



## GIS Modellierung alpiner Kulturlandschaften

Rainer Prüller, Mathias Schardt, Graz

### Kurzfassung

Durch die Analyse von historischen Bild- und Fotoquellen lässt sich feststellen, dass alpine Kulturlandschaften einem stetigen Wandel unterliegen. Diese Kulturlandschaftsdynamik lässt sich so aber nur qualitativ beschreiben, um quantitative Aussagen über Veränderungen treffen zu können kann man auf Methoden der Fernerkundung und Geoinformatik zurückgreifen. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde auf Basis von Luftaufnahmen beginnend mit dem Jahr 1954 in 11 alpinen Untersuchungsgebieten mit einer Größe von  $1 \times 1 \text{ km}^2$  bzw.  $2 \times 2 \text{ km}^2$  eine Zeitreihenanalyse der Landbedeckung durchgeführt. Es wurden dabei je nach Verfügbarkeit der Luftaufnahmen für jedes Testgebiet manuell aus den Referenzjahren 1954, 1962-67, 1975-78, 1983, 1992-97, 2002 und 2006 Kartierungen durchgeführt, bei denen die Landbedeckungsklassen Wald, Freifläche, Siedlung, Gewässer und Ödland berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse wurden auf mehreren Ebenen mit Hilfe von GIS-basierten Methoden analysiert, um dadurch Rückschlüsse auf die Triebkräfte, die für diese Entwicklungen verantwortlich sind zu finden. Als Ergebnis liegt ein Modell vor, das die Entwicklung alpiner Kulturlandschaften beschreibt. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse sollen mögliche Zukunftsszenarien der Struktur alpiner Kulturlandschaften entworfen werden.

**Schlüsselwörter:** GIS, Fernerkundung, Kulturlandschaft, Landschaftsmodellierung, Landschaftsdynamik, Zelluläre Automaten, Zeitreihenanalyse, Landschaftsentwicklung, Markov Ketten

### Abstract

Historical pictures and photos describe the consistent change of alpine cultural landscapes. With these data sources only a qualitative change can be described, for quantitative predications remote sensing methods in combination with GIS analysis can be applied. Within this research a time series of land cover maps based on aerial images starting from the year 1954 have been implemented in eleven test sites with an area of  $1 \times 1 \text{ km}^2$  resp.  $2 \times 2 \text{ km}^2$ . Depending on the availability of aerial images, land cover maps for the reference years 1954, 1962-67, 1975-78, 1983, 1992-97, 2002 and 2006 with five land cover classes forest, open land (meadow and pasture), settlement, water and wasteland were processed. The mapping results were analyzed by GIS techniques to get an idea of the driving forces behind the dynamics and to create a model of alpine cultural landscapes. Based on the outcome of this research, possible future scenarios for the development of alpine landscapes will be created.

**Keywords:** GIS, remote sensing, landscape modelling, LUCC, Cellular Automata, Markov chains

## 1. Motivation und Ziel

### 1.1 Fernerkundungsdaten zur Beschreibung der Kulturlandschaftsgeschichte

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist die Erarbeitung von Modellen, die die Entwicklung und Dynamik von alpinen Kulturlandschaften seit den 1950er Jahren beschreiben.

Wesentliche Grundlagen dafür sind Fernerkundungsdaten mit einer entsprechend hohen zeitlichen Auflösung, um aus den daraus abgeleiteten Landbedeckungskartierungen Trends erkennen und modellieren zu können. Die Untersuchungen sollen einerseits dazu beitragen, die Entwicklung alpiner Kulturlandschaften zu verstehen, andererseits sollen die daraus abgeleiteten Prognosen als Entscheidungshilfen für regionalpolitische Maßnahmen verwendet werden können. Eine Vielzahl von sozioökonomischen Triebkräften

beeinflusst die Dynamik von Kulturlandschaften, die vielfach kleinräumig und mit entsprechender Auflösung nicht verfügbar sind und demnach auch nicht adäquat abgebildet werden können. Hier angemerkt seien öffentliche Fördergelder, land- und forstwirtschaftliche Produkt- und Produktionskosten oder Einkommensverhältnisse als ökonomische Treiber, Verteilung der Alterspyramide, Entwicklung der Bevölkerungszahlen als Beispiel für soziologische Triebkräfte. Mit der Entwicklung von Kulturlandschaftmodellen, die auf Grundlage von topographischen Parametern (Hangneigung, Seehöhe, Exposition) und Distanzfunktionen (Entfernung zum Gemeindehauptort oder zur nächstgelegenen Straße) wird versucht, die oben genannten Triebkräfte zusammenzufassen und so zu einer profunden Aussage über Entwicklungen der Landschaftszusammensetzung treffen zu können.



Abb. 1: Vereinheitlichung der Kulturlandschaft, Rauriser Haupttal 1910 und 2007

## 1.2 Auswirkungen von Veränderungen der Kulturlandschaft

Veränderungen der Zusammensetzung einer Kulturlandschaft wirken sich auf mehrere Bereiche aus, die sich gegenseitig beeinflussen können. Als Beispiel kann hier die Vereinheitlichung des Kulturlandschaftsbildes erwähnt werden, die sich unter anderem auf das Vorkommen von Wildtieren auswirkt. Vor allem durch das Verschwinden von natürlichen Hecken und Gebüschzeilen wird den Tieren der Sichtschutz genommen, die diese Flächen in weiterer Folge als Lebensraum meiden. Durch Verschwinden von diesen kleinstrukturierten Landschaftselementen nimmt auch die Attraktivität des Landschaftsbildes ab. Die Attraktivität eines Kulturlandschaftsraumes ist aber vor allem in den Alpen ein sehr wichtiger touristischer Standortfaktor, ein extensiv landwirtschaftlich genutzter Lebensraum übt eine Anziehungskraft auf Erholungssuchende aus. Kann eine Region durch ihre landschaftlichen Reize touristische Einnahmequellen erschließen, können durch diesen Kapitalzufluss die bürgerlichen Strukturen gestützt werden, die sich im Wesentlichen für die Pflege der Landschaft verantwortlich zeigen. Eine Vereinheitlichung des alpinen Landschaftsbildes ist am Beispiel des Hauptortes von Rauris dokumentiert (Abbildung 1).

Auf dem linken Foto ist der Talboden mit dem Hauptort im Jahr 1910 zu sehen, rechts der gleiche Ausschnitt im Jahr 2007. Es ist darin zu erkennen, dass die kleinstrukturierten Flächen, getrennt durch Gebüschzeilen und natürliche Hecken, weitgehend verschwunden sind und sich der Siedlungskern auf Kosten der umgebenden Acker- und Grünlandflächen ausgebreitet hat. Auch sind 2007 keine Ackerflächen mehr vorhanden, deren Rückgang hauptsächlich durch die vollständige Mechanisierung in der Landwirtschaft zu erklären ist. Das Pferd als wichtigstes Zugmittel wurde ab den 1950er Jahren von Traktoren und anderem landwirtschaftlichen Gerät verdrängt, demnach waren auch keine Getreideäcker für die Versorgung der Pferde mehr notwendig. Durch das Voranschreiten der Arbeitsteilung und der zunehmenden Produktivität in der Landwirtschaft fiel auch der Bedarf für die Eigenversorgung mit Gemüse und Getreide beginnend in den 1950er Jahren weg [1]. Diese Entwicklungen hatten und haben die Vereinheitlichung der Kulturlandschaft zur Folge, mit der u.a. der Verlust der Biodiversität einhergeht, wie zahlreiche Untersuchungen aus dem Alpenraum in Österreich [2] und der Schweiz [3] zeigen. Abbildung 2 versucht diesen Zusammenhang schematisch zu illustrieren. Bei der in der linken Abbildung dargestellten Situation tritt aufgrund

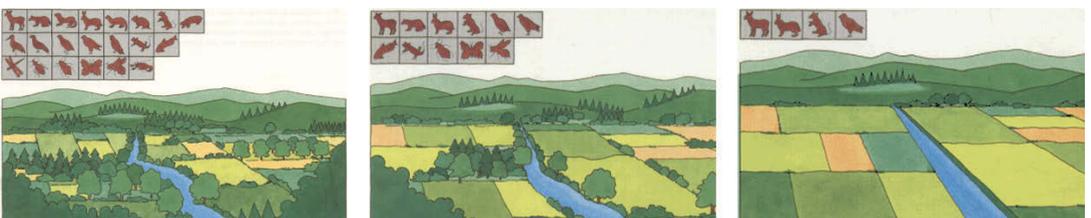


Abb. 2: Verlust der Biodiversität (Quelle: [4])

einer vielfältigen Landschaft mit kleinstrukturierten Grünland-, Acker- und Waldflächen, mit Gebüschen und einem weitgehend unverbauten Flusslauf eine hohe Artenvielfalt in Fauna und Flora auf.

Mit Voranschreiten der Vereinheitlichung des Landschaftsbildes und dem Verschwinden von kleinräumigen Rückzugsgebieten für Wildtiere verschwindet die Biodiversität, die in der für die mechanisierte Landwirtschaft angepassten Landschaftsstruktur in der rechten Abbildung resultiert. Die Produktivität durch den vollständigen Einsatz von Maschinen zur Bewirtschaftung der Flächen wird dadurch zwar mittelfristig optimiert, der Verlust der Biodiversität und die einseitige Nutzung der Böden bringt aber auf lange Sicht nicht nur Vorteile. So verändert sich z.B. durch das Verschwinden der Waldflächen und das Planieren und Einebnen von Landwirtschaftsflächen das Abflussregime von offenen Fließgewässern. Die Böden verringern dadurch ihre Fähigkeit das Oberflächenwasser aufzunehmen und entwässern dadurch schneller in die natürlichen Vorfluter, wodurch die Gefahr von Hochwasser steigt. Neben dem massiven Artenrückgang verschwindet auch der ästhetische Wert der Kulturlandschaft, dem v.a. in Tourismusgebieten ein entscheidender Faktor beigemessen werden muss. Eine vielfältig ausgestattete Landschaft mit einer abwechslungsreichen Landbedeckung steigert die Attraktivität einer alpinen Tourismusregion, viele Formen des sanften Tourismus (Bewirtschaftung von Almen, Anlage von Wanderwegen) bauen auf dem Erhalt einer attraktiven Kulturlandschaft auf.

## 2. Veränderungen in der alpinen Kulturlandschaft

### 2.1 Charakteristik des Untersuchungsgebietes

Die beiden Gemeinden Rauris (Salzburg) und Flattach (Kärnten) bilden das Untersuchungsgebiet für die

im Rahmen der Arbeit durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen. Die geographische Lage der beiden Gemeinden, dargestellt in Abbildung 3, ist in den Zentralen Ostalpen nördlich und südlich des Hohen Sonnblicks in der Goldberggruppe. Der Hauptort der Gemeinde Rauris liegt auf 906 m an der Rauriser Ache, die Gemeinde hat eine Fläche von rund 233 km<sup>2</sup> mit dem größten Anteil der 19 Gemeinden am Nationalpark Hohe Tauern und hat 3050 Einwohner. Der Hauptort der Gemeinde Flattach liegt auf 696 m im Mölltal, Flattach hat eine Fläche von rund 99 km<sup>2</sup> auf der 1305 Einwohner leben.

Die Auswahl dieser beiden Gemeinden folgte der Überlegung, dass beide Haupttäler eine ähnliche naturräumliche Ausstattung aufweisen, durch die unterschiedlich intensive wirtschaftliche Nutzung der beiden Täler entwickelten sich aber unterschiedliche Bilder der Kulturlandschaft. In den beiden Gemeindegebieten wurden in weiterer Folge 11 Testgebiete mit einer Größe von 1x1 km<sup>2</sup> bzw. 2x2 km<sup>2</sup> (siehe Abbildung 4) definiert, die in etwa zu gleichen Teilen in den naturräumlichen Gliederungszone Haupttal, Seitental und subalpiner Almzone liegen. 5 Testgebiete mit einer Gesamtfläche von 5 km<sup>2</sup> liegen dabei im Haupttal, drei Testgebiete mit einer Gesamtfläche von 5 km<sup>2</sup> in der Zone Seitental und drei Testgebiete mit einer Fläche von 3 km<sup>2</sup> in der subalpinen Almzone. Aufbauend auf dieser Einteilung wurde die Kulturlandschaftsdynamik für diese drei Naturräume untersucht, mögliche statistische Trends herausgearbeitet und darauf aufbauend Szenarien für zukünftige Kulturlandschaftsstrukturen entwickelt.



Abb. 3: Lage des Untersuchungsgebietes

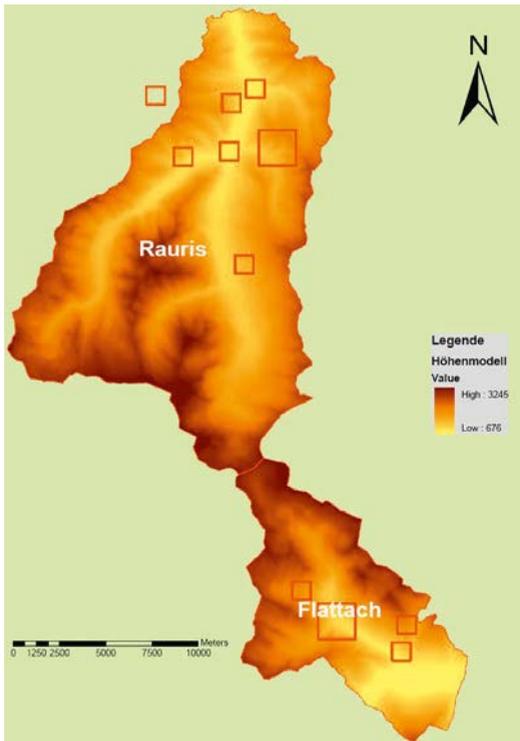


Abb. 4: Verteilung der 11 Testgebiete im Untersuchungsgebiet

Das Rauriser Tal ist im Gegensatz zur Gemeinde Flattach von massentouristischer Infrastruktur in Form von Lifтанlagen erschlossen, die entsprechende Nächtigungszahlen mit sich bringen und damit das wirtschaftliche Gefüge stabilisieren. Die Gemeinde Flattach kann vom Tourismus nicht vergleichbar profitieren, was sich u.a. in der Bevölkerungsentwicklung niedergeschlagen hat. So hat die Gemeinde Rauris seit den 1950er Jahren eine stetige Bevölkerungszunahme zu verzeichnen, die sich erst im letzten Jahrzehnt von 2000 bis 2009 leicht umgekehrt hat. Die Bevölkerungszahlen in Flattach hingegen entwickeln sich seit den 1970er Jahren negativ [5]. Die Österreichische Raumordnungskonferenz sieht in ihrer Bevölkerungsprognose bis 2031 [6], dass sich dieser Trend in Zukunft weiter verstärkt. Die Bevölkerungsströme können dabei in zwei Richtungen unterteilt werden: Den Abzug in andere Gemeinden und intrakommunale Umzüge. Den Abzug der Bevölkerung in zentraler gelegene Regionen mit mehr Arbeitsplätzen als neue Wohnstandorte betrifft v.a. die Gemeinde Flattach. Die intrakommunalen Bewegungen sind in beiden Gemeinden ausgeprägt, es werden dabei peripher gelegene Siedlungsstand-

orte und Seitentäler zu Gunsten der Hauptorte ensiedelt. Durch die höhere funktionelle Ausstattung der Hauptorte mit geringen Distanzen zur Nahversorgung, öffentlichen Einrichtungen oder günstigeren Verkehrsanbindungen wird eine höhere Attraktivität des Wohnstandortes gewährleistet. Diese Bevölkerungsentwicklung korreliert mit den hier vorliegenden Untersuchungen der Entwicklung der Kulturlandschaft. So ist bei Bevölkerungsrückgang in peripher gelegenen Standorten eine Zunahme der Waldflächen, die in erster Linie auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen gehen, zu verzeichnen.

## 2.2 GIS Analyse zur Quantifizierung der Kulturlandschaftsdynamik

Die Geschichte einer Kulturlandschaft lässt sich visuell am anschaulichsten mit historischem Bild- und Fotomaterial rekonstruieren, das vielerorts auf mehrere Jahrhunderte zurückblicken lässt. Diese Datenquellen lassen sich aber im Rahmen von quantitativen Untersuchungen nicht verwenden. Für quantitativ nachvollziehbare GIS Analysen muss man sich als Datenbasis daher auf photogrammetrische Aufnahmen stützen. Diese historischen Grundlagen alleine würden für die Abschätzung von aktuellen Tendenzen allerdings nicht viel beitragen, da sich die soziale und wirtschaftliche Struktur sehr stark verändert hat und sich damit die damaligen Triebkräfte für Landschaftsveränderungen nicht auf die heutige Situation übertragen lassen. Durch den intensiven maschinellen Einsatz in der Landwirtschaft und den damit einhergehenden strukturellen Veränderungen nach 1945 ist es sinnvoll, quantitative Untersuchungen mit Datengrundlagen nach 1945 durchzuführen. Die ersten verfügbaren Luftbilder Österreichs stammen aus den 1950er Jahren, die im Rahmen dieser Arbeit ausgewertete Zeitreihenanalyse greift auf den Waldstandsflug 1954 als frühesten Untersuchungszeitpunkt zurück. Für die 11 oben beschriebenen 1x1 km<sup>2</sup> bzw. 2x2 km<sup>2</sup> großen Testgebieten wurden jeweils Landbedeckungskartierungen zu 7 Referenzzeitpunkten durchgeführt. Es wurden dabei je nach Verfügbarkeit der Luftaufnahmen für jedes Testgebiet manuell aus den Referenzjahren 1954, 1962-67, 1975-78, 1983, 1992-97, 2002 und 2006 Kartierungen durchgeführt, bei denen die Landbedeckungsklassen Wald, Freifläche, Siedlung, Gewässer und Ödland berücksichtigt wurden. Abbildung 5 zeigt als Beispiel die Landbedeckungen des Hauptortes der Gemeinde Rauris im Jahr 1954 und 2002.

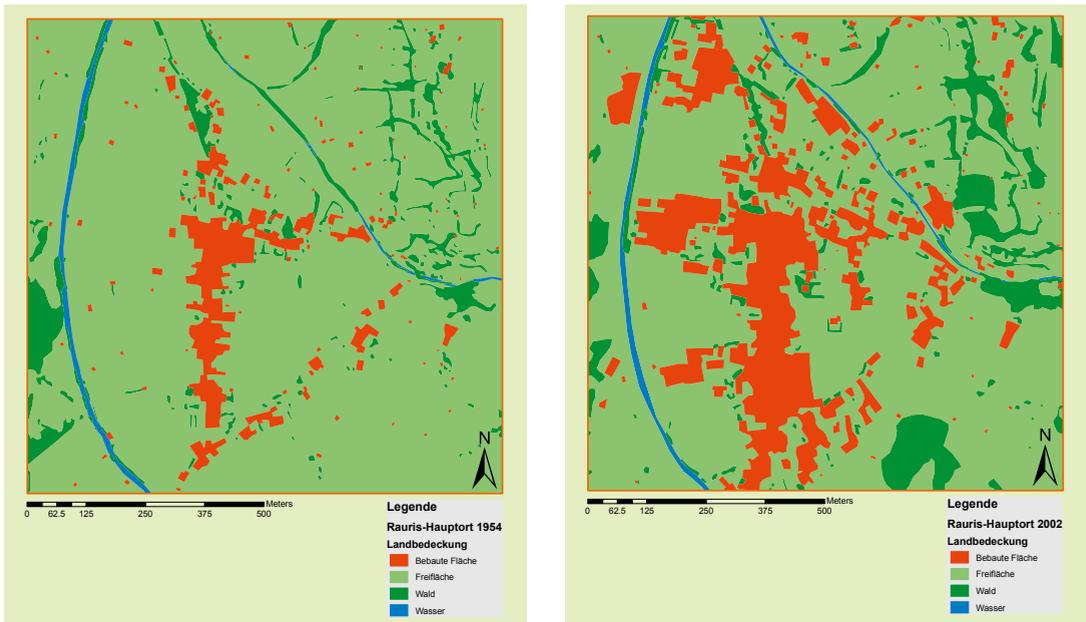


Abb. 5: Landbedeckungskartierung Rauris Hauptort 1954 – 2002

Gut zu erkennen ist die Entwicklung der bebauten Flächen zu einem kompakten Siedlungskern, dessen Fläche sich im Untersuchungszeitraum 1954 – 2002 mehr als verdreifacht hat (+207 %, +12,0 ha). Der Flächenbedarf ging dabei in erster Linie auf Kosten der landwirtschaftlichen Flächen, der Anteil der Freiflächen im 1x1 km<sup>2</sup> großen Untersuchungsgebiet ging um 18 % (–15,8 ha) zurück. Die Waldflächen, die quantitativ mit einem Anteil von etwa 10 % an der Gesamtfläche am Talboden im Haupttal eine untergeordnete Rolle spielen, breiteten sich ebenfalls auf Kosten der Freiflächen aus. Wald nahm um 3,4 ha zu, das entspricht im Untersuchungszeitraum 1954 – 2002 fast einer Verdopplung (+48 %). Neben der quantitativen Veränderung der Waldflächen vollzog sich v.a. eine qualitative, in dem viele Gebüschzeilen und Hecken verschwunden sind. Der Rest von 0,4 ha der Landbedeckungsdynamik ist den Wasserflächen zuzuschreiben, die durch die überwiegende Abholzung der Uferböschungen im Zuge der Flussregulierungen leicht zugenommen haben. Diese Entwicklung der Landbedeckung kann mit den dazwischenliegenden Beobachtungszeitpunkten gestützt werden, die im Wesentlichen eine stetige Entwicklung erkennen lassen (Abbildung 6). Wie sich die Landbedeckung in den drei naturräumlichen Gliederungszonen Almzone, Haupttal und Seitental in 5 der 11 untersuch-

ten Testgebiete im Detail entwickelt hat, zeigt Abbildung 6.

Das Diagramm in Abbildung 6 stellt für die quantitativ am stärksten vorkommenden Landbedeckungsklassen Wald, Freifläche und bebauten Fläche je eine Kurve in den drei Gliederungszonen Almzone, Haupttal und Seitental dar. Als Ausgangsdaten wurden drei Testgebiete zu je 1 km<sup>2</sup> aus der Zone Haupttal und je ein Testgebiet zu 1 km<sup>2</sup> aus den Gliederungszonen Almzone bzw. Seitental verwendet. Es ist dabei zu beobachten, dass die bebauten Flächen in den Zonen Haupttal und Seitental prozentuell stark zugenommen haben (+206 % bzw. +172 %), in der Almzone die bebauten Flächen aber seit 1954 kontinuierlich abnehmen. Mit weniger als 1 % der Gesamtfläche haben die bebauten Flächen flächenmäßig in der Almzone zu keinem Zeitpunkt der Untersuchungsreihe eine Rolle gespielt, sehr wohl aber qualitativ. Der Flächenrückgang ist gleichbedeutend mit dem Rückgang der Anzahl von Einzelgebäuden, die in dieser Höhenlage v.a. Heustadel, Jagd- und Almhütten waren. Diese Gebäude prägen aber das Bild einer Landschaft signifikant, ein Verschwinden dieser Objekte ändert die Charakteristik und damit die Attraktivität einer Kulturlandschaft. Die Waldflächen nahmen in allen drei naturräumlichen Gliederungszonen zu, wobei der größte Waldzuwachs in der Almzone zu beobachten ist (+34 %), in den Seitentälern wurde ein Zuwachs

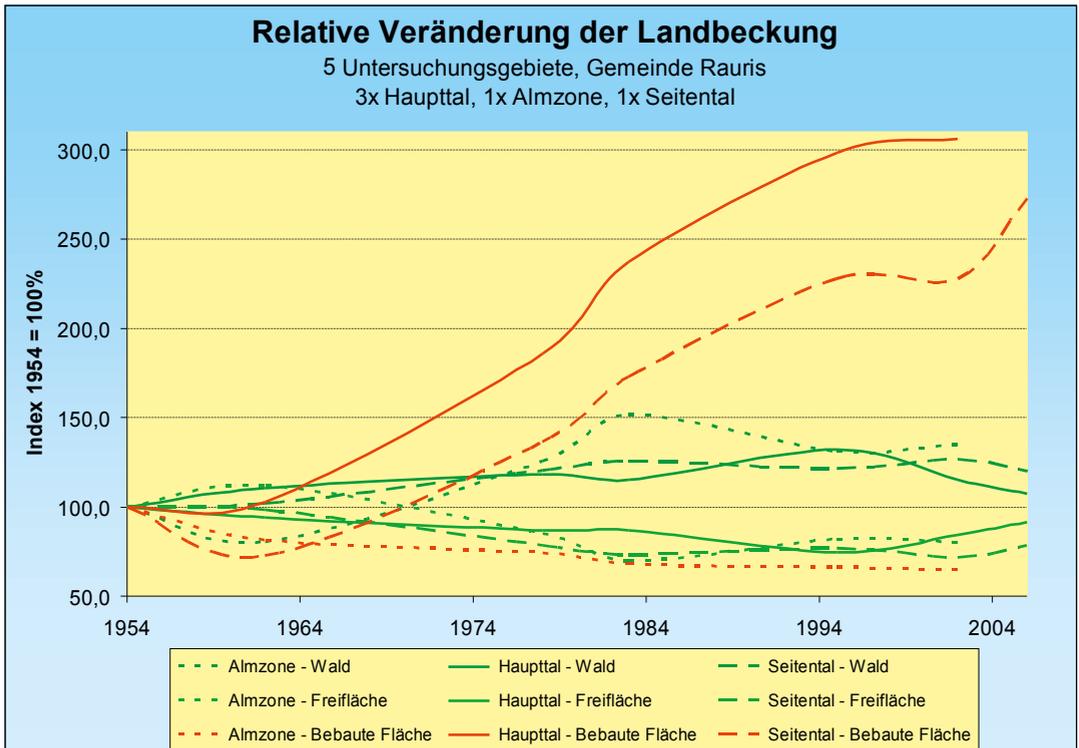


Abb. 6: Relative Landbedeckungsveränderung 1954 – 2006

von 20 % festgestellt, in der Zone Hauptttal stagnierten die Waldflächen mit einem Zuwachs von 7 % fast. Der starke Waldzuwachs im Untersuchungszeitraum 1954 – 2006 in der Almzone kann aber nicht mit klimatischen Veränderungen wie dem Anstieg der Temperatur und dem daraus resultierendem Anstieg der Waldgrenze erklärt werden. Vielmehr wurden Almflächen durch ökonomische Rahmenbedingungen nicht weiter bewirtschaftet und aufgeforstet bzw. einem natürlichen Sukzessionsprozess überlassen. Diese Beobachtungen der Landbedeckungsdynamik in der Almzone korrelieren auch mit Zahlen der Statistik Austria (Almerhebung 1986, [7]), der zu Folge von 1952 bis 1974 die bewirtschafteten Almen in Österreich um 14 % abgenommen haben (Salzburg – 17 %, Kärnten – 7 %). Durch gezielte Fördermaßnahmen in den 1970er Jahren konnten wieder wirtschaftliche Reize geschaffen werden, um Almen zu bestoßen, die Anzahl der bewirtschafteten Almen nahm wieder zu.

Um ein umfassenderes Bild der Dynamik der Kulturlandschaft zu erhalten, wurden Veränderungen der Landbedeckung in den 5 vom neuen Berghöfekataster [8] verwendeten Hangnei-

gungszonen untersucht. Das Ergebnis dieser Analyse und die Einteilung dieser fünf Hangneigungszonen kann Abbildung 7 entnommen werden. Es wird darin die Entwicklung der drei Landbedeckungsklassen bebaute Fläche (BF), Freifläche und Wald in den fünf verschiedenen Hangneigungszonen im Beobachtungszeitraum 1954 – 2006 dargestellt. Die Art der Linie kennzeichnet dabei die Landbedeckungsklasse, die Farbe die Hangneigungszone, wobei eine helle Farbe eine geringe Hangneigung repräsentiert und eine dunklere eine höhere.

Die bebauten Flächen haben dabei in Summe in allen fünf Hangneigungszonen zugenommen, den stärksten Zuwachs gab es dabei mit 211 % in der Zone mit der geringsten Hangneigung, die günstige Siedlungsstandorte am Talboden repräsentiert. Mit dem Anstieg der Hangneigung nimmt der Zuwachs der bebauten Flächen zwar ab, in der Zone mit der höchsten Hangneigung ist aber immer noch ein Zuwachs von 85 % zu beobachten. Gegen Ende der 1970er Jahre wird in allen Hangneigungszonen ein markanter Anstieg der bebauten Flächen beobachtet, der sich in der Bevölkerungsstatistik [5] nicht in diesem

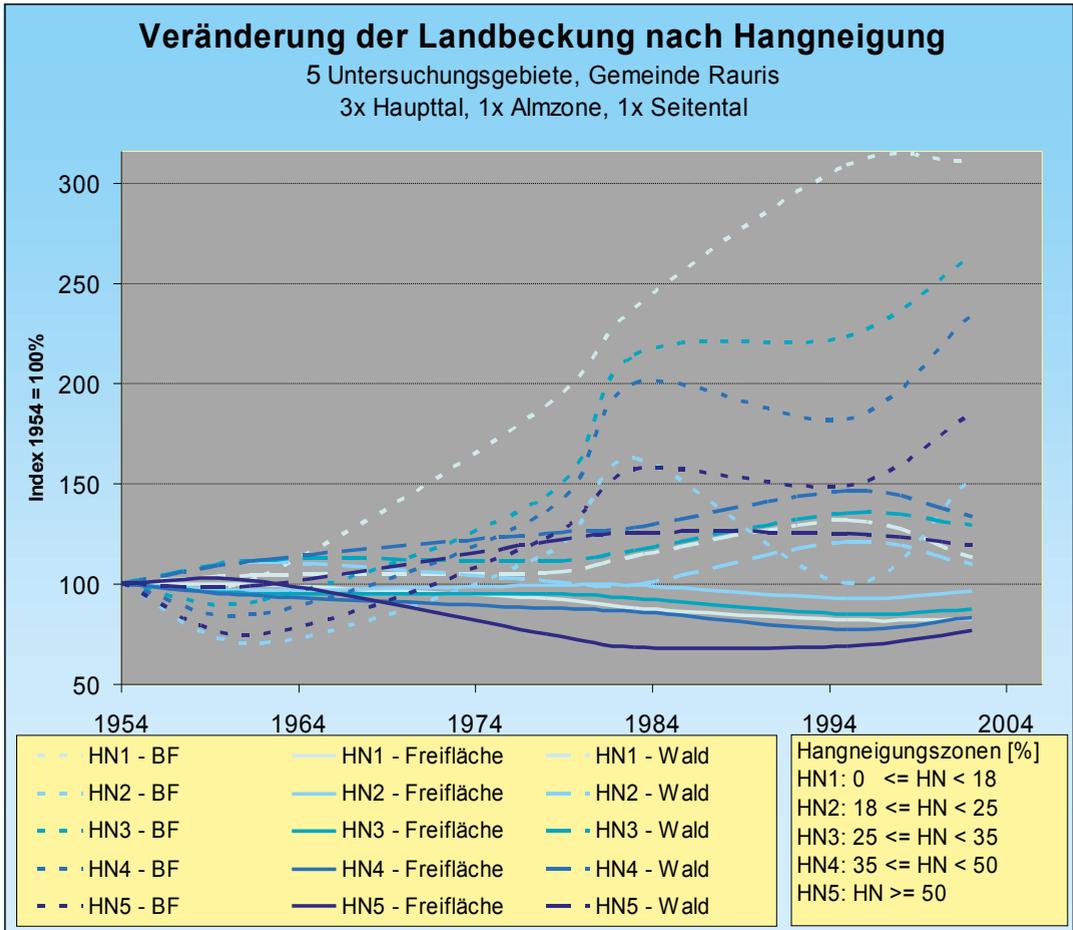


Abb. 7: Veränderung der Landbedeckung nach Hangneigung 1954 – 2006

Maße widerspiegelt. Die Freiflächen haben in Summe in den fünf Testgebieten in allen fünf Hangneigungszonen abgenommen, mit einem Rückgang von 23 % am stärksten auf Flächen mit über 50 % Hangneigung. Die Trends dieses Flächenrückganges entwickelten sich zudem sehr ähnlich in allen Hangneigungszonen. Die Waldflächen haben auf Kosten der Freiflächen in allen Hangneigungszonen zugenommen, wobei diese Zunahme in den beiden untersten Zonen mit 13 % bzw. 9 % weniger stark zu beobachten war wie in den oberen drei (HN1: 29 %, HN2: 33 %, HN3: 19 %). Aufbauend auf den hier vorgestellten und ergänzenden hier nicht vorgestellten topographischen Analysen (Seehöhe, Exposition) werden im nächsten Schritt Szenarien für die zukünftige Entwicklung der Kulturlandschaft in den Testgebieten generiert.

### 3. Zusammenfassung und Ausblick

#### 3.1 Zusammenfassung der Untersuchungen

Die bisherigen Untersuchungen zur Kulturlandschaftsdynamik in den inneralpinen Untersuchungsgebieten von 1954 – 2006 haben gezeigt, dass nicht nur ein qualitativer Strukturwandel in der Ausstattung der Landschaft stattgefunden hat, sondern auch ein quantitativer. So haben sich die Siedlungsflächen in Summe signifikant ausgebreitet, bevorzugt in den Gunsträumen der Haupttäler am Talboden. Landwirtschaftliche Einzelgebäude wie Heustadel und Almhütten sind in allen Räumen zurückgegangen. Die Siedlungsflächen haben sich wie die Waldflächen auf Kosten der Freiflächen ausgebreitet, die demnach zurückgegangen sind. Waldzuwachs wurde in allen Testgebieten festgestellt,

wirtschaftliche Rahmenbedingungen führen zur vermehrten Aufforstung von Freiflächen.

### 3.2 Entwicklung von Zukunftsszenarien

Aus den oben beschriebenen Untersuchungen der bisherigen Entwicklung der Kulturlandschaft wird im nächsten Schritt versucht werden, Szenarien für die zukünftige Entwicklung zu generieren. Methodisch stehen dazu mehrere Möglichkeiten zur Verfügung ([9], [10]). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Modellansatz der „Gezwungenen Zellulären Automaten“ für räumliche Prognosen zum Einsatz kommen. Zelluläre Automaten sind Computermodelle, die eine Technik zur Modellierung von räumlich diskreten Systemen repräsentieren. Sie bieten die Möglichkeit, durch definierte Regeln den Zustand eines Zellsystems zum Zeitpunkt  $t+1$  aus dem Zustand zum Zeitpunkt  $t$  zu bestimmen [11]. Bei einem freien Zellulären Automaten fließt dazu der eigene Zustand und die Nachbarschaftsbeziehungen einer Zelle zum Zeitpunkt  $t$  ein (Abbildung 8). Die möglichen Zustände einer Zelle in der hier untersuchten Landbedeckungsmodellierung sind die Landbedeckungsklassen Wald, Freifläche, Siedlung, Gewässer oder Ödland. Der Zustand  $g^t$  der Rasterzelle auf der Position  $i, j$  zum Zeitpunkt  $t$  und der Zustand der umgebenden Zellen in der vier Zellen umfassenden „von Neumann Nachbarschaft“ dienen dabei als Ausgangspunkte für die Bestimmung des Zellzustandes  $g^{t+1}$  zum Zeitpunkt  $t+1$  (Abbildung 8, linke Seite).

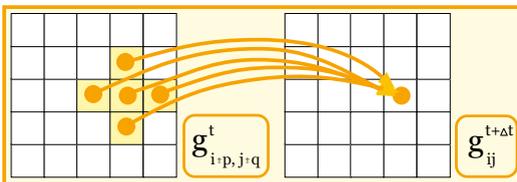


Abb. 8: Prinzipieller Aufbau eines zellulären Automaten

Durch die Anwendung von vorher festgelegten Übergangsregeln auf  $g^t$  und der Einbeziehung der Zustände der Nachbarschaftszellen kann man mit der Berechnung von Übergangswahrscheinlichkeiten und dazu festgelegten Schwellwerten  $g^{t+1}$  bestimmen. Mit Hilfe von Markow-Ketten ist es möglich, quantitative Aussagen über zukünftige Entwicklungen basierend auf vorangegangenen Tendenzen zu treffen, sprich die Anzahl der Zellen zu berechnen, die sich in jeder Landbedeckungsklassen pro Zeiteinheit verändern müssen [12]. Diese werden basierend auf der Zeitreihenanalyse der Landbedeckungskartierungen 1954 – 2006 getroffen. Bei Einführung dieser

quantitativen Beschränkungen spricht man von einem „Gezwungenen Zellulären Automaten“. Die Voraussetzung für die Umsetzung Zellulärer Automaten sind demnach das Vorliegen eines Rasters mit Zellen bestimmter Zustände und die Definition von Regeln, die die Zustandsänderungen vom Zeitpunkt  $t$  zum Zeitpunkt  $t+1$  definieren. Da Landbedeckungskartierungen a-priori flächenhaft vorliegen, ist die erste Voraussetzung für die Anwendung erfüllt. Der zweite Punkt, die Bestimmung der Übergangsregeln wird aus den in Kapitel 2 gewonnenen Erkenntnissen der GIS-Analysen möglich. So wird bei der Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit einer Zelle berücksichtigt, welcher naturräumlichen Gliederungszone sie angehört. Als topographische Rahmenbedingungen fließen die Hangneigung, Höhenlage und Exposition ein. Weiters werden über den Zeitraum 1954 – 2006 verfügbare sozioökonomische Daten, wie die Bevölkerungsentwicklung und die Zahl der Arbeitsstätten in die Modellierung einfließen.

### Referenzen

- [1] Sieferle, Rolf Peter, Krausmann, Fridolin, Schandl, Heinz, Winiwarter, Verena: Das Ende der Fläche – Zum gesellschaftlichen Stoffwechsel der Industrialisierung. Böhlau Verlag, 2006.
- [2] Bundesamt für Statistik: Landschaft und Biodiversität. Umweltbericht 2009 Schweiz. <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/04/blank/dos/01.parsys.0016.downloadList.18249.DownloadFile.tmp/ii11.pdf>.
- [3] Hoppichler, Josef: Biodiversity, Landscapes and ecosystem services of agriculture and forestry in the Austrian alpine region - an approach to economic (e) valuation. Organisation for Economic Co-operation and Development, Working Party on Economic and Environmental Policy Integration and Working Group on Economic Aspects of Biodiversity, 2005.
- [4] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Landschaft natürlich – Landschaftsveränderung und Artenrückgang. [http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/plp\\_06/plp60010.html](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/plp_06/plp60010.html), Stand April 2007.
- [5] Statistik Austria: Ein Blick auf die Gemeinde. <http://www.statistik.at/blickgem/>, Stand Jänner 2010.
- [6] ÖROK und Statistik Austria: ÖROK-Prognosen 2001-2031, Teil 1: Bevölkerung und Arbeitskräfte nach Regionen und Bezirken Österreichs. Österreichische Raumordnungskonferenz, 2004.
- [7] Statistik Austria: Almerhebung 1986. [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/land\\_und\\_forstwirtschaft/ agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/almen/022946.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/ agrarstruktur_flaechen_ertraege/almen/022946.html)
- [8] Tamme, Oliver, Bacher, Ludwig, Dax, Thomas, Hovorka Gerhard, Krammer, Josef, Wirth, Matthias: Der neue Berghöfekataster – Ein betriebsindividuelles Erschwernisfeststellungssystem in Österreich. Bundesanstalt für Bergbauernfragen, 2003.

- [9] *Briassoulis, Helen*: Analysis of Land Use Change: Theoretical Modelling Approaches. The Web Book of Regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.
- [10] *Benenson, Itzhak, Torrens Paul M.*: Geosimulation - Automata-based modeling of urban phenomena. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2004.
- [11] *Tyler, Tim*: Cellular Automata. <http://www.cell-auto.com/>, Stand Jänner 2010.
- [12] *Stroock, Daniel W.*: An Introduction to Markov Processes. Springer Berlin-Heidelberg-New York, 2005.

#### **Anschrift der Autoren**

**Mag. DI Rainer Prüller**, Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/I, A-8010 Graz

E-Mail: [rainer.prueller@tugraz.at](mailto:rainer.prueller@tugraz.at)

**Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Dipl.-Forstwirt Mathias Schardt**, Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/I, A-8010 Graz

E-Mail: [mathias.schardt@tugraz.at](mailto:mathias.schardt@tugraz.at)