

Nachvollziehbar messen statt subjektiv schätzen – neue methodische Ansätze zur Quantifizierung von Klimafolgen im Hochgebirge

Teil 3: Veränderungs- und Strukturanalysen alpiner Landschaftselemente basierend auf fernerkundlichen Auswertungsmethoden

Patrick Fritzmann, Rudolf Sailer und Johann Stötter

patrick.fritzmann@tirol.gv.at, Amt der Tiroler Landesregierung, 6020 Innsbruck

rudolf.sailer@uibk.ac.at, Universität Innsbruck, 6020 Innsbruck

hans.stoetter@uibk.ac.at, Universität Innsbruck, 6020 Innsbruck

1 Einleitung

Der alpine Raum stellt hinsichtlich seiner vielseitigen Wandlungs- und Interaktionsprozesse von Natur und Gesellschaft sowie den daraus resultierenden Folgeerscheinungen eine Herausforderung für Wissenschaftsbereiche verschiedener Disziplinen dar. Neben den physikalischen Bereichen, wie beispielsweise der Klimafolgenforschung (Gletscher- und Permafrostrückgang) ist auch die Erforschung von sozioökonomischen Veränderungen im Gebirgsraum (z. B. Siedlungsentwicklung) von hohem Interesse (Bätzing 1990; Veit 2002).

Da aber gerade der Alpenraum ein Bereich ist in dem flächendeckende Datengewinnung meist als Folge von topographischen Faktoren stark limitiert wird, bilden Stichproben, Hochrechnungen (Interpolationen in die Fläche) und daraus erstellte Statistiken häufig die wichtigste Entscheidungsgrundlage für politische, umwelttechnische und wirtschaftliche Maßnahmen. Um diese Informationslücken zu reduzieren kommen vermehrt Fernerkundungstechnologien zum Einsatz. Doch auch diese können aufgrund der Geländegegebenheiten (hoher Abschattungsgrad, Verzerrung aufgrund starker Höhenunterschiede) in den Alpen meist nur eingeschränkt zu detaillierten Analysezielen verwendet werden.

Zentrales Thema des dritten Beitrags der Reihe „Nachvollziehbar messen statt subjektiv schätzen“ ist deshalb die großflächige, detaillierte Detektion ausgewählter Nutzungsformen im alpinen Raum, basierend auf einer Kombination von Fernerkundungsdaten, welche als Grundlage für weitere Analysen und Auswertungen genutzt werden. Bei den zu erfassenden Nutzungsformen handelt es sich um Waldflächen und Siedlungsstrukturen in den Tal und Almregionen, da diese eine enge Verknüpfung und weitreichende Interaktionen aufweisen. Das Untersuchungsgebiet besteht aus den beiden benachbarten Gemeinden Au und Schoppernau in Vorarlberg, Österreich. Schon seit dem Spätmittelalter gehören die Gemeinden Schoppernau und Au gelten zu den wichtigsten Alpwirtschaftsräumen des Bregenzerwaldes, in dem die traditionelle Dreistufenwirtschaft auch heute noch stark ausgeprägt ist (Groier 1990). Ein Beispiel für die Wandlungsprozesse und gegenseitige Beeinflussung der zu klassifizierenden Landschaftsobjekte wird in Abbildung 1 dargestellt.

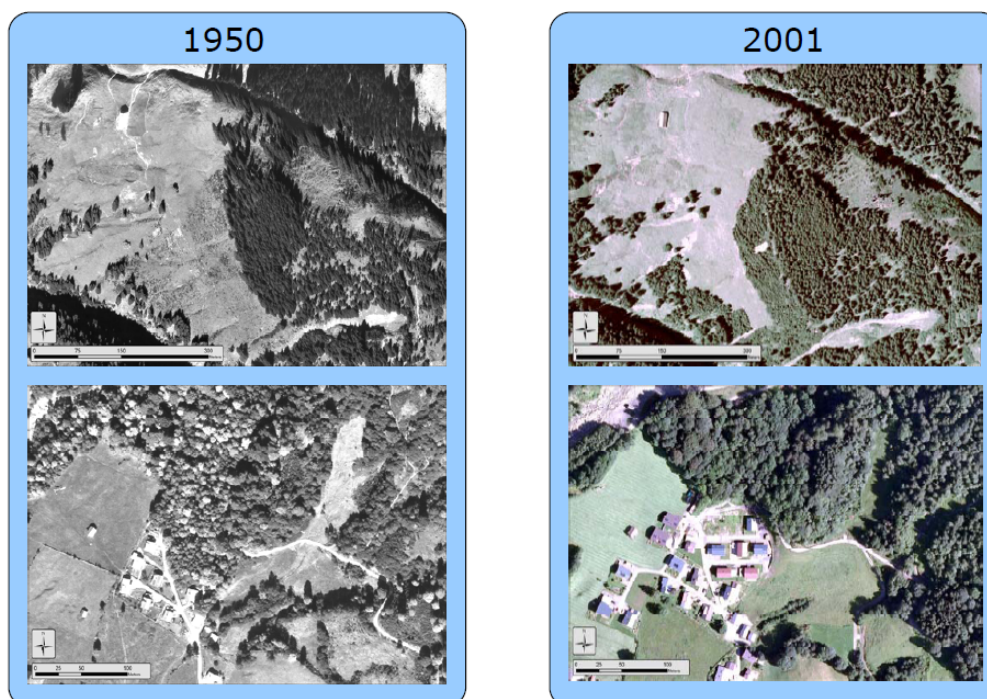


Abbildung 1: Beispiele für die Interaktion zwischen Wald und Siedlung. Rechts oben: Almfläche 1950; links oben: Almfläche 2001: Aufgelassene Almflächen verwalden. Rechts unten: Siedlungsbereich 1950; links unten: Siedlungsbereich 2001. Durch gesteigerten Siedlungsdruck wird der Wald aus den Talräumen zunehmend verdrängt.

Die Detektion und Klassifikation der Wald- und Siedlungsflächen basiert auf Produkten zweier verschiedener Fernerkundungstechnologien:

1. hochauflösende, optische Orthofotos
2. flugzeuggestütztes Laserscanning (Airborne Laser Scanning, ALS)

Die Kombination beider Datensätze ermöglicht die Generierung von flächendeckenden Informationsprodukten auf hoher Maßstabsebene im Bereich Siedlungs- und Waldentwicklung. Des Weiteren konnte durch Kombination beider Datensätze die Mängel der jeweils anderen Fernerkundungsmethode weitestgehend erkannt und eliminiert werden.

Das folgende Kapitel bietet einen kurzen Überblick zu Fernerkundungsdaten im Allgemeinen und zu den in dieser Studie verwendeten Daten. Kapitel 3 beschreibt den verwendeten Workflow, mit dem die Wald- und Siedlungsgebiete klassifiziert wurden und zeigt die Resultate auf. In Kapitel 4 werden die auf den Klassifikationsergebnissen basierenden Auswertungen bezüglich der Strukturen und Veränderungen der Wald- und Siedlungsgebiete dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse aus den vorherigen Kapiteln zusammengefasst.

2 Datengrundlage

Der Einsatz von hoch auflösenden Fernerkundungsbilddaten für Landnutzungsclassifikationen (Wald, Siedlungen, Infrastruktur und Felsflächen) und damit verbundene Veränderungsanalysen haben sich innerhalb der letzten Jahre methodisch stark weiterentwickelt (Möller & Blaschke 2006). Bereits seit dem 2. Weltkrieg wurden hochauflösende Luftbilder aufgenommen, jedoch eignen sich

diese Graustufenbilder aufgrund zu geringer spektraler Differenzierbarkeit kaum für automatisierte Objektklassifikationsverfahren. Seitdem Luftbildkameras mehrere Kanäle bzw. Echtfarben verwenden, eignen sich auch diese Bilddaten für Objektklassifikationen (Albertz 1991).

Airborne Laserscanning (ALS) hat sich innerhalb der letzten Dekaden zu einem Standardverfahren für die topographische Geländeerfassung entwickelt. Aufgrund der hohen Genauigkeit der aus den Rohdaten (Punktwolke) abgeleiteten Geländemodelle und der großflächigen Datengewinnung werden die Daten in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Neben den in Teil 1 und 2 dieser Beitragsreihe geschilderten Anwendungen werden ALS-Daten auch zur Klassifikation verschiedener Landschaftsobjekte genutzt (Briese 2001; Geist et al. 2009; Lang & Blaschke 2007).

Die verwendeten optischen Daten sowie die Informationsprodukte aus der ALS-Kampagne 2004 wurden vom Land Vorarlberg bereitgestellt. Tabelle 1 zeigt einen Überblick der in dieser Untersuchung verwendeten Ausgangsdaten, deren Auflösung sowie Informationen über das jeweils zugrunde liegende Aufnahmeverfahren.

Tabelle 1: Datengrundlage; alle Daten wurden mit freundlicher Genehmigung vom Land Vorarlberg bereitgestellt. CIR= Composite Infrared (eine Kanalkombination aus den Kanälen, Rot, Grün und Infrarot) PEF = Pseudo-Echtfarben Bild (ähnlich einem Rot-Grün-Blau Kombinationsbild)

Datenbezeichnung	Erstellungsdatum	Aufnahmeverfahren	Auflösung
CIR2001_ORTHO	2001-08-14	Composite Infra Red (optisch)	0,25 m
PEF2001_ORTHO	2001-08-14	Pseudo RGB	0,25 m
SW1950_ORTHO	1950-08-01	Graustufen (optisch)	0,25 m
DSM_ALS	2004	Airborne Laserscanning	1m
DTM_ALS	2004	Airborne Laserscanning	1m

3 Methodik

Im folgenden Kapitel werden die existierenden Fehlerquellen bei Objektklassifikationen und das entwickelte Objektklassifikations-Verfahren, welches eine Eliminierung dieser Fehlerquellen zum Ziel hat, vorgestellt. Um Informationen aus den Ergebnissen in Bezug zu verschiedenen Höhenbereichen zu erhalten wurde das ALS Geländemodell in 100 m Schritte reklassifiziert. Im Folgenden wird für diese Einteilung in 100 m Schritte der Begriff Höhenbereich bzw. Höhenklasse verwendet um Verwechslungen mit den gängigen alpinen Höhenstufen (Bsp. Alpine, nivale, montane Stufe) zu vermeiden. Um den multitemporalen Datensatz vergleichbar zu machen, mussten die Auflösungen der optischen Daten und der ALS Daten aufeinander angepasst werden.

Gerade im alpinen Raum kommt es bedingt durch die Topographie oftmals zu großflächiger Abschattung. Speziell in Wäldern, wo auf kleinsten Räumen nichtabgeschattete (Baumspitzen) und abgeschattete Bereiche (Baumkrone) aufeinandertreffen wirkt sich die Schatteneinwirkung negativ auf die Klassifikation aus.

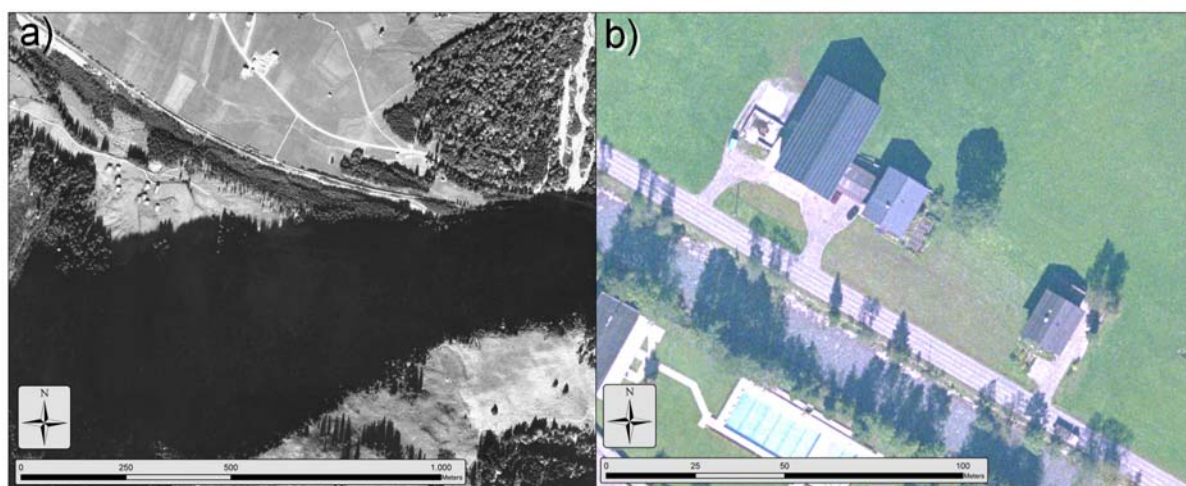


Abbildung 2: Informationsverlust aufgrund von Schatteneinwirkung. a): großflächige Abschattung, b): lokale Abschattung.

Spektralanalysen verschiedener Objektsignaturen zeigen oftmals hohe spektrale Ähnlichkeiten zwischen Wald- und Wiesenflächen sowie zwischen Dachflächen und Straßen in den RGB- und CIR Daten. Abbildung 3 zeigt einen Spektralvergleich von Dachflächen und Straßen sowie von Wald und Wiesenflächen. Die geringe Differenzierbarkeit kann dazu führen, dass Straßen fälschlicherweise als Dachflächen und Wiesen als Waldflächen fehlklassifiziert werden, besonders da diese Klassen häufig direkt aneinander anschließen.

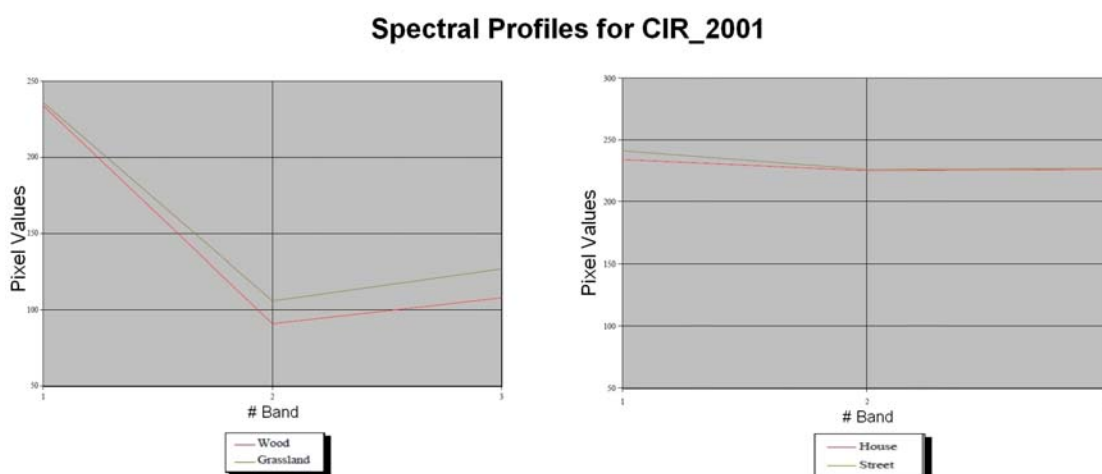


Abbildung 3: Vergleich verschiedener Spektralwerte unterschiedlicher Landschaftsobjekte. Links: Vergleich von Rasen- (grüne Linie) und Waldflächen (rote Linie); Rechts: Vergleich von Dachflächen (rote Linie) und Straßen (grüne Linie). Die X-Achse zeigt die 3 Farbkanäle (1: Rot, 2: Grün, 3: Infrarot), die y-Achse den Pixelwert (0-255).

Um die beschriebenen Fehlerquellen so weit wie möglich zu reduzieren wurde ein kombiniertes Objektbasierte-Bildanalyse (Object-based image analysis; OBIA) Verfahren aus ALS- und optischen Daten entwickelt (Abb. 7). Das CIR-Orthophoto wurde genutzt um die spektralen Merkmalsräume

der Zielobjekte (Wald- und Dachflächen) zu ermitteln, die Informationsprodukte aus den ALS-Daten dienen der Ableitung geometrischer Eigenschaften der Zielobjekte. In einem ersten Schritt wurde eine Differenz aus dem digitalen Oberflächenmodell (Model der Oberfläche inklusive Objekte, wie Gebäude, Wald, Brücken, Strommasten oder größere Felsbrocken, (DOM)) und dem digitalen Geländemodell (Model des Geländes ohne Objekte, (DGM)) gerechnet um ein normalisiertes Oberflächenmodell (nDSM) zu erhalten, in dem nurmehr die relativen Höhen der verschiedenen Objekte enthalten ist. Da die zu detektierenden Objekte Wald / Einzelbaum bzw. Dachflächen durch eine relative Objekthöhe von mehr als 2 m gekennzeichnet sind, wurden in den weiteren Analyseschritten nur noch jene Orthophotobereiche betrachtet, welche innerhalb der Bereiche mit einer relativen Objekthöhe größer 2 m lagen. Die anschließende Objektklassifikation erfolgte mit der Software ERDAS Imagine Objective. Hierbei wurden die vorverarbeiteten Bilddaten durch eine pixelbasierte Spektralanalyse segmentiert und die Segmente anschließend aufgrund statistischer und geometrischer Entscheidungskriterien in Dach- und Waldflächen klassifiziert. Hierbei ist zu beachten, dass es sich meist nicht um die wahre Dachfläche handelt, da diese geneigt sein kann und meist über den Gebäudegrundriss ragt. Jedoch gibt die festgestellte Dachfläche einen Hinweis auf die Größe des Gebäudegrundrisses und wurde in der Auswertung zur Siedlungsstruktur miteinbezogen. Ebenso entsprechen die hier mit Waldflächen angesprochenen Bereiche nicht den offiziellen Kriterien bzw. Walddefinitionen, da auch Einzelbäume detektiert werden.

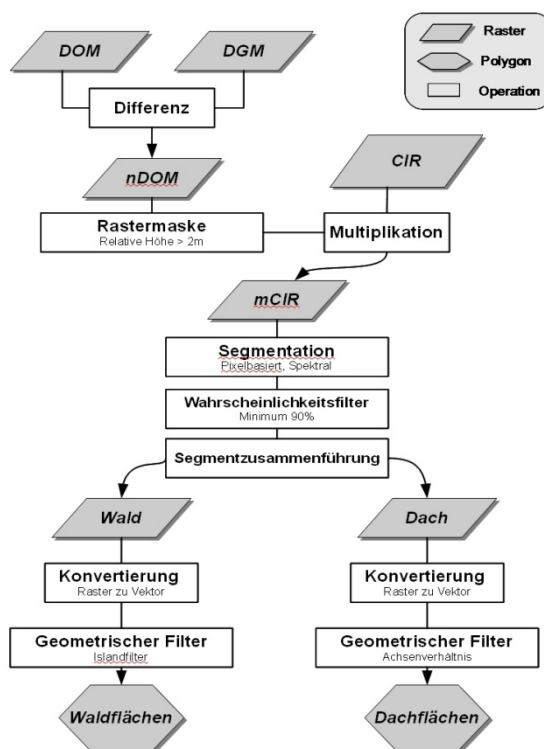


Abbildung 4: Workflow: Ableitung von Wald- und Dachflächen. In: Fritzmann et al. (2011)

Durch den kombinierten Einsatz von Infrarot-Orthophotos und ALS-Daten konnte eine hochauflösende, gebietsweite Dach- und Waldklassifikation durchgeführt werden. Abbildung 5 zeigt das Resultat der Objektklassifizierung für das Jahr 2001. Eine Genauigkeitsabschätzung mittels Vergleich zufällig verteilter Punkte zwischen Klassifikations- und Referenzdaten (RGB-Orthofoto 2001, zeitgleiche Erstellung mit CIR-Orthofoto) der erkannten Waldflächen ergab eine Gesamtgenauigkeit von 90%. Zur Genauigkeitsabschätzung der Dachflächen wurden drei Testgebiete unterschiedlicher Siedlungsdichte (niedrig, mäßig und hoch) und unterschiedlicher Punktedichte (1 Punkt pro 20 m², 15 m² und 10 m²) geprüft. Diese ergaben eine Gesamtgenauigkeit von 97 %.

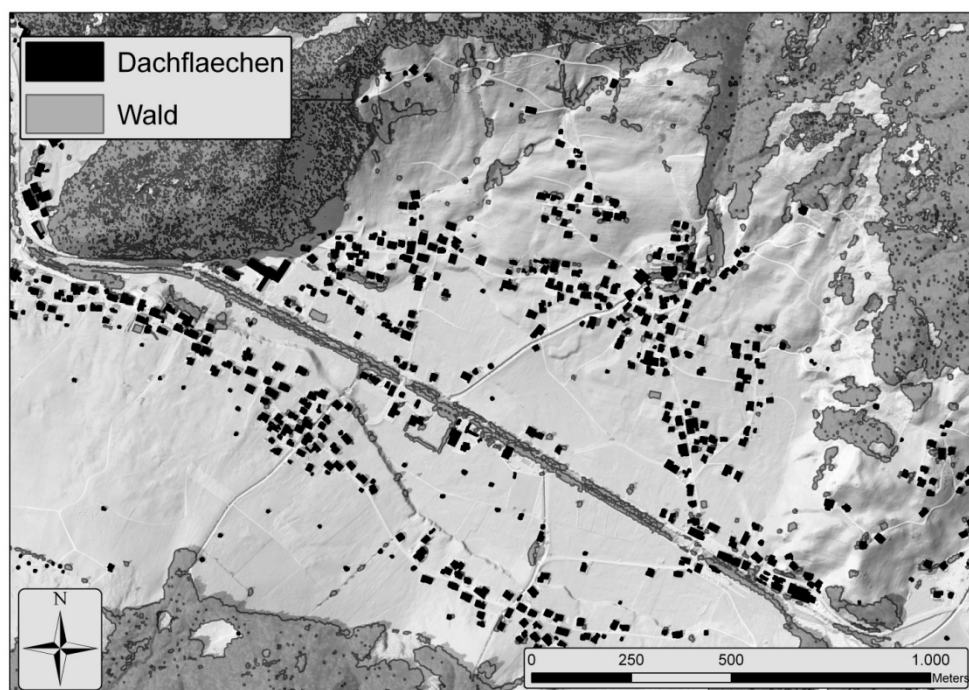


Abbildung 5: Detailausschnitt der Objektklassifikation für das Jahr 2001. In: Fritzmann et al., (2011)

4 Ergebnisse

4.1 Strukturanalysen der Waldflächen

Die Waldfläche inklusive detektierter Einzelbäume für das Untersuchungsgebiet Schoppernau und Au beträgt im Jahr 2001 insgesamt 31 km², wobei 97 % dieser Waldfläche (30 km²) innerhalb von Almflächen liegen.

Die Höhenverteilung der detektierten Waldflächen zeigt ein westösterreichisches Almbauerngebiet charakteristisches Bild (Abb. 6 und Abb. 7): Der geringen Waldbedeckung im besiedelten Talraum (im Untersuchungsgebiet ca. 30 %) folgen Höhenklassen mit verdichtetem Waldanteil, welche neben der forstwirtschaftlichen Nutzung zu großen Teilen eine Schutzfunktion als natürliche Abwehr gegenüber Naturgefahren besitzt. Dieser Bereich (zwischen ca. 1 000 m und ca. 1 800 m) wird oft als Bergwaldstufe bzw. montane Stufe bezeichnet (Veit 2002). Im unteren Bereich dieser

Höhenstufe (zwischen 1 000 m bis 1 200 m) erreicht der Wald den höchsten relativen Flächenanteil (über 60 %).

Mit zunehmender Höhe nimmt der Waldanteil kontinuierlich ab. Während die totalen Waldflächenangaben oberhalb von 1 200 m kaum einen Trend erkennen lassen (die Flächenwerte schwanken zwischen 4 und 3 km²) liefert das Verteilungsbild des relativen Waldanteils hier aufschlussreiche Ergebnisse. Die Höhenstufe um 1 700–1 800 m kann hier der subalpinen Stufe zugeordnet werden. Diese stellt ein Übergangsbereich zwischen montaner und alpiner Stufe dar und ist durch den Übergang von geschlossenen Waldflächen in stark aufgelockertes bzw. unbewaldetes Gebiet gekennzeichnet (auch „Waldgrenzökoton“ genannt). Die Abnahme der Waldfläche erfolgt zum einen durch klimatische Faktoren, zum anderen ist sie innerhalb der Alpen meist anthropogen bedingt. Häufig liegt die tatsächliche Baumgrenze niedriger als die potentielle, klimatische Waldgrenze bzw. Baumgrenze, da die höher gelegenen Flächen als Viehweiden almwirtschaftlich oder in Form von Skipisten für den Wintertourismus genutzt werden.

Oberhalb dieses Waldgrenzökotons (im Untersuchungsgebiet durchschnittlich bei 1 700–1 800 m) finden sich somit nur mehr vereinzelt, meist niedere Einzelbäume in lokalklimatischen Gunsträumen bzw. in Bereichen die von anthropogenen Nutzungen unerschlossen bleiben oder niederrwüchsige Strauchbestände (wie etwa Latschen und Zwergstraucharten). Darüber dominieren die alpine Rasengesellschaften, welche überwiegend als Sommerviehweiden werden.

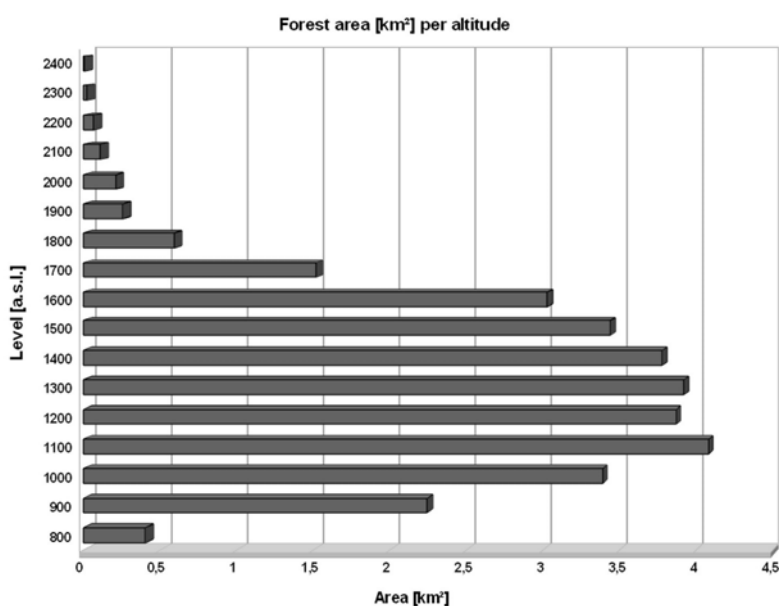


Abbildung 6: Absolute Waldflächen pro Höhenklasse. X-Achse: Waldfläche in km²; Y-Achse: Höhenklassen in 100m-Stufen (Höhenklasse 800 entspricht 800 m bis 899 m Höhenklasse, 900 entspricht 900 bis 999 m).

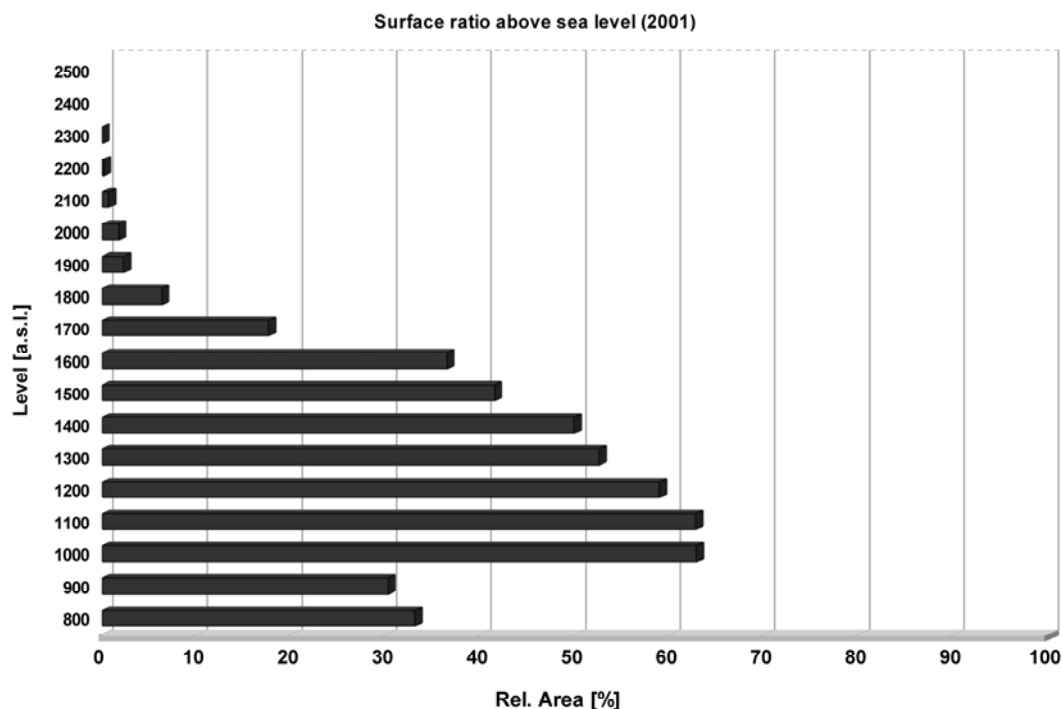


Abbildung 7: Relative Waldflächen pro Höhenklasse. X-Achse: Waldfläche in Prozent der Gesamtfläche der jeweiligen Höhenklasse; Y-Achse: Höhenklassen in 100 m-Stufen (Höhenklasse 800 entspricht 800 m bis 899 m, Höhenklasse 900 entspricht 900 bis 999 m).

4.2 Analyse der Siedlungsstruktur

Aufgrund der hochauflösenden Eingangsdaten konnten über das gesamte Untersuchungsgebiet die Anzahl der Einzelgebäude im Untersuchungsgebiet über die Anzahl der Dachflächen ermittelt werden. Insgesamt wurden 1474 Gebäude detektiert. Abbildung 8 zeigt die Anzahl der Gebäude und deren mittlere Dachfläche (MDF) pro 100 m-Höhenklasse. Der Hauptsiedlungsraum im Untersuchungsgebiet befindet sich im Bereich des Talbodens zwischen 800 m und 1 000 m. Hier wurde die höchste Gebäudeanzahl (1109 Gebäude = ca. 75 % der Gesamtgebäude) detektiert und die höchste MDF (200m²) verzeichnet. Dabei handelt es sich meist wohl um Wohngebäude sowie um Nutzgebäude (Holzverarbeitung, Lagerhallen, Supermärkte usw.), aber auch um kleinere Gebäude wie Schuppen, Garagen oder auch Heustadel mit deutlich kleineren Dachflächen. Entsprechend der relativ hohen Siedlungsdichte ist der Waldflächenanteil in 800–1 000 m sehr gering (ca. 30 %, siehe 4.1).

Oberhalb von 1 000 m reduziert sich die MDF von ca. 200 m² auf 87 m² und die Gebäudeanzahl verringert sich ebenso deutlich von 1 000 auf 100 Gebäude, was auf einen Nutzungsübergang schließen lässt. Dominieren in den Tallagen bis 1 000 m die Wohngebäude, werden diese oberhalb dieser Marke mehr und mehr von Gebäuden der Forst- und Landwirtschaft (Heustadel und kleinere Almen) mit deutlich geringeren MDF und damit auch geringeren Grundrissflächen abgelöst.

Die Siedlungsdichte nimmt ab 1 000 m bis 1 600 m kontinuierlich ab, während die MDF sich auf einem Niveau um 70 m² einpendelt was auf das Vorherrschen von forst- und almwirtschaftliche Nutzgebäuden wie Heustadel hindeutet.

Unterbrochen wird dieser Trend in 1700 m, wo die Anzahl der Gebäude, sowie deren MDF nochmals deutlich zunehmen. In dieser bereits sehr gering bewaldeten Höhe (unter 20 %) konnten die Hochalmen und auch die Liftstationen erkannt werden, welche deutlich höhere Grundrisswerte als Stadel aufweisen. Oberhalb 1700 m entsprechen die MDF und die Gebäudeanzahl wieder dem vorherigen Wertenniveau.

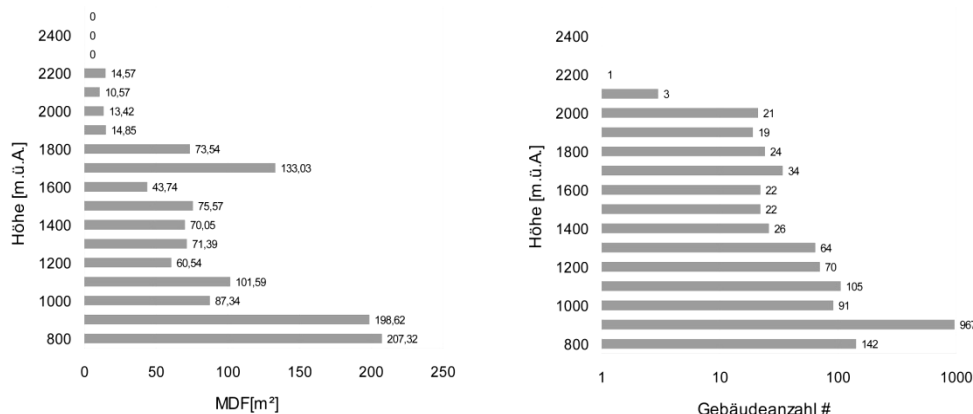


Abbildung 8: Anzahl der Gebäude (rechts) und deren mittlere Dachfläche (links) pro 100m-Höhenstufe (Höhenklasse 800 entspricht 800 m bis 899 m, Höhenklasse 900 entspricht 900 bis 999 m) im gesamten Untersuchungsgebiet Schoppernau und Au im Jahr 2001. In: Fritzmann et al. (2011)

4.3 Veränderungsanalysen

Für die Veränderungsanalysen wurden teilautomatisiert klassifizierte Waldflächen und händisch digitalisierte Dachflächen aus dem Orthophoto aus dem Jahr 1950 verwendet.

4.3.1 Veränderung der Waldflächen (Zeitraum 1950–2001)

Da ein automatisiertes Klassifikationsverfahren der 1950er Waldflächen aufgrund der Qualität der Eingangsdaten (Graustufen-Orthophotos) nur in Teilbereichen realisierbar war beschränkt sich die Veränderungsanalyse der Waldflächen nur auf einen Ausschnitt des Untersuchungsgebiets.

Die Ergebnisse dieser Veränderungsanalyse sind in Abbildung 9 dargestellt. Generell ist eine deutliche Zunahmen der Waldfläche über das gesamte Testgebiet feststellbar.

In der Höheklasse 1000 m kam es zwischen den Jahren 1950 und 2001 etwa zu einer Verdopplung der Waldfläche, während es in den Höhenklassen 1100–1300 m zu einer Zunahme von ca. 30 % kam. Diese Entwicklung deutet auf einen Nutzungswandel, weg von überwiegender alm- bzw. weidewirtschaftlichen Nutzung zu einer forstlichen bzw. auf Gefahrenschutz ausgerichteten Bewirtschaftung hin. Ein Blick auf das Höhenniveau 1600 m in Abbildung 9 zeigt eine Waldflächenzunahme von ca. 30 %. Diese Entwicklung lässt vermuten, dass sich aufgrund eines veränderten, tendenziell wärmeren Klimas und somit längeren Wachstumsphasen die Wald- bzw. Baumgrenze nach oben verschoben hat und bereits bestehende lokale Einzelbaumgruppen weiter ausgedehnt. Diese Entwicklung könnte aber auch durch eine Nutzungsänderung resultieren.

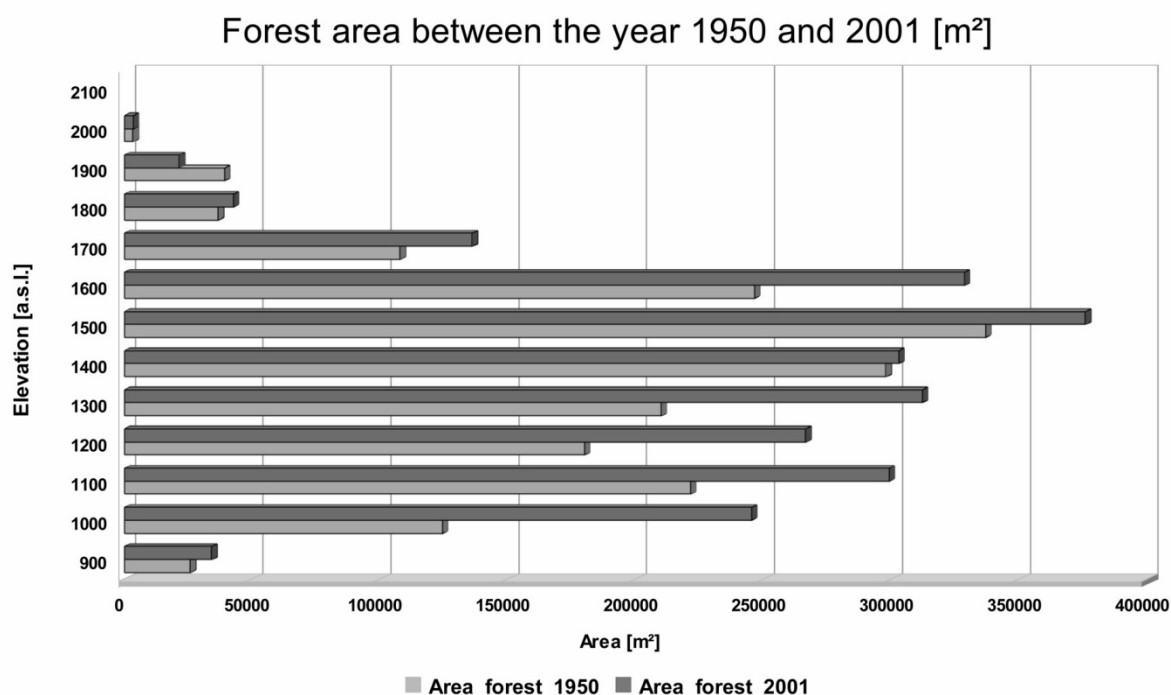


Abbildung 9: Waldflächenänderung zwischen den Jahren 1950 und 2001. X-Achse: Waldfläche in m²; Y-Achse: Höhenklassen in 100m-Schritten; Dunkelgrauer Balken: Waldfläche pro Höhenklasse im Jahr 1950; Hellgrauer Balken: Waldfläche pro Höhenklasse im Jahr 2001.

4.3.2 Veränderungen im Siedlungsraum (Zeitraum 1950–2001)

Die händisch digitalisierten Dachflächen aus dem Jahr 1950 und die automatisch detektierten Dachflächen des Jahres 2001 wurden benutzt um eine Veränderungsanalyse des Siedlungsraums durchzuführen. Hierbei wurden die Dachflächen verwendet um für den jeweiligen Zeitpunkt die bebaute Fläche (in m²) pro Hektar zu berechnen. Die daraus gebildete Differenz zeigt die in Abbildung 10 dargestellte Veränderung der bebauten Fläche pro Hektar.

Besonders auffällig hierbei ist die Zunahme der bebauten Fläche im Talbereich und eine Abnahme in höher gelegenen Regionen des Untersuchungsgebiets. Diese Entwicklung deutet auf einen Nutzungswandel hin: Während das Untersuchungsgebiet in den 1950er Jahren noch stark almwirtschaftlich geprägt ist, führt das zunehmende Auflösen der Almflächen in den Folgejahrzehnten zum Rückgang der Almen und Wirtschaftsgebäude. Die beschriebene Waldflächenzunahme im vorherigen Kapitel unterstützt diese Annahme. Dem gegenüber steht die starke Siedlungsverdichtung im Talbereich. Hierbei ist es nicht allein die steigende Anzahl der Gebäude sondern häufig auch die Vergrößerung des jeweiligen Gebäudes welcher die Zunahmen verursacht.

Es lassen sich aber auch Neubauten in höher gelegenen Bereichen feststellen. Oftmals handelt es sich hierbei um touristische Gebäude wie Liftstationen und Restaurants. Vereinzelt resultieren diese Zunahmen aber auch von einem Wandlungsprozess in der Almwirtschaft. Berchtel (1990) beschreibt, dass die klassische Dreistufenwirtschaft vielerorts einer Zweistufenwirtschaft gewichen ist. Hierbei werden die Maisäßen nichtmehr genutzt, sondern die Weideflächen in den Tallagen länger beweidet worauf der Almauftrieb anschließend direkt auf die Hochalmen erfolgt.

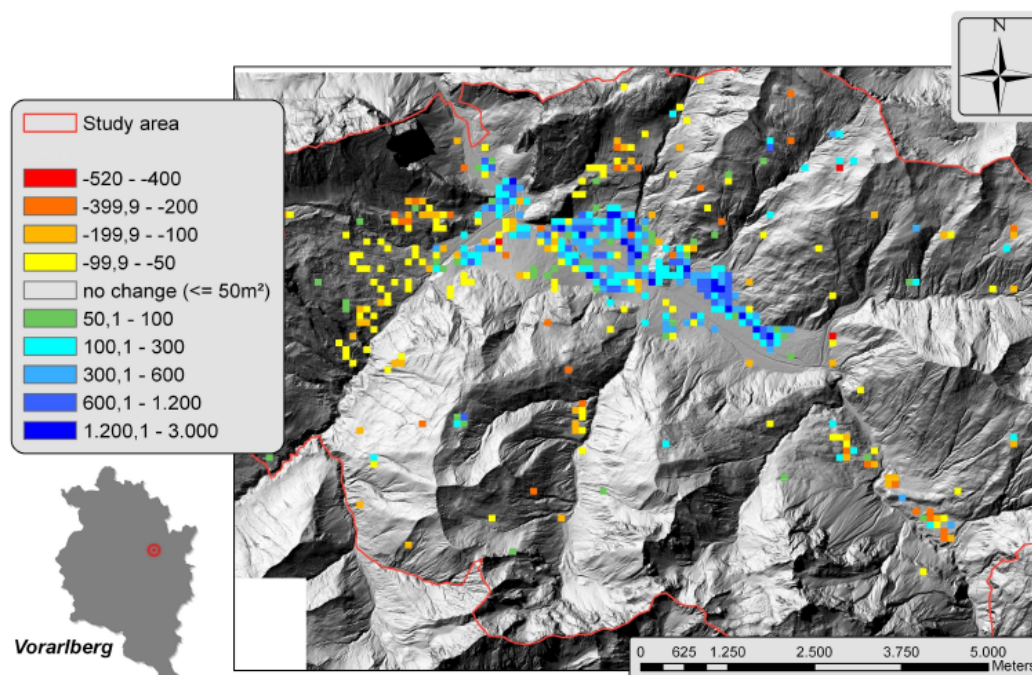


Abbildung 10: Veränderung der bebauten Fläche [in m²] pro Hektar zwischen den Jahren 1950 und 2001.

5 Schlussfolgerung

Um Informationslücken zu kompensieren kommen heutzutage vermehrt fernerkundlich erhobene Daten und Informationsmethoden zum Einsatz. Diese Methoden können aufgrund der Geländegegebenheiten in den Alpen häufig nur eingeschränkt eingesetzt werden. Die Ergebnisse der vorangestellten Untersuchungen zeigen jedoch, dass durch Kombination von optisch hochaufgelösten Orthophotos und ALS-basierten Geländeinformationen Schwachstellen in der Klassifikation von alpinen Siedlungs- und Waldbereichen weitgehend behoben und Synergien genutzt werden können.

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass moderne Fernerkundungsmethoden und vor allem die kombinierte Auswertung der Informationsprodukte die Möglichkeit bieten verschiedene Objekte und daraus abgeleitete Informationen flächendeckend und archivierbar zu erfassen, welche bei verschiedenen forst-(wirtschaftlichen) und raumplanerischen Fragestellungen genutzt werden können.

Aufgrund der hohen Datenqualität, in Bezug sowohl auf die Flächenkorrektheit als auch auf deren Vollständigkeit und hohen Detaillierungsgrad, sind damit nicht nur qualitative Aussagen über alpine Strukturen und Wandlungsprozesse möglich, sondern diese auch quantitativ erfassbar.

6 Danksagung

Die Autoren möchten sich bei dem Amt der Vorarlberger Landesregierung (VoGIS) für die umfangreiche Datenbereitstellung bedanken.

7 Literatur

- Albertz (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Briese et al. (2001): Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laserscanner. Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche in Obergurgl. Instituts-Mitteilungen 19, Institut für Geodäsie der Universität Innsbruck (Hrsg.)
- Bätzing, W. (1991): Die Alpen: Entstehung und Gefährdung einer europäischen Kulturlandschaft. München.
- Berchtel R. (1990) Alpwirtschaft im Bregenzerwald. Innsbrucker Geographische Studien, Band 18. Selbstverlag des Institutes für Geographie der Universität Innsbruck.
- Fritzmann, P., Bremer, M. & Rutzinger, M. (2011): Detektion von Waldflächen und Siedlungsstrukturen im alpinen Raum mittels kombinierter Fernerkundungstechnologien, In AGIT Symposium und Fachmesse angewandte Geoinformatik. Salzburg.
- Geist, T., Höfle, B., Rutzinger, M., Pfeifer, N. & Stötter, J. (2009): Laser Scanning - a paradigm change in topographic data acquisition for natural hazard management. In Sustainable Natural Hazard Management in Alpine Environments. In: Veulliet, E., Stötter, J. & Weck-Hannemann, H., Springer.
- Groier, M. (1990): Die 3-Stufenwirtschaft in Vorarlberg. Entwicklungen – Bedeutung – Perspektiven. Wien.
- Möller und Blaschke (2006): GIS-gestützte Bildanalyse der städtischen Vegetation als Indikator urbaner Lebensqualität. Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation 10(1).
- Lang und Blaschke (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. UTB Lehrbuchreihe, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Veit (2002): Die Alpen; Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.