

Modellierung der potentiellen Verbreitung von Brutvögeln in Österreich mit MapModels

Christoph PLUTZAR¹, Dietmar MOSER¹, Leopold RIEDL² und Norbert SAUBERER¹

¹ Institut f. Pflanzenphysiologie, Abt. f. Vegetationsökologie und Naturschutzforschung d. Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien (email: christoph@plutzar.at, moser@pflaphy.pph.univie.ac.at, saube@pflaphy.pph.univie.ac.at)

² Institut f. Stadt- und Regionalforschung d. Technischen Universität Wien, Karls gasse 13, A-1040 Wien (email: leopold.riedl@tuwien.ac.at)

Abstract

This study proposes a method aimed at modeling the potential distribution of breeding bird species in Austria. Using the ptarmigan (*Lagopus mutus*) as an example, we describe the application of the method with the aid of MapModels, which is a flowchart based modeling-tool for ArcView-GIS. Geographic regions with a high statistical probability of the potential occurrence of the ptarmigan are shown based on the use of Fuzzy-Logic and a chi-square test. A comparison of the model outcome with the actual distribution of the ptarmigan demonstrates a high degree of geographic overlap. This lends support to the suggestion that the model may be usefully applied to other breeding bird species too.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt am Beispiel des Alpenschneehuhns (*Lagopus mutus*) eine Methode zur Modellierung der potentiellen Verbreitung der Brutvögel Österreichs. Mit Hilfe von MapModels, einer auf Datenflußgraphen basierenden Programmiersprache unter ArcView-GIS, und unter Verwendung von Fuzzy-Logic und einem Chi-Quadrat Test wurden Gebiete mit einer hohen Möglichkeit für das Vorkommen ausgewiesen und kartographisch dargestellt. Ein Vergleich der Modellergebnisse mit den Beobachtungsdaten zeigt eine gute Übereinstimmung.

1 Einleitung

Die hier vorgestellte Arbeit ist Teil des Moduls "BD1-Grundlagen der Biodiversität österreichischer Kulturlandschaften" des Forschungsschwerpunktes "Kulturlandschaft" im Auftrag des BMWV¹. Im Rahmen dieses Projektes wird eine experimentelle Freilandarbeit (Biodiversitätsanalyse auf lokaler und regionaler Ebene mit den Schwerpunkten Bodenzymatik, Moose, Flechten, Gefäßpflanzen, Mollusken, Spinnen, Käfer, Ameisen und Heuschrecken) und auf überregionaler Ebene eine kompilative und prognostische

¹ Das Forschungsprojekt BD1, unter der Leitung von Univ.-Prof. Georg Grabherr, wird von BMWV und BMUJF kofinanziert.

Untersuchung durchgeführt. Als wesentlicher Bestandteil des letztgenannten Ansatzes wird für die Gruppen der Brutvögel und der Gefäßpflanzen die Artenanzahl pro Quadrant (eine Fläche die 3 x 5 Minutenfeldern entspricht, mit ca. 6,25 x 5,55 km Seitenlänge und durchschnittlich 34,7 km² Fläche, NIKLFELD 1978) abgeschätzt, um "hot- und cold-spots" der Artenvielfalt Österreichs zu identifizieren.

Zur Bearbeitung der Brutvögel wurde das Avifaunistische Archiv von Birdlife Österreich zur Verfügung gestellt, das Meldungen von Vogelbeobachtungen im gesamten Bundesgebiet dokumentiert. Da die Bearbeitungsdichte dieses Datensatzes aufgrund regional unterschiedlicher Kartierungsintensität österreichweit inhomogen ist, wird für alle Brutvogelarten eine Modellierung des potentiellen Verbreitungsgebietes angestrebt. Für die Erstellung der Karten der potentiellen Verbreitung werden die Daten des Avifaunistischen Archivs mit Karten von Umweltparametern (sog. Kollateraldaten) in Beziehung gebracht, um aus den lokalen Kartierungsmeldungen flächenhafte Aussagen zu generieren. Eine Überlagerung aller Verbreitungsmodelle soll eine flächendeckende Prognose über die Artenanzahl ermöglichen.

Zur Modellierung potentieller Verbreitungsgebiete von Organismen wurden u.a. von ASPINALL & MATTHEWS (1994), HAUSSER (1995), WALKER (1990) unterschiedliche Methoden vorgestellt, die sich entsprechend der unterschiedlichen Struktur und räumlichen Auflösung des Datenmaterials unterscheiden. GENTILI (1992) und MAURER (1994) befassen sich in ihren Arbeiten mit der Prognose der Artenanzahl der Avifauna, wobei nicht die Auswertung potentieller Verbreitungskarten, sondern Interpolationsmethoden zur Anwendung kamen. Die Vielfalt der in der Literatur beschriebenen Methoden verdeutlicht, daß für die vorliegende Fragestellung keine Standardmethode zur Verfügung steht.

Um geeignete Methoden für die Bearbeitung des Datensatzes der österreichischen Avifauna zu finden, werden daher zur Zeit verschiedene Modellansätze anhand 18 ausgewählter Brutvogelarten getestet. Vorläufige Ergebnisse des Projektes werden am Beispiel des Alpenschneehuhns (*Lagopus mutus*) vorgestellt, einer Art, deren Vorkommen sich aufgrund ihrer spezifischen Lebensraumsprüche relativ leicht modellieren läßt.

2. Material und Methode

2.1. Daten

Das Avifaunistische Archiv von Birdlife Österreich diente als Grundlage für den "Atlas der Brutvögel Österreichs" (DVORAK et al. 1993) und enthält in der vorliegenden Fassung 497.586 Kartierungseinträge mit 227 (Unter-) Arten. In der Datenbank wird zwischen nachgewiesenen, wahrscheinlichen und möglichen Brutmeldungen nach den Richtlinien des Europäischen Ornithologischen Atlas-Komitees (SHARROCK 1973) unterschieden. Die räumliche Auflösung beträgt ein geographisches Minutenfeld (ca. 1,25 x 1,85 km Seitenlänge mit durchschnittlich 2,3 km² Fläche).

Wie bei den meisten biologischen Kartierungsdaten ist nur das definitive Vorhandensein (presence) von Brutereignissen dokumentiert, während das nachgewiesene Fehlen einer Art (absence) nicht explizit vermerkt wird. Die unterschiedliche Bearbeitungsdichte innerhalb

des Bundesgebietes führt zu einer diskontinuierlichen räumlichen Aussagekraft des Datensatzes.

An weiteren räumlichen Informationen stehen folgende Karten digital zur Verfügung:

Tab. 1: Übersicht über die zur Verfügung stehenden thematischen Karten zur Modellierung der potentiellen Verbreitungskarten.

Thema	Quelle	Maßstab
Höhenmodell	Institut f. Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien	250 x 250 m Zellen
Kulturlandschaftstypenreihen	Institut f. Pflanzenphysiologie, Abt. f. Vegetationsökologie und Naturschutzforschung, Universität Wien	1:500000
Hemerobie der Österreichischen Wälder	Institut f. Pflanzenphysiologie, Abt. f. Vegetationsökologie und Naturschutzforschung, Universität Wien	1:500000
Moore	Institut f. Pflanzenphysiologie, Abt. f. Vegetationsökologie und Naturschutzforschung, Universität Wien	1:50000
Corine-Landcover	Umweltbundesamt	1:100000
Klimatypen	Atlas der Republik Österreich	1:1000000
Waldwuchsgebiete	Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien	1:500000
Gewässer	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	1:500000

2.2. Implementierungsplattform

Aufgrund der methodischen Anforderungen ergibt eine eingehende Bedarfsanalyse folgendes Profil an ein Implementierungswerkzeug eines räumlichen Erklärungs- und Entscheidungsmodells (vgl. dazu auch REINBERG 1998):

- Es muß für den inhaltlich orientierten Anwender (z.B. Biologen und Geographen) leicht durchschaubar und bedienbar sein.
- Es muß für ihn einfach an seine inhaltlichen Fragestellungen anpaßbar sein.
- Es muß die wiederholte Ausführung von einzelnen Analyseschritten bis hin zu komplexen Analyseabläufen unterstützen.
- Es muß häufig gebrauchte geographische und statistische Grundfunktionen bereits standardmäßig umfassen.
- Es muß diese Funktionen in modularer Form und eine benutzerfreundliche Integration in dessen komplexe Anwendung anbieten.
- Es muß prinzipiell im Funktionsumfang erweiterbar sein.
- Es muß möglichst leicht in bestehende Hard- und Softwareumgebungen integrierbar sein.

Für das hier vorgestellte Forschungsprojekt wurde die ArcView-Erweiterung MapModels (RIEDL & KALASEK 1998) als Arc/Info-kompatible Implementierungsplattform gewählt. MapModels ist eine auf Flowcharts aufgebaute visuelle Programmiersprache zur Erstellung räumlicher Analysemodelle (siehe Abbildung 2). Ein anwendergerechtes, intuitives, graphisches Interface gibt dem Benutzer von MapModels weitgehende Möglichkeiten zur explorativen Modellierung und Analyse räumlicher Fragestellungen. Die Grundfunktionen

von MapModels sind anhand der bewährten Logik der MapAlgebra zur analytisch-kartographischen Modellierung (TOMLIN 1990) strukturiert.

Die in Form von direkt ausführbaren Flußdiagrammen organisierten Modelle werden durch einfache Benutzerinteraktion mit der Maus aufgebaut und erweitert. Sie dienen sowohl der Steuerung als auch der Dokumentation des Analyseprozesses, was gleichermaßen die inhaltliche wie methodische Nachvollziehbarkeit und Transparenz fördert.

Ein Hauptvorteil von MapModels liegt darin, daß es das vertraute Konzept von Flußdiagrammen als prägendes Leitbild an der Benutzerschnittstelle (beim Modellaufbau) einsetzt. Dabei repräsentieren die Modellbausteine als Knoten in einem gerichteten Graphen atomare Funktionen, welche bestimmte (frei definierbare) Inputs in ihre jeweiligen Outputs transformieren. Bei einer Änderung von Modellparametern können die Ergebnisse automatisch aktualisiert werden (live update), was neben einer wesentlichen Erleichterung im Datenhandling zu einer Erhöhung der internen Modellkonsistenz führt.

Aufgrund des objektorientierten Entwurfs und der Dokumentation des internen, syntaktischen Aufbaus von MapModel-Basisfunktionen (RIEDL 1998), kann der zur Verfügung stehende Funktionsumfang jederzeit beliebig erweitert werden.

2.3. Modellansatz

Um eine rasterorientierte Auswertung der Daten mit MapModels zu ermöglichen, wurden alle Vektordaten in Grids mit einer Zellenlängende von 250 m (auf der Basis des Höhenmodells) konvertiert.

Die Vogelkartierungsdaten wurden ebenfalls in Rasterform übergeführt, wobei für jede einzelne Brutvogelart ein separates Grid erstellt wurde. Dabei wurden jene Minutenfelder, in denen es nachgewiesene oder wahrscheinliche Brutmeldungen für eine Art gibt, in Zellen mit dem Wert 1 transformiert.

Die Kollateraldaten wurden in Anlehnung an EASTMAN et al. (1993) in "factors" (Faktoren) und "constraints" (Beschränkungen) unterteilt.

Faktoren:

Faktoren sind kontinuierliche Daten, deren Ausprägung eine ebenso kontinuierliche positive oder negative Auswirkung auf die zu erklärende Variable hat. Faktoren sind im vorhandenen Datensatz das Höhenmodell und daraus abgeleitete Parameter. Da die Seehöhe einen entscheidenden Einfluß auf jene Umweltparameter ausübt, die die Überlebensmöglichkeit von Organismen bestimmen (GRABHERR 1997), wird das Höhenmodell bei allen Vogelarten in das Verbreitungsmodell integriert.

Zur Modellierung der kontinuierlichen Faktoren werden Fuzzy-Membershipfunktionen herangezogen (PLUTZAR & LOIBL 1994, BLASCHKE 1997a), die allen Zellen des Untersuchungsgebietes einen Möglichkeitswert für das Vorkommen einer Art zuordnen. Im Fall des Höhenmodells kommen je nach Vogelart zwei Funktionen zum Einsatz (Abbildung 1). Funktion a wird verwendet, wenn eine Art den Schwerpunkt ihrer Vertikalverbreitung in höheren Lagen hat und nicht im Flachland vorkommt. Funktion b wird für Arten eingesetzt, deren Abundanz mit zunehmender Höhe abnimmt. Für die Erstellung der Funktionen werden drei Kennwerte der Fundortverteilung innerhalb des Faktors Seehöhe herangezogen: der kleinste und der größte Merkmalswert (min_s, max_s) sowie der Median (med_s), als gegenüber Ausreißern robuster Zentralwert (SACHS 1992).

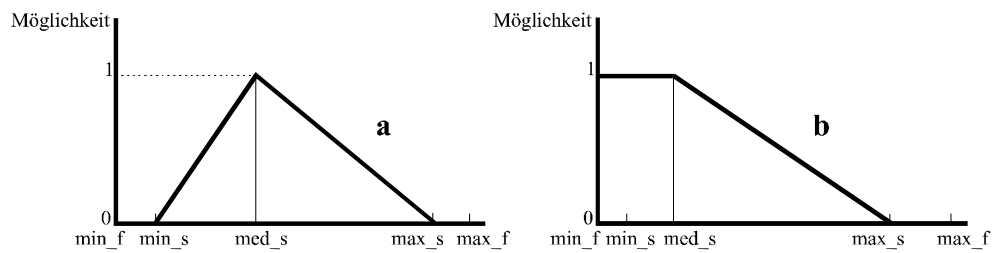


Abb. 1: Darstellung der Fuzzy - Membership - Funktionen.
min_f: minimale Ausprägung des Faktors im Untersuchungsgebiet; *max_f*: maximale Ausprägung des Faktors im Untersuchungsgebiet; *min_s*: kleinster besetzter Faktorwert der Häufigkeitsverteilung einer Spezies; *med_s*: Median der Häufigkeitsverteilung einer Spezies; *max_s*: größter Faktorwert der Häufigkeitsverteilung einer Spezies.

Für die Berechnung dieser Kennwerte wurde eine MapModel-Komponente programmiert, die Minimum, Maximum und Median als deskriptive statistische Maßzahlen für die Verschneidungsergebnisse zwischen dem Vogelkartierungsgrid und den Kollateraldatengrids liefert (Abbildung 2a).

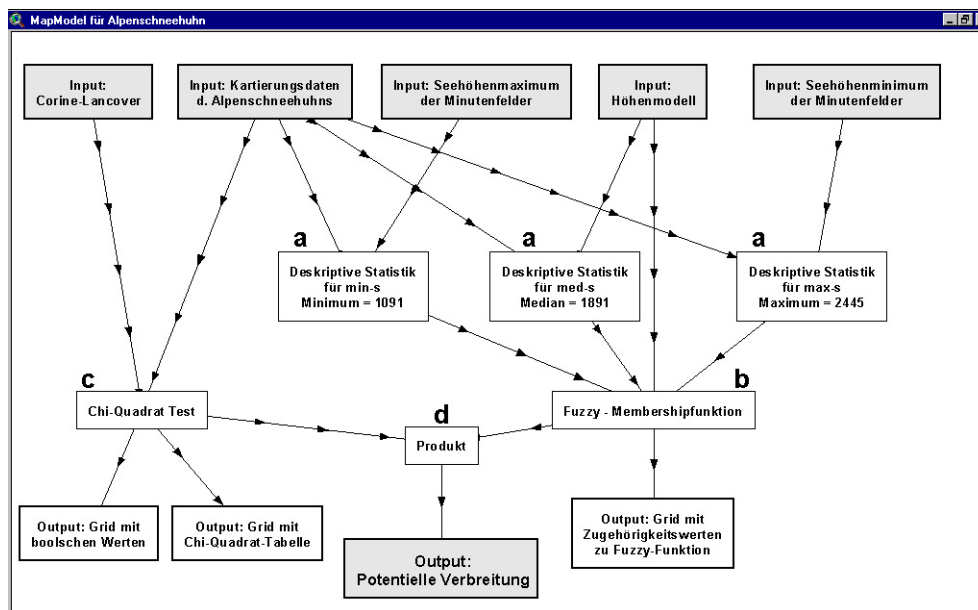


Abb. 2: MapModel zur Erstellung der potentiellen Verbreitung des Alpenschneehuhns.

Aufgrund der großen Varianz der Seehöhe innerhalb der Minutenfelder, wurde als Vorbereitung eine deskriptive Statistik der Höhenwerte für jedes Minutenfeld errechnet, aus welcher zwei Grids generiert wurden: einmal wurde allen Zellen innerhalb eines Minuten-

feldes das Seehöhenmaximum des Minutenfeldes zugeordnet, in einem anderen Grid das Seehöhenminimum.

Zur Berechnung des Minimumwertes (min_s) wurde das Kartierungsdatengrid mit dem Seehöhenmaximumgrid räumlich verschnitten und der kleinste Ergebniswert verwendet. Der Maximumwert (max_s) ergibt sich aus der Verschnidung mit dem Seehöhenminimumgrids unter Verwendung des größten Werts. Als Grundlage für den Median (med_s) diente das Original-Höhenmodell. Durch diese Vorgangsweise konnte die beste Annäherung an die Vertikalverbreitung des Alpenschneehuhns (siehe DVORAK et al. 1993) erreicht werden. Diese Kennwerte fließen in die Fuzzy-Komponente (Abbildung 2b) zur Berechnung der Möglichkeitswerte $[0,1]$ ein.

Constraints:

Als Beschränkungen (constraints) werden nominale und ordinale Variablen definiert, deren Ausprägungen einen ein- oder ausschließenden Charakter in bezug auf das potentielle Vorkommen einer Art aufweisen. Dies trifft auf alle Kollateraldaten (Tabelle 1) mit Ausnahme des Höhenmodells und seiner Derivate zu. Um den Einfluß der Ausprägungen der Umweltparameter auf die Verbreitung der Brutvögel zu überprüfen, wird ein Chi²-Test (siehe Abbildung 2c) durchgeführt (AGEE et al. 1989, ASPINALL 1992, BLASCHKE 1997b). Der Chi²-Test vergleicht eine beobachtete mit einer erwarteten Häufigkeitsverteilung und zeigt über einen Kennwert (Chi²-Wert) an, ob sich die beobachtete Häufigkeitsverteilung signifikant von der erwarteten unterscheidet. Dazu wird ein Vogelkartierungsgrid mit einem nominal oder ordinal skalierten Kollateraldatengrid räumlich verschnitten.

Die beobachtete Häufigkeit ergibt sich aus den absoluten Häufigkeiten der Vogelfundverteilung pro Kollateraldatenklasse (1 bis k).

Für jede Klasse des Umweltparameters werden aus den beobachteten (b_i) und erwarteten Häufigkeiten (e_i) sog. Abweichungswerte (a_i) berechnet, wobei eine Stetigkeitskorrektur nach Yates (YAMANE 1981) integriert ist. Der χ^2 -Wert ist die Summe aller Abweichungswerte.

$$e_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^k c_i} * \sum_{j=1}^k b_j$$

[Formel 1]

$$a_i = \frac{(|b_i - e_i| - \frac{1}{2})^2}{e_i}$$

[Formel 2]

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k a_i$$

[Formel 3]

e_i = erwartete Häufigkeit einer Klasse

c_i = Zellenanzahl der Klasse i im Kollateraldatengrid

b_j = beobachtete Häufigkeit

a_i = Abweichungswert

χ^2 = Chi-Quadrat-Wert

Im vorliegenden Fall wurde das Signifikanzniveau auf 0,1% festgelegt; auf diesem Niveau sind alle Abweichungswerte $>10,8$ signifikant (ZÖFEL 1992).

Für den Chi²-Test wurde eine MapModel-Komponente programmiert, um jene Klassen innerhalb von Kollateraldaten aufzufinden, in denen signifikant viele Brutvorkommen einer Art gemeldet wurden (Abbildung 2c).

Die Chi²-Komponente liefert zwei Ergebnisse:

- ein Grid mit booleschen Werten, in denen Flächen mit signifikant vielen Meldungen der Wert 1 und den übrigen der Wert 0 zugeordnet wird
- und eine Tabelle mit den Ergebniswerten des Chi²-Testes (beobachtete Häufigkeiten, erwartete Häufigkeiten, Chi²-Wert, Abweichungswerte, siehe Tabelle 2).

Für das Alpenschneehuhn wurde als constraint nur Corine-Landcover ausgewählt. Aufgrund der kleinen Gesamtfläche einiger Kategorien war es für die Durchführung des Chi²-Tests notwendig, einige Landbedeckungsklassen zusammenzufassen.

In der Chi²-Komponente wurden zuerst die beiden Eingangsgrids (Kartierungsdaten und Corine-Landcover) miteinander verschnitten. Für jede Klasse wurde dann die Anzahl der beobachteten Häufigkeiten festgestellt (Tabelle 2: *Beob_h*). Die erwarteten Häufigkeiten (Tabelle 2: *Erw_h*) wurden mittels Division der Anzahl der Zellen einer Klasse (Tabelle 2: *Count*) durch die Gesamtanzahl aller Zellen und anschließender Multiplikation mit der Gesamtanzahl der beobachteten Häufigkeiten berechnet (Formel 1). Aus der beobachteten und der erwarteten Häufigkeit wurde der Abweichungswert (Formel 2, Tabelle 2: *Abw_wert*) berechnet. Ist der Abweichungswert auf dem 0,1% Niveau signifikant und die beobachtete Häufigkeit größer als die erwartete, beträgt der Endwert für die jeweilige Klasse (Tabelle 2: *End_wert*) 1, ansonsten ist er 0.

Um zu überprüfen, ob sich die Gesamtverteilung der beobachteten Häufigkeiten signifikant von der erwarteten unterscheidet, wurde aus der Summe der Abweichungswerte der Chi²-Wert (Formel 3, Tabelle 2: *Chi_quad*) berechnet. Dadurch kann getestet werden, ob der betreffende Umweltparameter überhaupt einen Einfluß auf die Verteilung der Fundorte hat, oder ob diese hinsichtlich des Parameters zufällig verteilt sind. Ist der Chi²-Wert größer als ein Prüfwert ist der Unterschied zwischen den Verteilungen signifikant. Der Prüfwert für ein 0,1%-Signifikanzniveau und 20 Freiheitsgrade (= Anzahl der Klassen – 1) beträgt 37,6 (ZÖFEL 1992).

Tab. 2: Ergebnistabelle des Chi²-Testes. *Corine-Klasse*: entspricht der Corine-Landcover Nomenklatur (AUBRECHT 1998); *Count*: Anzahl der Zellen pro Corine-Klasse; *Beob_h*: Beobachtete Häufigkeiten; *Erw_h*: Erwartete Häufigkeiten; *Abw_wert*: Abweichungswert; *End_wert*: boolscher Endwert; *Chi_quad*: Chi²-Wert.

<i>Corine-Klasse</i>	<i>Count</i>	<i>Beob_h</i>	<i>Erw_h</i>	<i>Abw_wert</i>	<i>End_wert</i>	<i>Chi_quad</i>
städtisch mit durchgängiger städtischer Prägung	1120	0	8.642	7.671	0	30397.100
städtisch mit nicht durchgängiger städtischer Prägung	19624	0	151.418	150.420	0	30397.100
Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1631	0	12.585	11.605	0	30397.100
Abbauflächen	978	0	7.546	6.579	0	30397.100
künstlich angelegte nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen	515	0	3.974	3.037	0	30397.100
nicht bewässertes Ackerland	181160	0	1397.825	1396.825	0	30397.100
Weinbauflächen	9289	0	71.674	70.677	0	30397.100
Wiesen und Weiden	140259	74	1082.234	938.363	0	30397.100
heterogene landwirtschaftliche Fläche mit komplexer Parzellenstruktur	141496	0	1091.779	1090.779	0	30397.100
landw. genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe	10850	0	83.718	82.721	0	30397.100
Laubwälder	49033	46	378.337	291.052	0	30397.100
Nadelwälder	362465	1863	2796.768	311.428	0	30397.100
Mischwälder	172756	465	1332.980	564.541	0	30397.100
natürliches Grünland (alpine Matten)	88829	4289	685.402	18941.139	1	30397.100
Heiden und Moorheiden (Latschen)	27871	642	215.052	845.646	1	30397.100
Wald / Strauch Übergangsstadien	5496	180	42.407	443.193	1	30397.100
Felsflächen ohne Vegetation	59782	1626	461.276	2938.401	1	30397.100
Felsflächen mit spärlicher Vegetation	35916	1056	277.127	2186.233	1	30397.100
Gletscher / Dauerschneegebiet	9002	19	69.459	35.934	0	30397.100
Feuchtfächen im Landesinneren	2380	0	18.364	17.378	0	30397.100
Gewässertläufe	3245	0	25.038	24.048	0	30397.100
Wasserflächen	6919	7	53.387	39.440	0	30397.100

Um eine Synthese aus den Ergebnissen der Fuzzy- und der Chi²-Komponente zu ermöglichen wird für die potentielle Verbreitung schließlich das Produkt gebildet (Abbildung 2d):

Flächen, die sich zwar in einer geeigneten Höhenlage befinden, aber eine für das Alpenschneehuhn ungeeignete Landbedeckung aufweisen, werden durch die Multiplikation ausgeschlossen. Zellen mit passender Landbedeckung werden auf Basis der Seehöhe durch kontinuierliche Möglichkeitswerte bewertet.

Um eine Aussage auf dem Niveau eines Quadranten treffen zu können, wurde das Resultat mit dem Quadrantenetz verschnitten. Für jeden Quadranten wurde sowohl der Mittelwert (Abbildung 3c) und als auch das Maximum (Abbildung 3d) der Ergebniswerte der 250 x 250 m Zellen herangezogen.

3. Ergebnisse

Die Fuzzy-Komponente (Abbildung 2b) liefert ein Ergebnisgrid, das die Möglichkeit des Auftretens eines Brutereignisses des Alpenschneehuhns anhand des Faktors "Seehöhe" im österreichischen Bundesgebiet beschreibt (Abbildung 3a).

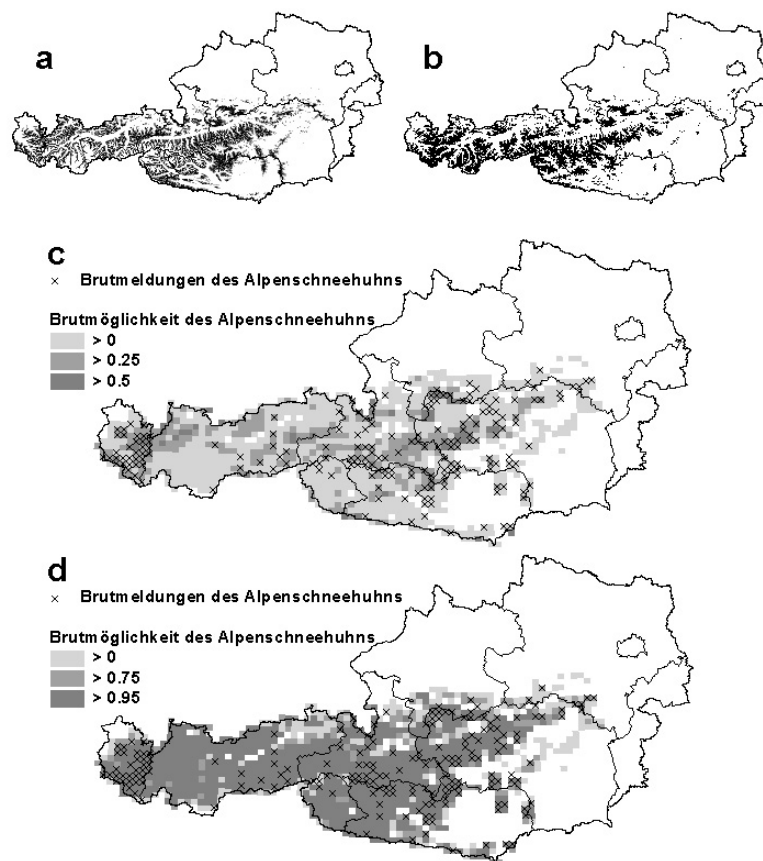


Abb. 3: Ergebnisse: a: Fuzzy-Membershipfunktion; b: χ^2 - Test; c: Aggregation auf Quadrantenbasis (Mittelwert); d: Aggregation auf Quadrantenbasis (Maximum)

Das Ergebnis der Chi²-Komponente (Abbildung 2c) ist ein Grid, das Flächen mit einer Eignung für das Vorkommen des Alpenschneehuhns anhand von Corine-Landcover ausweist (Abbildung 3b), und die Tabelle des Chi²-Testes (Tabelle 2).

Für Corine-Landcover werden folgende Klassen für das Alpenschneehuhn als potentielles Brutgebiet ausgewiesen: 321 (Natürliches Grünland = Alpine Matten), 322 (Heiden und Moorheiden = Latschen), 324 (Wald/Strauch Übergangsstadien), 332 (Felsflächen ohne Vegetation) und 333 (Flächen mit spärlicher Vegetation) (vgl. Tabelle 2).

Das potentielle Verbreitungsgebiet des Alpenschneehuhns erstreckt sich über den gesamten alpinen Raum (Abbildung 3c, d), wobei die Möglichkeit in den Zentralalpen am größten ist und gegen die Ränder hin abnimmt. Auch in Bereichen der Tallagen (z.B. Inn-, Salzach-, Enns-, Drautal) nimmt die Möglichkeit ab.

4. Diskussion und Ausblick

Das Alpenschneehuhn eignet sich als ökologischer Spezialist mit klar abgegrenzten Ansprüchen an den Lebensraum (alpine Rasen und Zwergstrauchheiden) sehr gut, um Methoden zur Erstellung der potentiellen Verbreitung zu testen.

Die Kombination von Corine-Landcover und dem Höhenmodell führt zu Ergebnissen, die mit Literaturangaben (DVORAK et al. 1993) im wesentlichen übereinstimmen.

Als arktisch-alpines Faunenelement bevorzugt das Alpenschneehuhn vegetationsarme Bereiche des Hochgebirges. Das Höhenmodell liefert eine graduelle Wertigkeit innerhalb der ausgewiesenen Flächen. Die kartierten Fundmeldungen liegen bis auf eine Ausnahme (Steiermark: Stubalpe) alle innerhalb des potentiellen Verbreitungsgebietes, in den meisten Fällen im Bereich hoher Möglichkeit.

Der Vergleich zwischen potentiellm Brutgebiet und den tatsächlich kartierten Brutvorkommen des Alpenschneehuhns offenbart die unterschiedliche Bearbeitungsdichte in Österreich (vgl. DVORAK et al. l.c., S15). Die scharfe Grenze der Kartierungen am Arlberg zeigt, daß es in Tirol keine vergleichbare flächendeckende Erhebung wie in Vorarlberg gab. Generell sind die Hochlagen erst unzureichend kartiert (DVORAK et al. l.c.). Obwohl z.B. in der Steiermark 1989 und 1990 die Brutvogelkartierung auch in den Alpengebieten intensiviert wurde, gelten die Niederen Tauern und die Steirisch-Niederösterreichischen Kalkalpen als unvollständig kartiert (SACKL & SAMWALD 1997). In weiterer Folge sollen die berechneten Potentialkarten als Entscheidungshilfen für gezielte Freilandhebungen genutzt werden, da eine flächendeckende Kartierung Österreichs auch in Zukunft kaum möglich sein wird.

Ein Vergleich der Ergebniskarten (Abbildung 3c und 3d) zeigt, daß die Verwendung des Mittelwertes bzw. des Maximums zur Beurteilung eines Quadranten eine im wesentlichen identische Grundaussage liefert. Es sind allerdings graduelle Unterschiede erkennbar, die auf unterschiedliche Betrachtungsweisen des MapModel-Ergebnisses zurückzuführen sind. Die Verwendung des Mittelwertes berücksichtigt die Werte aller 250 x 250 Zellen und liefert als gemittelte Aussage über den ganzen Quadranten eine Angabe über die zur Verfügung stehende Größe an geeignetem Brutlebensraum. Bei Einsatz des Maximums reicht eine einzige Zelle mit einem hohen Wert aus um dem ganzen Quadranten eine hohe Möglichkeit zuzuordnen. Während die Maximum-Ergebniskarte die Grenzen eines geschlossenen Verbreitungsgebietes mit seinen Vorposten und Rändern zeigt, ist in der Mittelwert-Ergebniskarte eine Differenzierung innerhalb des Verbreitungsgebietes besser

erkennbar. Diese Differenzierung ermöglicht eine detaillierte Aussage über die Antreffwahrscheinlichkeit des Alpenschneehuhns als Brutvogel.

Für die Modellierung weiterer Vogelarten wird es notwendig sein, Kombinationen von Umweltparametern (Tab. 1) zu finden, die eine optimale Beschreibung der potentiellen Verbreitung erlauben. So wird voraussichtlich die Integration des Parameters "Gewässer" eine entscheidende Rolle für die Modellierung der Verbreitung von Wasservögeln haben, während für Vögel, die natürliche und naturnahe Wälder bevorzugen, der Parameter "Hemerobie" (Grad der anthropogenen Beeinflussung) wesentlich sein wird. Für die Auswahl der zu verwendenden Parameter sind neben geeigneten statistischen Methoden wissenschaftliche Entscheidungen vorgesehen.

Für die praktische Arbeit erwies sich in dieser ersten, "eher explorativen" Projektphase der Einsatz von MapModels als sehr hilfreich. Durch die visuelle Modellierungsoberfläche wird die interdisziplinäre Zusammenarbeit von fachlichen Experten (z.B. Biologen) und Geoinformatikern wesentlich erleichtert. Weiters wird der Programmieraufwand durch den modularen Aufbau der Modelle minimiert. Durch den Einsatz der objektorientierten Programmiersprache Avenue kann die Palette der bereits implementierten Funktionen einfach erweitert werden und bei Bedarf an projektspezifische Anforderungen angepaßt werden. Dies ermöglicht, die mehr als 200 in Österreich vorkommenden Brutvogelarten unter einem vertretbaren Zeitaufwand umfassend zu bearbeiten und dadurch erstmals einen flächen-deckenden Überblick über deren potentiellen Brutareale und Diversität zu liefern.

5. Literatur

- Agee, J.K., S.C.F. Stitt, M. Nyquist & R. Root (1989): *A geographic analysis of the historical grizzly bear sightings in the North Cascades*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 55 (11): 1637-1642.
- Aspinall, R. (1992): *An inductive modelling procedure based on Bayes' theorem for analysis of pattern in spatial data*. Int. J. Geographical Information Systems, 6/2: 105-121.
- Aspinall, R. & K. Matthews (1994): *Climatic change impact on distribution and abundance of wildlife species: an analytical approach using GIS*. Environmental Pollution, 86: 217-223.
- Aubrecht, P. (1998): *Corine Landcover Österreich. Vom Satellitenbild zum digitalen Bodenbedeckungsdatensatz*. Monographien des Umweltbundesamtes, 93. 61 S.
- Blaschke, T. (1997a): *Unschärfe und GIS: "Exakte Planung mit unscharfen Daten"*. In: Schrenk, M. (ed.): *Computergestützte Raumplanung*. Beiträge zum Symposium CORP'97: 39-50. 320 S.
- Blaschke, T. (1997b): *Landschaftsanalyse und -bewertung mit GIS. Methodische Untersuchungen zu Ökosystemforschung und Naturschutz am Beispiel der bayerischen Salzachauen*. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 243, Trier.
- Dvorak, M., A. Ranner & H.-M. Berg (1993): *Atlas der Brutvögel Österreichs. Ergebnisse der Brutvogelkartierung 1981-1985 der Österreichischen Gesellschaft für Vogelkunde*. Herausgegeben vom Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. 527 S.
- Eastman, R., P. Keym, J. Toledano & W. Jin (1993): *GIS and decision making*. UNITAR Explorations in Geographic Information Systems Technology, vol. 4, 69-91, Geneve.

-
- Gentili, J. (1992): *Numerical clines and escarpments in the geographical occurrence of avian species; and a search for relevant environmental factors*. EMU, 92: 129-140.
- Grabherr, G. (1997): *The high-mountain ecosystems of the alps*. In: Wielagolaski, F.E. (ed.): *Ecosystems of the world*, 3: 97-121.
- Hausser, J. (ed.) (1995): *Säugetiere der Schweiz. Mammifères de la Suisse. Mammiferi della Svizzera*. Denkschriften der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften, Band 103. 501 S.
- Maurer, B.A. (1994): *Geographical population analysis: tools for the analysis of biodiversity*. Methods in Ecology. Blackwell Scientific Publications. 130 S.
- Niklfeld, H. (1978): *Grundfeldschlüssel für die Kartierung der Flora Mitteleuropas, südlicher Teil*. Herausgegeben von der Zentralstelle für Florenkartierung am Institut für Botanik der Universität Wien. 22 S.
- Plutzar, C. & W. Loibl (1994): *GIS gestützte Analyse der Areale von Lacertiden (Sauria: Reptilia) Ostösterreichs*. In: Strobl, J. & F. Dollinger (eds.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VI. Salzburger Geographische Materialien*, 21: 563-574.
- Reinberg, S. (1998): *Räumliche Entscheidungsfindungsprozesse und Modellbildung*. In: Strobl, J. & F. Dollinger (eds.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung; Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1998*; Wichmann Verlag Heidelberg, 1998: 269-278.
- Riedl, L. (1998): <http://esrnt1.tuwien.ac.at/MapModels/MapModels.htm>, MapModels-Homepage mit gratis-Download einer Demoversion von MapModels inkl. Demodaten und voller Dokumentation.
- Riedl, L. & R. Kalasek (1998): *MapModels – Programmieren mit Datenflußgraphen*. In: Strobl, J. & F. Dollinger (eds.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung; Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1998*; H. Wichmann Verlag Heidelberg; 1998: 279-288.
- Sachs, L. (1992): *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. Springer Verlag. 848 S.
- Sackl, P. & O. Samwald (1997): *Atlas der Brutvögel der Steiermark*. Sonderheft zu den Mitteilungen Landesmuseum Joanneum Zoologie, Graz. 432 S.
- Sharrock, J.T.R. (1973): *Ornithological Atlases*. Auspicium 5 (Suppl.): 13-15.
- Tomlin, C. D. (1990): *Geographic information systems and cartographic modelling*. Prentice-Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 1990. 249 S.
- Walker, P.A. (1990): *Modelling wildlife distributions using a geographic information system: kangaroos in relation to climate*. J. Biogeogr., 17: 279-289.
- Yamane, T. (1981): *Statistik, Ein einführendes Lehrbuch. Band 2*. Fischer Taschenbuch Verlag. 426 S.
- Zöfel, P. (1992): *Statistik in der Praxis*. UTB Gustav Fischer Verlag. 422 S.