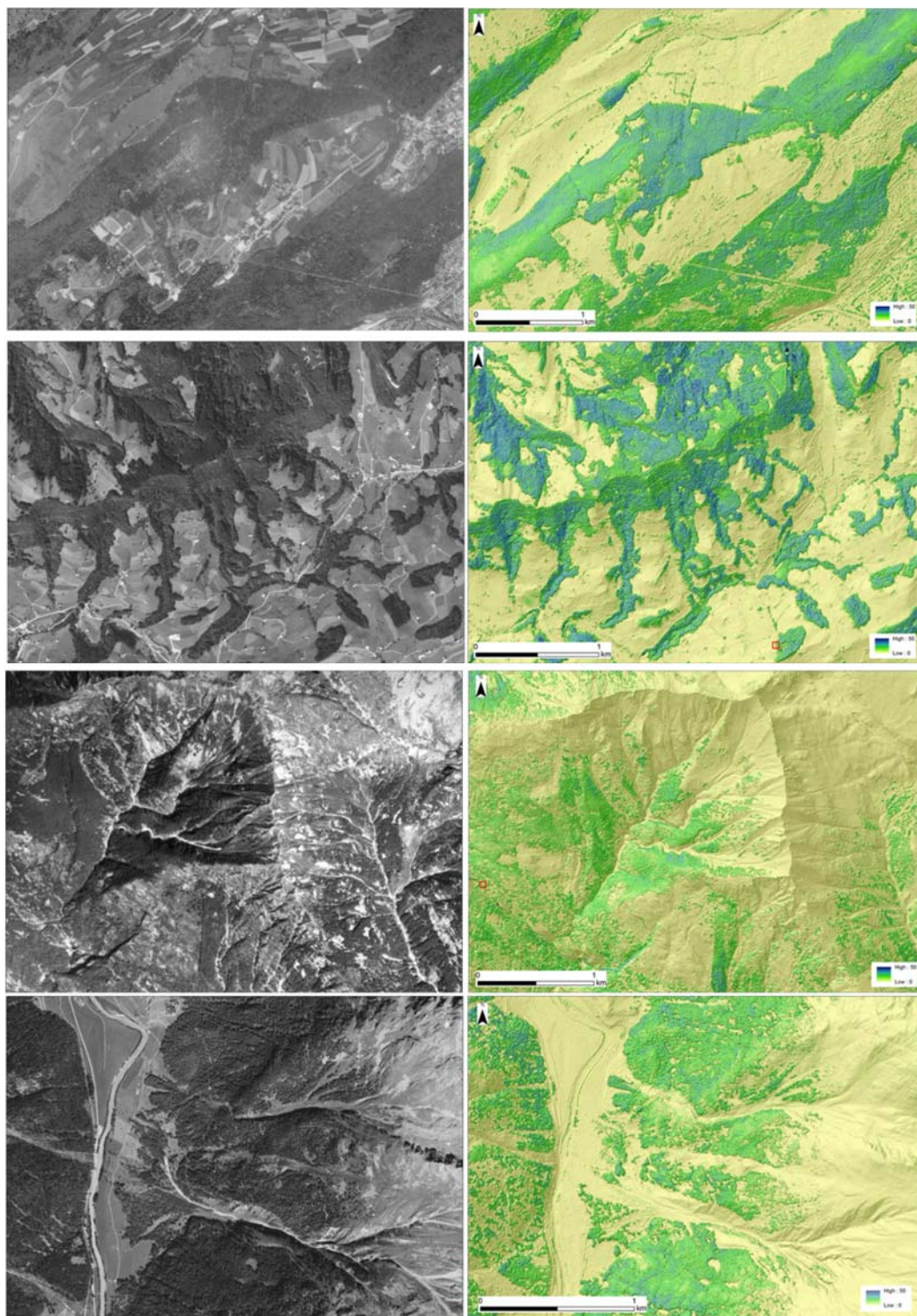


Abb. 3: Orthofotos und die Reliefdarstellungen der entsprechenden DOMs mit eingefärbten nDOMs in verschiedenen Testregionen mit unterschiedlichen Waldstrukturen (von oben nach unten Ausschnitten aus den Testgebieten 1,3,5,6)

5.2 Vollständigkeit

Die Vollständigkeit wurde für beide Korrelationsresultate berechnet und für die sechs unterschiedlichen Bodenbedeckungsklassen analysiert (Tabelle 1). NGATE erreichte in allen Bodenbedeckungsklassen höhere Vollständigkeitswerte. Der grösste Unterschied ergibt sich im geschlossenen Wald mit 83 % Vollständigkeit bei NGATE und 40 % Vollständigkeit bei Match-T. Bei allen anderen Bodenbedeckungsklassen war die Vollständigkeit bei NGATE um 10 % - 20 % höher.

Tab. 1: Mittlere Vollständigkeit und Anzahl der Referenzpunkte für sechs verschiedene Bodenbedeckungsklassen in den Untersuchungsgebieten.

Bodenbedeckung	Mittlere Vollständigkeit [%]		Anzahl Referenzpunkte
	NGATE	Match-T	
Geschlossener Wald	83	43	34'805
Grasland	68	51	36'992
Gebüsche	92	68	6'915
Versiegelter Boden	94	66	3'000
Fels, Offenboden	91	70	18'973
Gletscher	66	54	6'093

Die geringste Vollständigkeit wurde für die Bodenbedeckung Grasland mit 68 % (NGATE) und 51 % (Match-T) erzielt. Unterschiede fanden sich bei dieser Bodenbedeckung in den verschiedenen Testgebieten. Im Flachland konnten deutlich weniger Punkte korreliert werden als in den Bergregionen (Abbildung 4).

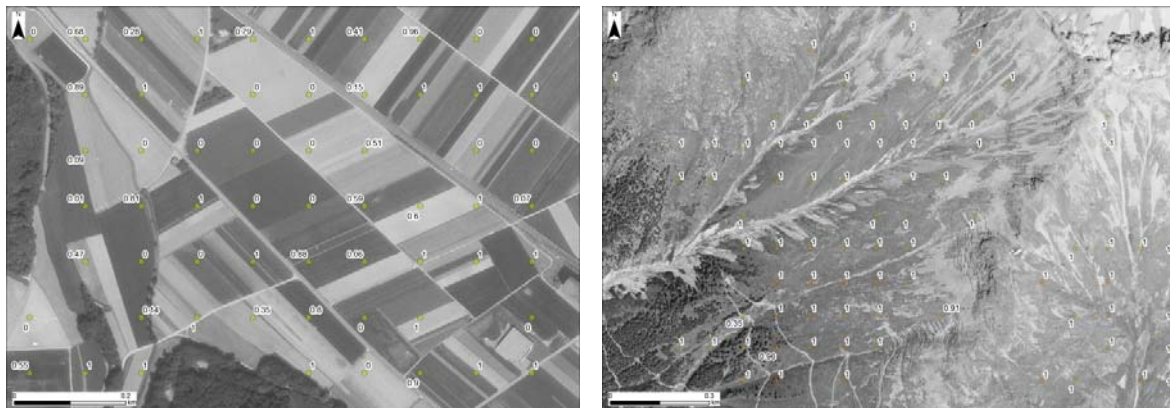


Abb. 4: Vollständigkeit der Bildkorrelation für die Bodenbedeckungsklasse „Grasland“ im Flachland (links) und in Berggebieten (rechts).

6 Fazit & Ausblick

Die Verfügbarkeit von orientierten historischen Luftbildern ist eine sehr wertvolle Datenquelle zur Berechnung von digitalen Oberflächenmodellen aus der Vergangenheit. Obwohl die Flugparameter nicht für eine dichte Bildkorrelation ausgelegt waren, können durch paarweises Image-Matching sehr grosse Gebiete nahezu lückenlos korreliert werden. Die zum Teil sehr geringe Textur in den digitalisierten schwarz-weissen Luftbildern führt speziell im Offenland, auf Wiesen und Feldern zu einer geringen Vollständigkeit. Oft werden nur an Nutzungsgrenzen und Strassenrändern Punkte erfolgreich korreliert. Auf Waldflächen werden jedoch deutlich höhere, zufriedenstellende Vollständigkeiten erzielt. Die Wahl der Methode für die Bildkorrelation ist nicht entscheidend. Auch wenn in dieser Studie mit NGATE eine höhere Vollständigkeit der Korrelationspunkte erreicht wurde, so waren die abgeleiteten Oberflächenmodelle von NGATE und Match-T durchaus vergleichbar.

Neben dem vorliegenden landesweiten Datensatz aus der Luftbildbefliegung 1979-85 wird zudem ein analoger Datensatz mit den Luftbildern 1990-98 gerechnet. Somit stehen nebst den spektralen Zeitreihen seit den 1980er Jahren zusätzlich auch Zeitreihen zur Oberfläche und Struktur von Wäldern zur Verfügung. Diese werden in kommenden Arbeiten hinsichtlich der Dynamik und Störungen in Wäldern über die gesamte Schweiz analysiert.

7 Literaturverzeichnis

BFS – BUNDESAMT FÜR STATISTIK, 2018: Arealstatistik: <http://www.landuse-stat.admin.ch>

GINZLER, C. & HOBI, M., 2015: Countrywide stereo-image matching for updating digital surface models in the framework of the Swiss National Forest Inventory. *Remote Sensing*, 7(4), 4343-4370.

HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30, 328-341.