

# **Satellitengestützte Almbewertung – Potentiale und Risiken alpiner Weideflächen**

Thomas GUGGENBERGER, Albin BLASCHKA

## **Zusammenfassung**

Seit dem Jahr 1952 haben sich die Almflächen in Österreich von 1,7 Mio. ha auf 1,0 Mio. ha um 41 % reduziert. Im Sinne gesellschaftlicher Ziele ist dieser Trend zu stoppen. Dafür werden Instrumente benötigt, die den beteiligten Behörden Entscheidungs- und Planungsgrundlagen liefern. Die vorgestellte Arbeit, Teilergebnis des INTERREG IIIB Projektes Alpinet Gheep, zeigt die Einbettung eines bereits vorhandenen, naturwissenschaftlichen Almbewertungsmodells in das breite Funktionsspektrum der Geoinformatik. Die notwendige Landbedeckungsanalyse wurde mit Methoden der Fernerkundung unter Verwendung eines SPOT 5 HRG – Satellitenbildes durchgeführt. Für die Entwicklung zukünftiger Beweidungsszenarien ist eine umfassende Analyse der gefährdeten Bereiche notwendig. Almflächen sind dann gefährdet, wenn sie unterhalb der Waldgrenze nicht mehr ausreichend genutzt werden oder wenn sich die klimatischen Standortbedingungen in höheren Lagen, in Folge einer Klimaerwärmung, ändern. Speziell der Modellierung der Waldgrenze und deren Veränderungsvektoren wurde große Aufmerksamkeit gewidmet. Um den Verlust der an Fauna und Flora wertvollen Almweiden zu verhindern wurden drei Szenarien entwickelt. Das realistisch umsetzbare Schutzszenario fordert eine Verdoppelung der Schafbestände in der Untersuchungsregion der Schladminger Tauern und des Dachsteinplateaus.

## **1 Ausgangslage und Ziele**

### **1.1 Historie und zukünftige Bedeutung der Almwirtschaft**

Almen werden, wenn nicht multifunktional genutzt, als erstes nicht mehr bewirtschaftet und sind deshalb im Berggebiet einer der am stärksten gefährdeten Lebensräume. Ihre Fläche sinkt seit 1952 stetig, von ursprünglich 1,7 Mio. ha auf derzeit etwa 1 Mio. ha. Durch die Betriebsaufgaben in den Tälern fehlen immer mehr landwirtschaftliche Nutztiere, welche zur Sommerweide auf den Almen benötigt werden. Während im Berggebiet wertvolle landwirtschaftliche Kulturflächen verloren gehen, steigt weltweit die Nachfrage nach hochwertigen Lebensmitteln, die auf diesen Flächen produziert werden könnten. Im Zeitraum 1960 bis 2060 steigt die Weltbevölkerung nach Zukunftsprognosen um den Faktor 3,3 (UNO, 2007). Zugleich sinkt aber die weltweite Energieversorgung, das Erdöl neigt sich in Mengen und Einsatzfähigkeit (Klimawandel) dem Ende zu. Der Energiesektor wird in Zukunft vermehrt auf landwirtschaftliche Flächen zurückgreifen. Unter diesen Rahmenbedingungen steigen die Chancen auf eine Revitalisierung der Land- und Almwirtschaft im Berggebiet. Steigende Erlöse aus der Lebensmittelproduktion und neue Förderungsmaßnahmen im Bereich der gemeinsamen Agrarpolitik der EU machen aus Grenzertragsstandorten langsam wieder Produktionsstandorte.

## 1.2 Kernfragen und Ziele

Die Planung der zukünftigen Almwirtschaft ist mit zwei unbekanntem Größen behaftet. Dies sind die Informationslücken über die Lage- und Leistungsfähigkeit der verbliebenen Almflächen und die Auswirkung einer Klimaerwärmung auf die ökologische Struktur der Alm. LOIBL et al. (2007) rechnen für den österreichischen Alpenraum mit einer Erwärmung von +2.2 °C bis zum Jahr 2050. Vor allem die beschleunigte Ausbreitung des Waldes wird in Folge zu einem Problem für die Almwirtschaft. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Geoinformationssystems (GIS) zur aktiven, großräumigen Planung der Weidewirtschaft in den Almregionen. Das System soll einfach zu bedienen sein und mit Daten aus großflächigen Analysen arbeiten. Für die Umsetzung der Zieldefinition ist ein interdisziplinärer Ansatz notwendig, der am LFZ Raumberg-Gumpenstein verfolgt wird. Die Problemanalyse führt zu den nachfolgend ausgeführten Teilfragen.

### 1.2.1 Landbedeckung und deren Eignung als Viehweide

Die Landbedeckungsanalyse des Projektes baut auf der Auswertung eines SPOT 5 HRG – Satellitenbildes des Joanneum Research, Graz, auf. Dieses Bild wurde in der mittleren Vegetationsperiode des Jahres 2003 für das Untersuchungsgebiet aufgenommen. Die einzelnen Landbedeckungsklassen werden über die spektralen Reflexionen auf den 4 Kanälen unterschieden. Für die Klassifikation des Bildes wurden zwei unterschiedliche, voneinander unabhängige Ansätze gewählt. Die Bedürfnisse der Tiere werden über die Almbewertung abgebildet. Diese weist den einzelnen Landbedeckungsklassen Ertragsfähigkeit und Nährstoffgehalte zu. Neben diesen Fragen des Futters stehen für die landwirtschaftlichen Nutztiere aber noch weitere Aspekte wie die Wasserverfügbarkeit oder die Geländeeignung im Raum. Im Untersuchungsgebiet kann die Almwirtschaft vor allem mit Rind, Schaf und Ziege umgesetzt werden. Es ist darüber hinaus aber auch darauf zu achten, dass ausreichende Flächen für die hochalpinen Wildtiere frei bleiben. Rinder werden vor allem auf den derzeit bestehenden Almen in den kleinen Nebentälern des Ennstales gehalten. Schafe und Ziegen könnten die hochalpinen Rücken und Kare nutzen. Gerade diese Gebiete sind von einer drohenden Sukzession betroffen.

### 1.2.2 Gefährdungsgrad verbliebener Almweiden und Gegenmaßnahmen

Die thermische Waldgrenze im Untersuchungsgebiet liegt nach SCHAUMBERGER et al., 2006 bei 1.970 Meter Seehöhe. Weltweite Untersuchungen zeigen, dass vor allem die Temperatur der limitierende Faktor für die Ausbreitung des Waldes ist (GRACE et al., 2002; HERMES, 1955; KÖRNER UND PAULSEN, 2004). Eine allfällige Erwärmung der Jahresmitteltemperatur wird also mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem Ansteigen der Waldgrenze führen. Da über die Ausbreitungsgeschwindigkeit keine gesicherten Angaben vorliegen, unterstützten Andrea Hagn und Julia Knechtel, Paris Lodron-Universität Salzburg, dieses Projekt im Rahmen ihrer Diplomarbeiten (HAGN, 2008). Erhebungen von Lage und Alter der Einzelbäume im Übergang von Wald zu Weide (Waldökoton) führt zu einem Alters-Höhen-Gradienten, der in die Zukunft projiziert werden kann. Nicht genutzte Flächen unterhalb einer zukünftigen Waldgrenze sind als gefährdet zu betrachten. Diese Bereiche sind nach Möglichkeit mit landwirtschaftlichen Nutztieren zu beweiden. Welche Tierart und welche Herdengrößen benötigt werden, hängt von den gewählten Szenarien ab.

Fragestellung		Lösungsansatz
Wo liegen Almen, welche Vegetation herrscht vor?		Überwachte Klassifikation eines Satellitenbildes
Wie können die Almen von landwirtschaftlichen Tieren verwertet werden?		Implementierung eines Almbewertungsmodelles als Softwarepaket
Welche Almgebiete sind durch die Sukzession gefährdet?		Bestimmung der Waldgrenze und deren zukünftige Entwicklung
Welche Maßnahmen können ergriffen werden?		Verschiedene Beweidungsszenarien

Abb. 1.: Teilfragen und Lösungsstrategie

### 1.2.3 Technische Umsetzung

Der Arbeitsprozess dieses Projektes ist komplex und soll nicht auf den Einzelfall des Projektes beschränkt bleiben. Aus diesem Grunde wurde große Anstrengung in die Implementierung des Bewertungsmodells in eine unabhängige Software investiert. In der Entwicklungsumgebung von Visual Studio 2008 wurde mit der Programmiersprache C# und den GIS-Bibliotheken von ESRI ArcObjects 9.3 das Programm EneAlp 1.0 beta entwickelt. Dieses steht kostenlos auf der Website des LFZ-Raumberg-Gumpenstein zum Download bereit. In der praktischen Umsetzung reduziert sich so der Aufwand einer Analyse auf die die Klassifikation eines lokalen Satellitenbildes und die Benutzung der Software EneAlp.

## 2 Untersuchungsgebiet und Methodik

### 2.1 Das Untersuchungsgebiet

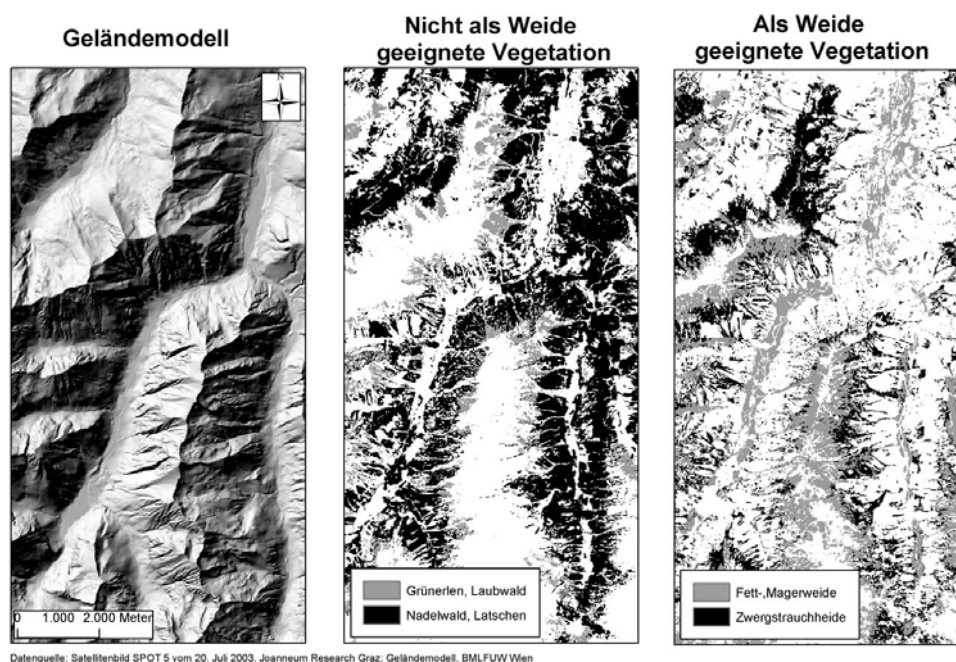
Das Untersuchungsgebiet Schladminger Tauern liegt im südwestlichen Teil des Bezirkes Liezen (Bundesland Steiermark, Österreich, Geozentrum: 13° 53' O, 47°22' N), südlich der Enns zwischen Schladming und Irnding. Die Südgrenze wird durch den Kamm der Niederen Tauern gebildet. Die Almen im nördlichen Bereich des Ennstales befinden sich am Rand des Dachsteinplateaus. Derzeit werden rund 3.700 Großvieheinheiten (GVE) an Weidevieh auf die Almen getrieben, davon sind 85 % Rinder und 11 % Schafe. Die restlichen 4 % verteilen sich auf Ziegen und Pferde. In Bezug auf die Almfutterflächen beträgt der durchschnittliche Weideviehbesatz 0,88 GVE/ha (+/- 0,4 GVE).

### 2.2 Landbedeckungsanalyse

Die Landbedeckung der Schladminger Tauern wurde aus einem Satellitenbild des französischen Satelliten SPOT 5 HRG abgeleitet. Das Bild wurde am 20. Juli 2003 im HI-Modus (Multi-spektrale Information auf 4 Kanälen mit einer Bodenauflösung von 10 Me-

ter/Pixel) und im THR-Modus (Panchromatischer Kanal mit einer Bodenauflösung von 2,5 Meter/Pixel) aufgenommen. Die Vorverarbeitung des Satellitenbildes wurde am Joanneum Research, Graz durchgeführt. Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Forstw. Dr. Mathias Schardt und Frau Dr. Manuela Hirschmugl sei an dieser Stelle für die freundliche Unterstützung gedankt. Im Rahmen der Bildvorbereitung wurden die multispektralen Kanäle mit dem panchromatischen Kanal nach dem Verfahren der Bovey - Transformation verbunden. (HILL et al., 2007). In Folge wurde das Bild an das geodätische Referenzsystem der anderen im Projekt verwendeten Daten angepasst (Orthorektifizierung) (HABERÄCKER, 1995; JENSEN, 1995). Für die radiometrische Korrektur der Illumination wurde eine parametrische Minnaert-Korrektur verwendet (LAW und NICHOL, 2004).

Die Segmentierung des Satellitenbildes in die Klassen Nadelwald, Latschen, Laubwald, Grünerlen, Zwergsträucher, Fettweiden, Magerweiden, Wasser, Schnee, Gletscher und vegetationsfreie Gebiete wurde im Rahmen einer überwachten Klassifikation mit der Software Erdas Imagine durchgeführt. Für die Ermittlung der dafür notwendigen Testflächen und die Validierung der Ergebnisse wurden zwei unabhängige Untersuchungen durchgeführt. Spezielle botanische Erhebungen nach BRAUN-BLANQUET (1928) wurden auf 21 Almen durchgeführt. BLASCHKA und KICKINGER (2007) führten die dabei erhobenen Pflanzengesellschaften zu Strukturtypen zusammen, die das biologische Wachstum repräsentieren. Zusätzlich wurde im Sommer 2006 eine Feldbegehung durchgeführt, in der über 200 allgemeine Testflächen angelegt wurden. Diese dienten der überwachten Klassifikation, während die Testflächen der botanischen Erhebung zur Validierung verwendet wurden.



**Abb. 2:** Die wichtigsten Vegetationsklassen und ihre Eignung als Weide

## 2.3 Almbewertungsmodell

Die Almbewertung beruht auf einem Modell von EGGER et al. (2003). Die wesentlichen Arbeitsschritte wurden beibehalten, allerdings erfolgt eine Anpassung der Ausgangsklassen der Landbedeckung an die Ergebnisse der Satellitenbildklassifikation. Die Ertrags- und Nährstoffschätzung wird zum Teil über die Funktionen der Originalarbeit geführt, ein schematischer Überblick findet sich in Abbildung 3. Die Klasse der Magerweiden wurde aber über eigene Funktionen aus dem Datenmaterial eines räumlich naheliegenden Eichmodells bewertet (GRUBER et al., 1998). Neben dieser quantitativen Bewertung spielt auch die qualitative Beurteilung eine große Rolle. Diese wird über die lokale Beurteilung (inverses Schulnotensystem 1 – 5) der Hangneigung, Wasserversorgung und Futtermittelverfügbarkeit geführt. Eine gewichtete Gesamtnote beschreibt abschließend für welche Tierart eine Weidefläche geeignet ist, die Potentialschätzung gibt an, wie viele Tiere diese Weide nutzen können.

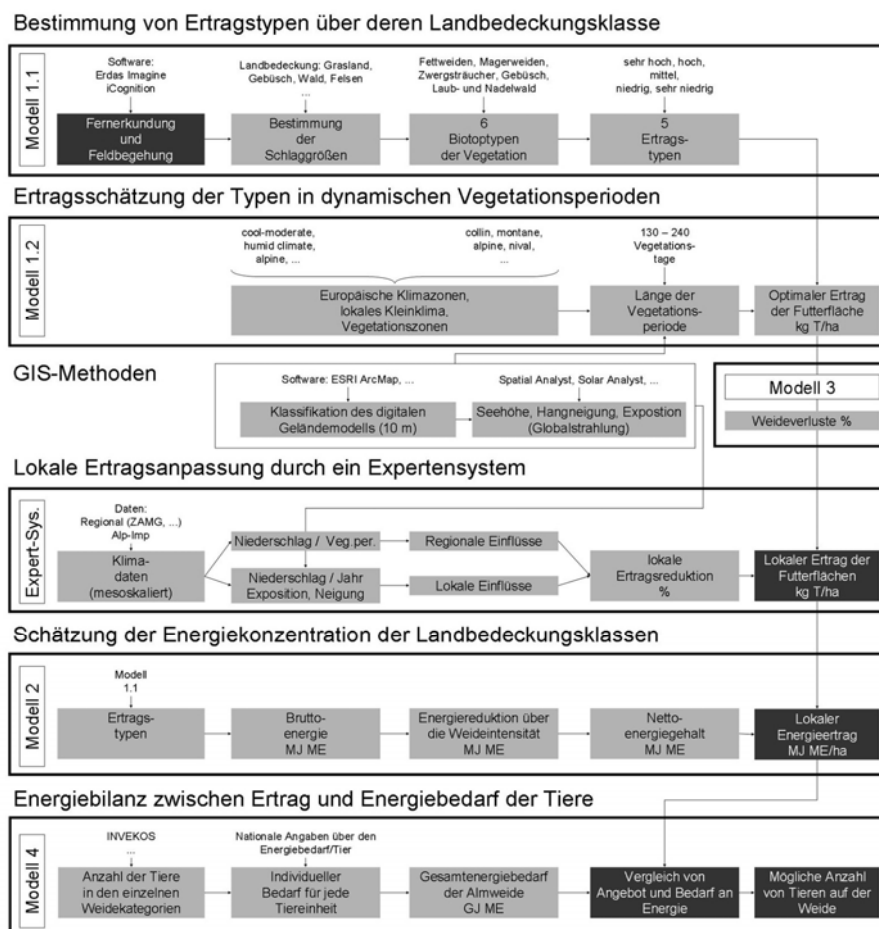
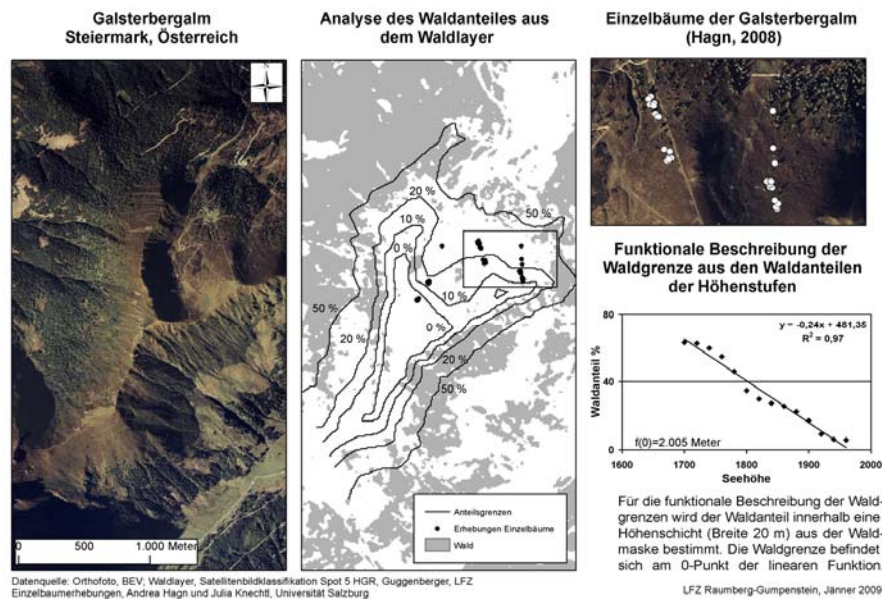


Abb. 3: Almbewertungsmodell erweitert aus EGGER et al. (2003)

## 2.4 Lage der besonders gefährdeten Gebiete

Die Lage der gefährdeten Gebiete orientiert sich an der Waldgrenze und deren zukünftiger Entwicklung. Die Waldgrenze kann rechnerisch aus Temperaturdaten oder empirisch aus der Landbedeckung gewonnen werden. Beide Ansätze wurden im Untersuchungsgebiet erprobt und eine starke Ähnlichkeit der Ergebnisse festgestellt. Die temperaturbedingte Methode greift auf das Methodenkonzept der Georegression zurück, die empirische Festlegung auf die Ergebnisse der Satellitenbildklassifikation. Am Übergang von Wald und Zwergsträuchern fällt in der Vegetation ein interessantes Muster auf. Selten bildet sich eine waagrechte Linie, vielmehr findet sich ein zackiger Verlauf. Dieser zeigt vor allem in den Gräben und Lawenstrichen baumfreie Stellen. An Graten und Übergängen reicht dafür der Wald öfters weit über die gedachte horizontale Linie der Baumgrenze. Die nach oben ausgeprägten Zacken werden auch durch Baumgruppen des Waldökotons gebildet. Wir haben es im Falle der Baumgrenze also nicht mit der scharfen Kante einer Klassengrenze zu tun, sondern mit einem stetigen Übergang. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit steigender Höhe der Anteil des Waldes entlang einer Höhenlinie abnimmt. Folgende Hypothese kann erstellt werden: An jenem Punkt der X-Achse, an dem eine polynomiale Regressionskurve höheren Grades, die aus mehreren Höhenschichten (Abstand 20 Meter) abgeleitet wurde, auf der Y-Achse gegen 0 strebt oder jene Stelle, in der diese Kurve einen Wendepunkt aufweist, liegt die Waldgrenze. Der Alters-Höhen-Gradient innerhalb des Waldökotons kann über den Zusammenhang von Seehöhe und Alter der Bäume bestimmt werden.



**Abb. 4:** Bestimmung der Waldgrenze aus der Landbedeckungskarte

### 3 Szenarien

Das Ausmaß möglicher Potentiale bzw. Risikoflächen in der Almregion ist immer mit der tatsächlichen Nutzungsintensität verbunden. Nur wenn für geplante Szenarien auch die notwendigen Tierherden verfügbar sind, kann an eine praktische Umsetzung gedacht werden. Andererseits ist es die Aufgabe von Forschungsprojekten zukünftige Szenarien zu entwickeln. Diese sollen die Verantwortlichen zu aktiven Maßnahmen ermutigen. Für die Beweidung der Almregion werden deshalb drei Vorschläge gemacht, deren Umsetzung aber auch einer Veränderung der Tierhaltung im Alpenraum bedarf.

- Nutzungsszenario: Das volle Potential aller Fett- und Magerweiden sowie der Zwergsträucher werden genutzt.
- Begrenzungsszenario: Alle theoretisch nutzbaren Landnutzungsklassen (Fettweide, Magerweide, Zwergsträucher) unterhalb einer zukünftigen Waldgrenze (z.B.: 2000 Meter) werden genutzt.
- Schutzszenario: Es werden nur Fett- und Magerweiden unabhängig ihrer Lage aktiv genutzt. Voraussetzung ist deren qualitative Eignung als Schafweide. Der Wald kann sich in innerhalb der Zwergsträucher ausbreiten.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Landbedeckung des Untersuchungsgebietes

Die Ergebnisse der Landbedeckung wurden in den 13 westlichen Gemeinden des steirischen Ennstales zwischen der Salzburger Landesgrenze und der Gemeinde Öblarn erhoben. Die Gesamtfläche dieser Gemeinden beträgt 87.763 ha, der Kulturräum der Region beträgt etwa  $\frac{1}{4}$  der Gesamtfläche und ist auf den Talboden des Haupttales und der Nebentäler beschränkt. Die restliche Fläche ab einer Seehöhe von 1.250 Meter wird mit 44 % vom Wald dominiert. Die Summe der potentiellen Weideflächen beträgt 35 %, die optisch so dominante Felsregion beträgt knapp 20 %. Die ertragsbildenden Klassen sind nicht gleichmäßig verteilt: Fettweiden bilden nur 2,3 % der ertragsfähigen Fläche, Magerweiden 52,2% und Zwergstrauchheiden 45,5%. Als ergänzendes Ergebnis wird die Landbedeckung in die Dimension der Höhe aufgespannt. In 5 Klassen mit unterschiedlicher Klassenbreite wird das Hauptgebiet der einzelnen Vegetationsklasse entlang des Höhengradienten dargestellt. Es zeigt sich, dass die Fettweiden nur in den klassischen Almgebieten vorkommen. Die Magerweiden beginnen ab einer Höhe von 1.850 Meter, dazwischen liegen vor allem Laub- und Nadelwald. An dessen oberer Grenze schließen Grünerlengürtel und Zwergsträucher an. Schnee, Gletscher und andere vegetationsfreie Flächen finden sich vor allem ab 2.250 Meter Seehöhe.

Die Genauigkeit der Ergebnisse wurde geprüft, der Kappa-Wert der Hauptklassen liegt bei 0,89. Bei der Trennung der sehr nahe liegenden Klassen der Fett- und Magerweiden beträgt die Übereinstimmung nur rund 66 %. Tendenziell wird die Klasse der Fettweiden unterbewertet. Allfällige Fehler wirken sich nicht dramatisch aus, da in 92 % aller Kontrollpunkte der Ertragsklassen nur eine Verschiebung in die nächste Klasse festgestellt wurde.

## 4.2 Eignung der Almen

Die Ergebnisse der Landbedeckungsanalyse wurden in die Eignungsklassen Niedrig, Mittel und Hoch übertragen. Zur Grundlage zur Festlegung der Klassifikationsgrenzen dient das gewichtete Ergebnis der Qualitätsbeurteilung in Punkten. Die Breite der einzelnen Klassen hängt von den Bedürfnissen der Nutztiere ab. Hier wurde vor allem die Futterqualität als Parameter herangezogen. Die Weidenutzung durch Rinder kann nur unter besten Bedingungen in einem schmalen Bereich durchgeführt werden. Schafe und Ziegen nutzen das anschließende, breitere Segment. Der Rest steht Wildtierarten zur Verfügung.

**Tabelle 1:** Eignung der Almweiden im Untersuchungsgebiet

Parameter	Eignung		
	Niedrig	Mittel	Hoch
Definition			
Qualitätsbereich	0 - 3,25	3,25 - 4,25	4,25 - 5,00
Verteilung	2,4 ± 0,6	3,6 ± 0,27	4,5 ± 0,25
Eignung			
Tierart	Wildtiere	Schafe/Ziegen	Rinder
Botanische Verteilung %			
Fettweiden	-	2,3	15,6
Magerweiden	37,7	63,3	83,3
Zwergsträucher	63,3	34,2	1,1

## 4.3 Klimaerwärmung und Waldentwicklung

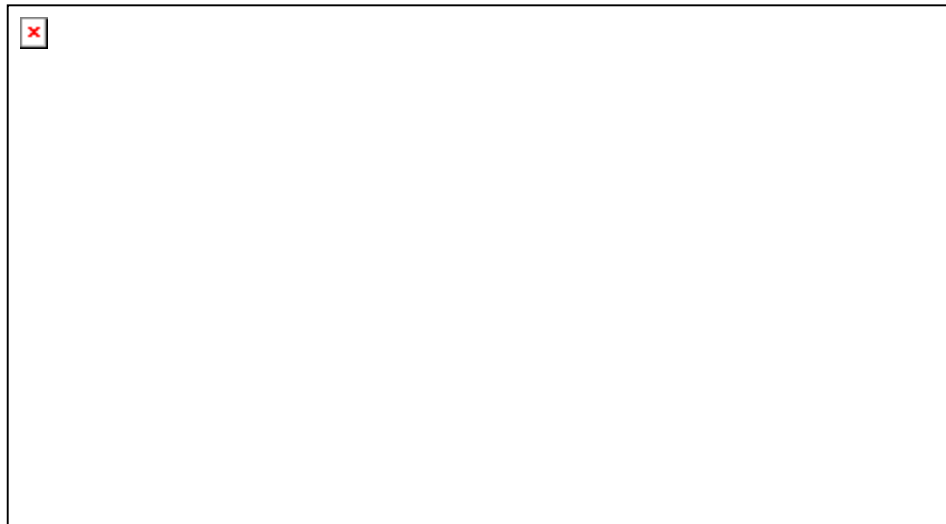
Die thermische Waldgrenze liegt nach SCHAUMBERGER et al. (2006) bei 1.970 Meter Seehöhe. Durch die empirische Untersuchung der tatsächlichen Waldgrenze über die Landbedeckung wurde ein Wert von 1.960 Meter festgestellt. Für die Bestimmung des Alters-Höhen-Gradienten wurde eine Entwicklungsgeschwindigkeit von 100 Meter Seehöhe pro 40 Jahre berechnet. Im Jahre 2040 (Ende des Prognosezeitraumes LOIBL et al. 2007) wird somit die thermische Waldgrenze über 2.400 Meter Seehöhe, die tatsächliche Waldgrenze etwa bei 2.040 Meter liegen.

## 4.4 Handlungsempfehlungen

Die meisten Almen des Untersuchungsgebietes sind in ihrer Eignung als Mittel einzustufen und deshalb für Schaf und Ziege besonders geeignet. Aus dem Nährstoffangebot dieser Almen und dem Bedarf der Tiere während einer Weideperiode kann die Größe einer theoretisch notwendigen Herde berechnet werden. Da die ermittelten Zahlen das lokale Potential an Tieren bei weitem überschreiten, wird für die praktische Beweidung eine dreijährige Rotation empfohlen, die dem Ziel der Offenhaltung der Kulturlandschaft genügen würde. Abbildung 5 zeigt für das Schutzszenario die notwendige Anzahl an Schafen bzw. die zu



beweidende Fläche. Im zumindest anzustrebenden Schutzszenario sind die betroffenen Weideregionen mit 5.800 zusätzlichen Schafen zu beweiden. Dies kann nur durch eine Verdoppelung der Schafbestände in der Region erreicht werden.



**Abb. 5:** Vergleich der maximal möglichen Weidefläche mit der im Schutzszenario empfohlenen Beweidungsstrategie

Praktisch soll diese Beweidung in geschlossenen Herden mit rund 700 Schafen, die von Schäfern und deren Hunden begleitet werden, umgesetzt werden. Als erstes Ergebnis dieser Arbeit wurde bereits im Sommer 2008 eine derartige Herde im Rahmen eines lokalen Leader-Projektes auf den Hauser Kaibling, Ennstal aufgetrieben. Neben den positiven Effekten für den regionalen Tourismus können bereits erste Erfolge im Sinne der Almerhaltung vermeldet werden. Im Rahmen einer nationalen Fachveranstaltung wurden das Thema und die getroffenen Handlungsempfehlungen breit diskutiert, weitere Aktivitäten sind geplant (GUGGENBERGER, 2008).

## Literatur

Blaschka, A. & Kickingner, S.: Fieldwork and classification of vegetation data as basis for remote sensing. 2006, Internal Meeting of the INTERREG IIIB Alpine Space Project AlpiNet GHEEP, Udine.

BRAUN BLANQUET, J. (1928), Pflanzensoziologische Grundzüge der Vegetationskunde. In Biologische Studienbücher (W. Schönicher, ed.), Vol. 7. 330 ff. Springer, Berlin.

- CAMPBELL, J. B. (2006), Introduction to Remote Sensing, Guilford Press, 626 S.
- EGGER, G., ANGERMANN, K., AIGNER, S. und BUCHGRABER, K. (2003), GIS-gestütztes Almbewertungsmodell. Umweltbüro Klagenfurt, Klagenfurt.
- GRACE, J., BERNINGER, F. & NAGY, L. (2002), Impacts of Climate Change on the Tree Line. *Annals of Botany* (90), S. 537-544.
- GRUBER, L., GUGGENBERGER, T., STEINWIDDER, A., SCHAUER, A., HÄUSLER, J., STEINWENDER, R. & SOBOTIK, M. (1998), Ertrag und Futterqualität von Almfutter des Höhenprofils Johnsbach in Abhängigkeit von Standortfaktoren. In "4. Alpenländisches Expertenforum - Zeitgemäße Almbewirtschaftung sowie Bewertung von Almflächen und Waldweiden", BAL Gumpenstein.
- GUGGENBERGER, T. (2008), Klimaseminar 2008, Klimaerwärmung im Alpenraum, Auswirkungen und zukünftige Konzepte zur Bewirtschaftung der Almbereiche, HBLFA Raumberg-Gumpenstein
- HABERÄCKER, P. (1995), Praxis der digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung, Hanser.
- HAGN, A. (2008), Vegetationskundliche Untersuchung im Waldgrenzenökoton im Gebiet der Schladminger Tauern. Diplomarbeit Paris Lodron Universität Salzburg
- HERMES, K. (1955), Die Lage der oberen Waldgrenze in den Gebirgen der Erde und ihr Abstand zur Schneegrenze. Geographisches Institut, Universität Köln.
- HILL, R. A., GRANICA, K., SMITH, G. M. & SCHARDT, M. (2007), Representation of an Alpine Treeline Ecotone in SPOT 5 HRG data. *Remote Sensing of Environment* (110), S. 458-467.
- JENSEN, J. R. (1995), Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA.
- KÖRNER, C. & PAULSEN, J. (2004), A World-Wide Study of High Altitude Treeline Temperatures. *Journal of Biogeography* (31), S. 713-732.
- LAW, K. H. & NICHOL, J. (2004), Topographic correction for differential illumination effects on IKONOS satellite imagery. In "Proceedings of XXth ISPRS Congress, Geoimagery bridging continents", Vol. XXXV, pp. Part 3B. ISPRS, Istanbul, Turkey.
- LOIBL, W., BECK, A., DORNINGER, M., FORMAYER, H., GOBIET, A. & SCHÖNER, W. (2007), Generation of Climate Change Scenarios for the Alps with the meso-scale Models MM5 and ALADIN. ARC systems research GmbH, Wien.
- RICHARDS, J. A. & JIA, X. (2006), Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction, Springer, Berlin, 439 S.
- SCHAUMBERGER, J., SCHARDT, M., GUGGENBERGER, T., GALLAUN, H., SCHAUMBERGER, A., DEUTZ, A., GREßMANN, G. & GASTEINER, J. (2006), GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Joanneum Research Graz.
- UNO (2007), World Population Prospects, The 2006 Revision population database.