



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

Modellierung von zeitzyklisch variierenden Raumnutzungsmustern am Beispiel des Alpenschneehuhns im Nationalpark Berchtesgaden

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Landschaftsarchitektur (FH)
Michaela Künzl

u1139, UNIGIS MSc Jahrgang 2004

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) –
MSc(GIS)“

Gutachter:

Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Berchtesgaden, 31. Juli 2007

Erklärung:

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.

Berchtesgaden den 31. Juli 2007,

Michaela Künzl

Zusammenfassung

Nationalparke verfolgen das Ziel, die Natur in ihrer freien und möglichst vom Menschen unbeeinflussten Entwicklungsdynamik zu schützen. Gleichzeitig sollen Nationalparke aber auch dem Menschen für Erholungszwecke offen sein. Umsetzungsorientierte Nationalparkforschung muss im Sinne eines fachübergreifenden Managements helfen, die Einflüsse von Nutzungen auf die Naturgüter differenziert zu bewerten. Zeitgemäßes Management erfordert daher neben räumlichen vermehrt auch zeitliche Einflussfaktoren zu analysieren. Neben Veränderungen über längere Zeiträume hinweg müssen auch räumlich-funktionale Beziehungen einzelner Arten zu ihren Habitatansprüchen im Verlauf eines Jahres fokussiert werden. Empfehlungen, wie zeitzyklische Rhythmen in die GIS-gestützte Habitatmodellierung Eingang finden können, sind in standardisierter Form jedoch bisher nicht bekannt.

Ziel vorliegenden Ansatzes ist es am Beispiel des Alpenschneehuhns (*Lagopus mutus*) im Nationalpark Berchtesgaden klassisch raumbezogene Modellierungsansätze mit zeitlichen Modellierungsmethoden zu verknüpfen, um somit beispielhaft zeitzyklische Phänomene mit Hilfe von GIS in das Schutzgebietsmanagement zu integrieren. Durch die schrittweise Abstraktion räumlicher und zeitlicher Habitateignungsfaktoren wird eine Annäherung an raum-zeitliche Verteilungsmuster des Alpenschneehuhns im Jahresverlauf angestrebt. Hierzu wurde die jahreszyklische Lebensweise des Alpenschneehuhns in acht verschiedene Lebensphasen diskretisiert und darauf aufbauend der gesamte Zeitverlauf logisch strukturiert. Geeignete Variablen für diese Strukturierung entstammen teilweise aus Animationstechniken, was den fließenden Übergang zwischen Datenmodellen, Analyse- und Visualisierungstechniken bei der Zeit-Integration in GIS verdeutlicht. Die softwarespezifische Modellumsetzung erfolgt als statisches Prozessmodell in ArcGIS 9.2 mit Hilfe von Model Builder und Animation Manager. Hinsichtlich der ausgewählten Modellparameter *Höhe*, *Hangneigung* und *Exposition* konnten somit als Ergebnis der Modellierung erste räumlich explizite Hypothesen zu zeitzyklisch variierenden Raumnutzungsmustern formuliert werden. Obwohl die Repräsentation als animierte „time-slices“ noch nicht die Einschätzung als echtes Zeit integrierendes GIS rechtfertigt, stellt diese experimentelle Studie jedoch eine zielführende Methode dar, raum-zeitliches Prozessverständnis zu unterstützen. Aufbauend auf diesem Erkenntniszuwachs können vorliegende Ergebnisse als Grundlage für die Weiterentwicklung des Modells und als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung im Schutzgebietsmanagement dienen.

Abstract

National parks pursue the objective of protecting undisturbed dynamics of natural environments under optimized reduction of human influence. At the same time national parks should provide access to human beings for recreational purposes. Applied national park research therefore has to support - with regard to a cross-sectoral management - the assessment of land use impacts on natural resources and the differentiated analysis of resulting conflicts. According to the requirements of modern protected area management this demands the analysis of spatial and increasingly also of temporal input factors. In addition to long term changes over several years, the functional space referred relationships of species to their habitat requirements in the annual course of seasons have to be focussed as well. However, recommendations as to how time-cyclic rhythms could be integrated in a standardized procedure into GIS based habitat modelling are not yet known.

The objective of the present study is to combine classical spatial modelling approaches with temporal modelling methods based on the example of the rock ptarmigan (*Lagopus mutus*) in the Berchtesgaden National Park and thus to integrate in an exemplary way time-cyclic phenomena into protected area management by the means of GIS. The stepwise abstraction of spatial and temporal habitat suitability factors aims at approaching spatial and temporal distribution patterns of the rock ptarmigan in the course of the year. To this purpose the annual behavioural cycle of the rock ptarmigan was discretized into eight different life phases that served to structure logically the complete annual course. Suitable variables for this structuring process originate partly from animation techniques. This emphasizes the gradual transition between data models, analysing techniques and visualization techniques when integrating time into GIS. The software specific model implementation is realized as static process model in ArcGIS 9.2 using Model Builder and Animation Manager. Concerning the selected model parameters *altitude, slope and aspect* first spatially explicit hypotheses on time-cyclically varying patterns of spatial use emerged as results from the modelling process. Although the representation as animated time-slices does not yet justify the assessment as a genuine time integrative GIS, the present experimental study is an appropriate method to support the understanding of time and space dependent processes. Based on this knowledge increase the obtained results can serve as basis for the further development of the model and as decision finding tool in protected area management.

*„Hypothesen sind Salz und Pfeffer in der Forschung“
(Hermann Remmert 1978)*

Danksagung

Vorliegende Arbeit aber auch das gesamte UNIGIS-Studium wäre ohne die Unterstützung vieler Menschen wesentlich schwieriger und in mancherlei Hinsicht auch weniger wertvoll gewesen – Ihnen allen gilt mein Dank. Ganz besonders möchte ich mich bei folgenden Personen und Institutionen bedanken:

- Herrn Prof. Dr. Josef Strobl für die Betreuung der Arbeit und „inspirierende Gegenfragen“, die wertvolle Entwicklungsimpulse gaben.
- Dem UNIGIS-Team für die wirklich angenehme und kompetente Studienatmosphäre.
- Der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden allen voran Herrn Dr. Michael Vogel für umfangreiche infrastrukturelle und ideelle Unterstützung.
- Helmut Franz und Anton Wein für die EDV-technische Unterstützung während des gesamten Studiums ohne die manches nicht möglich und vieles erheblich schwieriger gewesen wäre.
- Barbara und Thomas Bittl sowie Annette Lotz für das Korrekturlesen der Arbeit bei gleichzeitigem „Motivationsauftrag“.
- Frau Dr. Sabine Hennig für viele konstruktive Diskussionen im GIS-Zusammenhang.
- Allen Kolleginnen und Kollegen für GIS-Tipps, Gespräche, Kritik und Verständnis für die außergewöhnliche Situation eines nebenberuflichen Aufbaustudiums.
- Der Salzburger Landesregierung, die Daten und autökologisches Wissen zum Alpenschneehuhn aus angrenzendem österreichischem Gebiet zur Verfügung gestellt hat.
- Meiner Familie für umfassende Lebensunterstützung.
- Meinem Lebenspartner Josef, der mich inzwischen nun zum zweiten mal geduldig durch die Höhen und Tiefen eines Studiums begleitet hat.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1. Einleitung	1
1.1. Zeitliche Aspekte im Management alpiner Schutzgebiete.....	1
1.2. Zeit integrierende Habitateignungsmodelle - Entwicklungsstand und Anforderungen.....	2
1.3. Zeitzyklische Modellentwicklung	3
2. Modellierung von Zeit- und Raumaspekten.....	4
2.1. Habitatmodelle	4
2.1.1. Begriffsbestimmung	4
2.1.2. Einsatzbereiche von Habitatmodellen	5
2.1.3. Typisierung von Habitatmodellen	6
2.1.4. Modellierungsprozess wissenschaftlicher Habitateignungsmodelle	7
2.2. Modellierung zeitlicher Aspekte.....	13
2.2.1. Begriffsbestimmung	13
2.2.2. Typisierung von Zeit	13
2.2.3. Zeitkonzepte in GIS	15
2.2.4. Abbildungsmethoden von Zeitaspekten	17
3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns	21
3.1. Das Untersuchungsgebiet Nationalpark Berchtesgaden.....	23
3.2. Das Alpenschneehuhn (<i>Lagopus mutus helveticus</i>).....	24
3.3. Zielsetzung des Modells	26
3.4. Konzeptionelles Modell	27
3.4.1. Identifizieren der Modellparameter	27
3.4.2. Diskretisierung des Zeitverlaufs	28
3.4.3. Eignungsbewertung der Variablen pro Lebensphase	31
3.4.3.1. Parameter Höhe	32
3.4.3.2. Parameter Exposition	34
3.4.3.3. Parameter Neigung	36
3.5. Logisches Modell	37
3.5.1. Definition der Beziehungen zwischen den Modellparametern	37
3.5.2. Strukturierung des Zeitverlaufs	38
3.6. Physische Umsetzung in Arc GIS 9.2	41
3.6.1. Modellierung mit Model Builder	41
3.6.2. Visualisierung mittels „Animation Manager“	43
3.7. Modellverifizierung	43
4. Diskussion.....	45
4.1. Anwendbarkeit des Modells im Nationalparkmanagement.....	45
4.2. Räumliche Modelldimension.....	47
4.3. Zeitbezogene Modelldimension.....	50
4.4. Fazit.....	56
5. Quellenverzeichnis	58

Verzeichnis der Abbildungen und verwendete Abkürzungen

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Abstraktionsschritte im Modellierungsprozess.....	8
Abbildung 2: Modellierungsprozess nach HSI-Methode	9
Abbildung 3: Verifikationslevel nach HSI-Methode.....	12
Abbildung 4: Zeitverlaufsmodelle nach WORBOYS & DUCKHAM 2004.....	14
Abbildung 5: Entwicklungsphasen Zeit integrierender GISysteme nach WORBOYS 2004	16
Abbildung 6: "Object lifelines“, Quelle: WORBOYS & DUCKHAM 2004, S. 363.....	17
Abbildung 7: Variablen zur Strukturierung des Zeitverlaufs	19
Abbildung 8: "The map use cube“, Quelle: OTT & SWIACZNY 2001, S. 145	20
Abbildung 9: Zeit integrierender Methodenaufbau	22
Abbildung 10: Hauptlebensphasen des Alpenschneehuhns.....	30
Abbildung 11: Diskretisierter Jahreszyklus.....	30
Abbildung 12: Höhenlage der Punktbeobachtungsdaten im Zeitverlauf (Monate).....	33
Abbildung 13: Eignungsbewertung des Parameters Höhe.....	34
Abbildung 14: Exposition der Punktbeobachtungsdaten im Zeitverlauf (Monate).....	35
Abbildung 15: Eignungsbewertung des Parameters Exposition	35
Abbildung 16: Neigung der Punktbeobachtungsdaten im Zeitverlauf (Monate).....	36
Abbildung 17: Eignungsbewertung des Paramtets Neigung	37
Abbildung 18: Logische Verknüpfung der Modellparameter.....	38
Abbildung 19: Strukturierung des Zeitverlaufs	40
Abbildung 20: Modellaufbau in Model Builder 9.2	41
Abbildung 21: Räumlich explizite Eignungsbewertung pro Lebensphase	42
Abbildung 22: Umsetzung des Zeitverlaufs mittels „Animation Manager“ ArcGIS 9.2	43
Abbildung 23: Modellverifizierung.....	44
Abbildung 24: Zieldimensionen der Nationalparkforschung	45
Abbildung 25: Hierarchischer Modellansatz	49
Abbildung 26: Zeitliche Aufeinanderfolge der errechneten Eignungswerte	51
Abbildung 27: Verbindung zyklischer und linearer Zeitmodelle	53

Verwendete Abkürzungen:

FFH	Fauna-Flora-Habitatrichtlinie
GIS	Geographisches Informationssystem
HIK	HABITALP Interpretation Key
HSI	Habitat Suitability Index

1. Einleitung

Nationalparke verfolgen das Ziel die Natur in ihrer freien und möglichst vom Menschen unbeeinflussten Entwicklungsdynamik zu schützen. Als einziger alpiner Nationalpark in Deutschland ist die Verantwortung des Nationalparks Berchtesgaden für alpine Ökosysteme besonders hoch. Gleichzeitig sollen Nationalparke aber auch dem Menschen für Erholungszwecke offen sein. Umsetzungsorientierte Nationalparkforschung muss im Sinne eines fachübergreifenden Managements helfen, die Einflüsse von Nutzungen auf die Naturgüter zu bewerten und in Folge dessen Zielkonflikte differenziert zu betrachten. Die in den Großschutzgebieten erarbeiteten Forschungsansätze sollen zudem einen Beitrag zur Lösung „örtlicher, überregionaler und globaler Umweltprobleme“ (BayStMLU 2001) leisten. Nationalparke können demnach als Modellregionen betrachtet werden, in denen praxisorientierte Forschungsstrategien weiter entwickelt und erprobt werden sollen. Aufgrund der Flächenausdehnung von Großschutzgebieten sowie der oft schwierigen Zugänglichkeit ursprünglicher Landschaften liegt der Einsatz von GIS im Management nahe. Um ein besseres Verständnis zur Lebensraumwahl einzelner Arten zu erlangen, sind Habitatmodelle ein inzwischen häufig verwendetes Instrument. Klassische Ansätze der Habitatmodellierung formulieren standardisierte Vorgehensweisen für die Prognose geeigneter Habitate im Raum (z.B. Habitat Suitability Index des U.S. Fish & Wildlife Service). Jedoch erfordern praktische Managementaufgaben darüber hinaus auch zeitlich differenzierte Aussagen zu treffen, um Pauschalisierungen zu vermeiden und sich verändernden Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen. Vor diesem Hintergrund ist es daher notwendig, sich vermehrt GIS-gestützten Ansätzen der Integration von Zeitaspekten im Schutzgebietsmanagement zu widmen.

1.1. Zeitliche Aspekte im Management alpiner Schutzgebiete

Zeitliche Aspekte prägen auch in Bergregionen seit jeher die natürlichen Abläufe sowie die Aktivitäten der wirtschaftenden Menschen. Anpassungsmechanismen von Pflanzen und Tieren an enge Zeitfenster sowie traditionell gewachsene Rhythmen in Bewirtschaftungsformen verdeutlichen dies. Auch moderne Landnutzungsformen, zu welchen beispielsweise Erholungsaktivitäten zählen, werden von zeitlichen Einflussfaktoren (wie z.B. Sonneneinstrahlung, Schneebedeckung) gesteuert. Letztendlich sind darüber hinaus auch Wechselwirkungen bzw. negative Einflusspotentiale menschlicher Nutzungen auf die natürlichen Schutzgüter saisonal verschieden und von der Tageszeit abhängig (INGOLD 2005). Einerseits wählen die Tiere in Abhängigkeit der Lebensphase häufig unterschiedliche Orte im Jahresverlauf. Andererseits verändert sich aber auch die Störungsempfindlichkeit einzelner Arten mit den Lebensphasen. In den Phasen der Reproduktion

und zu Zeiten von Energieknappheit (v.a. im Winter) reagieren die Tiere besonders sensibel auf Störeinflüsse (INGOLD 2005). Gerade bei jahreszeitlich mobilen Arten führt die Abgrenzung von potentiell geeigneten Lebensräumen ohne differenzierte Betrachtung zeitlich variierender Raumnutzungsmuster häufig zu ungenauen Aussagen bzw. Pauschalisierungen, die entweder Wirksamkeit und Akzeptanz von Maßnahmen beeinträchtigen oder aber den Forschungs- und Geländeaufwand unnötig erhöhen. Denn die schwierige Beobachtungssituation mobiler Arten in alpinen Lebensräumen erfordert bereits bei der Planung von Geländeerhebungen raum-zeitliche Vorkommenshypothesen. Eine für ein zeitgemäßes Schutzgebietsmanagement notwendige differenzierte Betrachtung des Gesamtbeziehungsgefüges muss daher effektive Methoden entwickeln, neben räumlichen vermehrt auch zeitliche Einflussfaktoren in Forschungs- und Managementstrategien mit einzubeziehen.

1.2. Zeit integrierende Habitataignungsmodelle - Entwicklungsstand und Anforderungen

Dem breiten Anforderungsprofil seitens des Managements steht eine vergleichsweise junge Entwicklung der Integration von Zeitaspekten in GIS gegenüber. GI-Systeme müssen sich dem zufolge in allen vier ihrer Kernfunktionalitäten (Eingabe, Vorhalten, Analyse und Ausgabe) weiterentwickeln, um zeitbezogene Ansätze optimal zu unterstützen. Zwar beginnen GIS einige praxisorientierte Funktionalitäten vorzuhalten, jedoch bedürfen echte zeitintegrierende Analysemethoden noch weiterer Erforschung (vgl. IMFELD 2000; WORBOYS & DUCKHAM 2004).

Entsprechend dieser allgemeinen Einschätzung zur Integration von Zeit in GIS, lassen sich auch bei Literaturrecherchen zur Integration von Zeitaspekten in Habitatmodelle kaum Methodenempfehlungen finden. Im Bereich der Habitataignungsmodelle werden häufiger einzelne „Jahreszeitenmodelle“ in der Regel für Sommer und Winter als am meisten unterschiedliche Eignungsausprägungen berechnet (GALLAUN et al. 2005).

Empfehlungen und Umsetzungsbeispiele wie zeitzyklische Rhythmen in Habitatmodelle eingehen sollen, sind in standardisierter Form nicht bekannt. Die bislang noch am meisten praktizierte Form der Visualisierung und Analyse der saisonalen Veränderung in der Habitatwahl von Tieren ist die Selektion und Darstellung von Beobachtungsdaten nach Monaten. Diese Form der zeitlichen Diskretisierung ist jedoch mit Schwächen verbunden, denn manche Veränderungen unterliegen längeren oder kürzeren Rhythmen als eine Monatslänge, wieder andere verlaufen nicht synchron zur kalendarischen Betrachtungsweise (vgl. IMFELD 2000).

Einige aktuelle Modellansätze befassen sich mit der Frage, wie im Zeitverlauf sich verändernde Habitatparameter (z.B. Strukturdaten) in Modellierungsprozesse eingebracht

werden können (vgl. LAUSCH 2004). Wieder andere verwenden Hypothesen zur Veränderung der Umweltparameter im Zuge des Klimawandels für die Szenarienentwicklung hinsichtlich künftig geeigneter Habitats (vgl. SCHAUMBERGER et al. 2005).

Neben schlaglichtartigen statischen Betrachtungsformen und der Auseinandersetzung mit Zeitverläufen über Jahrzehnte hinweg, müssen jedoch ergänzend dazu auch räumlich-funktionale Beziehungen einer Art zu ihren Habitatansprüchen im Verlauf eines Jahres fokussiert werden, um planerischen Anforderungen gerecht zu werden. Dabei ist der Vorteil zeitzyklischer Modellierungsansätze nicht nur im Modellergebnis also der Prognose der Verteilung von Organismen im Jahresverlauf zu sehen. Durch die Formalisierung zeitzyklischer Phänomene im Zuge der Modellbildung kann auch ein besseres Verständnis gewonnen werden, warum diese Veränderungen stattfinden. Werden unterschiedliche zeitzyklisch gesteuerte Prozesse derart abstrahiert, können im weiteren auch Beziehungen zwischen verschiedenen Phänomenen hergestellt werden. Durch eine relative Synchronisierung können so beispielsweise Interaktionen zwischen Schutzgütern und Nutzungen herausgearbeitet werden. Dies unterstützt Forschungsziele hinsichtlich Basis- und Prozesswissen im Schutzgebietsmanagement und kann so auch Grundlage für weitere Handlungsentscheidungen sein.

1.3. Zeitzyklische Modellentwicklung

Am Beispiel des Alpenschneehuhns im Nationalpark Berchtesgaden soll daher ein Ansatz erprobt werden, zeitzyklische Aspekte in relativer Art und Weise in die Modellierung potentiell geeigneter Habitats einzubinden. Dies erfolgt durch die Integration zeitbezogener Faktoren in etablierte Methoden der Habitateignungsmodellierung. Als eine für die Alpen endemische Unterart ist das Alpenschneehuhn eng an alpine Verhältnisse gebunden. Im Jahresverlauf führt es deutliche Vertikalwanderungen durch, weshalb es sich für die Betrachtung vor einem zeitzyklischen Hintergrund gut für die Modellierung eignet. Als gefährdete und aufgrund seiner geographischen Restriktion von Natur aus seltene und geschützte Art (u.a. Natura 2000) stellt das Alpenschneehuhn eine Zielart im Management des Nationalparks Berchtesgaden dar. Gleichzeitig ist der Kenntnisstand zur Art im Gebiet bisher gering.

Aufbauend auf autökologischen Angaben wird in einem wissensbasierten Modellierungsansatz die raum-zeitliche Veränderung im Jahresverlauf für das Alpenschneehuhn im Nationalpark Berchtesgaden geeigneter Habitats abgeschätzt. Entsprechend der räumlichen Dimension der Habitatmodellierung muss auch die zeitliche Dimension schrittweise abstrahiert und in einem Modell umgesetzt werden. Neben der Identifikation modellierungsrelevanter Habitatparameter muss hierzu auch der Lebenszyklus der

Wildtiere in modellierbare Lebensphasen unterteilt, d.h. diskretisiert werden. In Anlehnung an die Habitat Suitability Index-Methode des U.S. Fish & Wildlife Service werden ausgewählte Habitatparameter entsprechend ihrer Habitateignung pro Lebensphase numerisch bewertet und mit Hilfe verfügbarer Rasterdatensätze in Model Builder ArcGIS 9.2 in die Fläche transformiert. Die hieraus resultierenden raumkonkreten Eignungsbewertungen dienen als Grundbausteine für die logische Strukturierung des Zeitverlaufs. Die Visualisierung erfolgt mittels Animation Manager in ArcGIS 9.2. Das so erzeugte Quasikontinuum kann als Annäherung an die zeitzyklische Variabilität für das Alpenschneehuhn geeigneter Habitate im Jahresverlauf dienen.

2. Modellierung von Zeit- und Raumaspekten

Ziel vorliegenden Ansatzes ist es, Zeitaspekte in klassisch raumbezogene Modellierungsansätze zu integrieren, um sich GIS-gestützt an saisonal variierende Raumanprüche von Tierarten anzunähern. Hierzu bedarf es sich grundsätzlich mit einigen Begriffen, Methoden und aktuellen Rahmenbedingungen hinsichtlich der räumlichen und der zeitlichen Dimension auseinander zu setzen. Einige ausgewählte Aspekte werden im folgenden Teil der Arbeit behandelt, bevor die konkrete Umsetzung der Modellbildung am Beispiel des Alpenschneehuhns im Nationalpark Berchtesgaden genauer beschrieben wird.

2.1. Habitatmodelle

Habitatmodelle setzen sich räumlich explizit mit der Lebensraumwahl einzelner Arten oder Artenkollektive auseinander. Dabei wird aktuell eine große Bandbreite an Begriffen und Methoden verwendet. Die für vorliegenden Ansatz relevanten Aspekte werden daher im Folgenden abgegrenzt.

2.1.1. Begriffsbestimmung

(Teil)Habitat

„Unter einem Habitat wird der individuelle und raumkonkrete Lebensraum der Individuen einer Art verstanden, d.h. der Raum, in dem sie regelmäßig anzutreffen sind oder in dem sie regelmäßig vorkommen und sich fortpflanzen“ (PLACHTER et al. 2002, S.115). „Unter den Teilhabitaten einer (Tier-)Art versteht man die verschiedenen Bestandteile des Gesamtlebensraumes, die für die Art unterschiedliche Funktionen beinhalten und in einer spezifischen Kombination über räumlich-funktionale Beziehungen

miteinander verknüpft sind (z.B. Nahrungsfläche, Brutplatz, Winterquartier, Schlafplatz)“ (PLACHTER et al. 2002, S. 117).

Modell

„Ein Modell unternimmt den Versuch, die komplexe Wirklichkeit verständlich und anschaulich darzustellen, ist also eine Abstraktion und Beschreibung der realen Welt oder eines Teiles davon [...]. Hierzu abstrahiert man die reale Welt und die darin auftretenden Zusammenhänge und Prozesse. Modelle können daher immer nur einen kleinen zielgerichteten und zweckgebundenen Ausschnitt der komplexen Realität repräsentieren“ (<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de>).

Habitatmodell

Habitatmodelle stellen demnach eine abstrahierte und zielgerichtete Interpretation der an sich komplexen Lebensraumwahl von Arten dar. „Habitatmodelle beschreiben funktionale Zusammenhänge der Beziehung zwischen Organismen und ihrem Lebensraum und quantifizieren die Qualität des Habitats aus der Sicht dieser Organismen“ (SCHRÖDER et al. 2003, S. 5).

2.1.2. Einsatzbereiche von Habitatmodellen

„Ganz allgemein gesprochen, findet Modellierung von räumlichen Phänomenen dann Anwendung, wenn zu dem entsprechenden Phänomen keine flächendeckenden Daten vorliegen“ (LANG & BLASCHKE 2007, S. 201). Habitatmodelle kommen demnach zum Einsatz, wenn keine flächendeckenden Informationen zu den Verteilungsmustern einer oder mehrerer Art(en) vorhanden sind. Dabei versprechen nicht alle Arten gleichermaßen gute Prognosegüten. „Besonders verlässlich gelten Modelle für Arten, die spezifische Habitatansprüche haben, eine geringe Mobilität aufweisen und zudem eine hohe Findungsrate im Gelände aufweisen. Solche stenotope Arten mit hohem Spezialisierungsgrad und hohen ökologischen Ansprüchen sind oftmals auf bestimmte Standorttypen beschränkt und daher auch im Sinne des Naturschutzes oftmals besonders wertgebend“ (PLACHTER et al. 2002). Flächendeckende Information zur raum-zeitlichen Verteilung dieser Organismen im Gelände ist daher aus naturschutzplanerischer Sicht von großem Interesse.

Laut SCHRÖDER et. al. widmen sich Habitatmodelle zwei unterschiedlichen aber miteinander verbundenen möglichen Fragestellungen:

Erstens dem Verständnis der Art-Habitat-Beziehung, mit Fragen wie folgenden:

- „Welche Umwelteigenschaften bestimmen die räumliche Verteilung von Art x oder Lebensgemeinschaft y?“
- „Wo verspricht die Wiederansiedlung einer bestimmten Art Erfolg?“

Und zweitens der Prognose der räumlichen Verteilung von Organismen

- „Welche Verteilung ist in einem nicht untersuchten Gebiet zu erwarten?“
- „Wie kann ein sinnvolles Monitoringsystem zur Beurteilung von Managementmaßnahmen für eine Art y gestaltet werden?“

(SCHRÖDER & REINEKING 2004; S. 5)

Der zunehmenden Bedeutung des Faktors Zeit in GIS-Systemen folgend, fokussieren aktuelle Ansätze auch in der Zielsetzung von Habitatmodellen zunehmend zeitliche Aspekte: „Untersuchungsgegenstand der Habitatmodellierung sind Arten sowie dessen [sic] Habitate und Habitatstrukturen unterschiedlicher räumlicher als auch zeitlicher Dimension“. [...] „Habitat- und Populationsmodelle stellen ein wichtiges methodisches Instrument dar, um einen besseren Zugang bzw. ein Verständnis über das raum-zeitliche Verhalten von Art-Habitatinteraktionen zu erhalten“ (LAUSCH 2004, S. 69). Dementsprechend finden auch vermehrt Modellansätze vor dem Hintergrund der Szenarienentwicklung Anwendung.

Als Abstraktionen der real wesentlich komplexeren Wirkungsgefüge, müssen Modelle immer als Annäherung an die tatsächlichen Zusammenhänge verstanden werden. Sie liefern Hypothesen, die durch Experimente, theoretische Analysen und wiederholte Untersuchungen geprüft werden müssen (vgl. REMMERT, 1978).

2.1.3. Typisierung von Habitatmodellen

Das in den letzten Jahrzehnten gewachsene Einsatzspektrum von Habitatmodellen sowie EDV-technische Weiterentwicklungen haben eine Vielzahl an Methoden und Vorgehensweisen hervorgebracht, sich der Habitatmodellierung anzunähern (vgl. DORMANN et al. 2004). Im Rahmen vorliegender Arbeit werden zwei Haupttypen von Habitatmodellen aufgrund ihrer methodisch grundsätzlich unterschiedlichen Vorgehensweise differenziert.

Zum einen sind dies *statistische Habitatmodelle*, die unter Anwendung statistischer Methoden (v.a. Regressionsgleichungen und Diskriminanzanalysen) aus vorhandenen (meist) Punktnachweisen zur Art, flächenhafte Vorkommenswahrscheinlichkeiten in einem abgegrenzten Untersuchungsgebiet prognostizieren (vgl. SCHRÖDER & REINEKING 2004).

Demgegenüber stehen sogenannte *Wissensbasierte Modelle*. Bei dieser Art der Modellbildung werden die Modellregeln nicht statistisch abgeleitet, sondern mittels Literaturrecherchen und Expertenwissen erarbeitet (vgl. GALLAUN et al. 2006).

Durch die zunehmende Verfügbarkeit geeigneter Software und Methoden werden Habitatmodelle vermehrt unter Anwendung statistischer Verfahren erstellt. Dies setzt jedoch gleichzeitig die Verfügbarkeit geeigneter Daten in Raum- und Zeitbezug voraus, sowohl hinsichtlich der Tierart selbst als auch bezüglich der beschreibenden Habitatparameter. „Aufgelöste Verbreitungs- und Vorkommensdaten [sind] nur für wenige Arten vorhanden, bzw. [wird] die Veränderung der Landschaft nicht in artrelevanten Parametern erfasst“ (LAUSCH. 2004, S.87). Bei bislang wenig standardisiert kartierten Tierarten mit folglich oft unbekanntem raum-zeitlichen Verteilungsmustern und ökologischen Wechselwirkungen, kommen auch heute noch – insbesondere im Rahmen von entscheidungsunterstützenden Planungssystemen – häufig wissensbasierte Modelle zum Einsatz (vgl. GALLAUN et al. 2005, ERBER & LEITNER 2000).

Auch die im Folgenden vorgestellte Modellierung jahreszyklisch variierender Habitateignungspotentiale des Alpenschneehuhns erfolgt als wissensbasierter Ansatz. Statistische Verfahren werden daher nicht weiter berücksichtigt. Ein bereits seit den 1980er Jahren in den USA als Entscheidungsinstrument in Landnutzungsfragen etablierter wissensbasierter Modellierungsansatz ist die Habitat Suitability Index Methode (HSI) des U.S. Fish & Wildlife Service. „Der HSI ist definiert als numerischer Index für die Eignung eines gegebenen Lebensraumes einer Zielart bestimmte Bedingungen zu bieten“ (BASSI 2003, S. 30). Aus HSI-Modellen können keine kausalen Zusammenhänge abgeleitet werden. Allerdings vermögen sie in einfacher und nachvollziehbarer Form wesentliche Umweltfaktoren darzustellen, von denen angenommen wird, dass sie die Habitateignung für Wildtierarten am stärksten beeinflussen. Durch die im Rahmen der HSI-Methode standardisierte Vorgehensweise werden bei Anwendung dieser nicht nur Modellierungsergebnisse, sondern der gesamte konzeptionelle, logische und physische Modellaufbau nachvollziehbar strukturiert und dokumentiert (vgl. BASSI 2003).

2.1.4. Modellierungsprozess wissensbasierter Habitateignungsmodelle

Mit jeglicher Modellierung verbunden sind verschiedene Schritte der Abstraktion und Reduktion real komplexer Wirkungsgefüge auf einfache, aber wesentliche und gleichzeitig im Modell umsetzbare Teilaspekte. Die Datenmodellierung im Kontext von GIS-Systemen wird häufig als prozeßhafte Vorgehensweise, ausgehend von den Gegeben-

heiten der realen Welt über konzeptionelle und logische Modellierungsphase hin zur softwarespezifischen physischen Umsetzung beschrieben (vgl. Abb. 1).

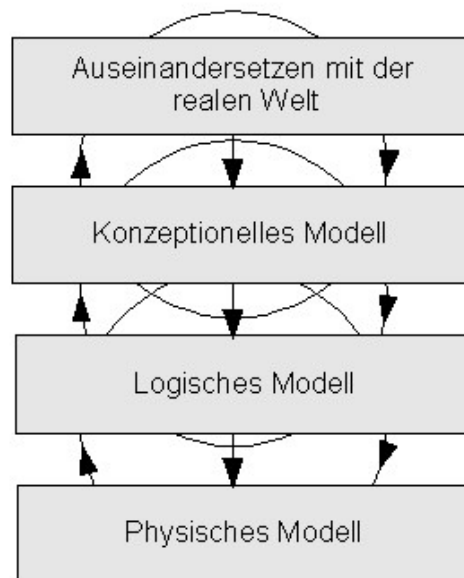


Abbildung 1: Abstraktionsschritte im Modellierungsprozess

Aus der Auseinandersetzung mit der realen Welt heraus werden in der Phase der konzeptionellen Modellierung relevante Teilaspekte identifiziert. Diese Reduktion auf einige wesentliche Aspekte muss fallspezifisch vor dem Hintergrund der jeweiligen Modellzielsetzung erfolgen. Die Phase der logischen Modellierung bereitet durch die Synthese der Teilaspekte die physische und damit softwarespezifische Modellumsetzung vor. Im Modellierungsprozess erfolgt somit eine zunehmende Transformation realer Bedingungen in Daten und Regeln, die computergestützt verarbeitet werden können. Dabei muss der gesamte Ablauf als iterativer Prozess verstanden werden. Erfahrungen aus den folgenden Modellierungsphasen können und müssen in die vorherigen Überlegungen erneut Eingang finden.

Dieser Prozess der zunehmenden Abstrahierung geht bei wissensbasierten Modellen auf Expertenwissen und Literaturangaben als Beschreibungen der realen Gegebenheiten zurück. Seitens des U.S. Fish & Wildlife Service wurde ein standardisiertes Vorgehen beschrieben, wie diese Abstraktionsschritte auf Habitateignungsmodelle anzuwenden sind. Ein HSI-Modell entsteht in fünf Phasen. Abbildung 2 veranschaulicht diese und stellt parallel dazu den Bezug zum allgemeinen Modellierungsvorgang her.

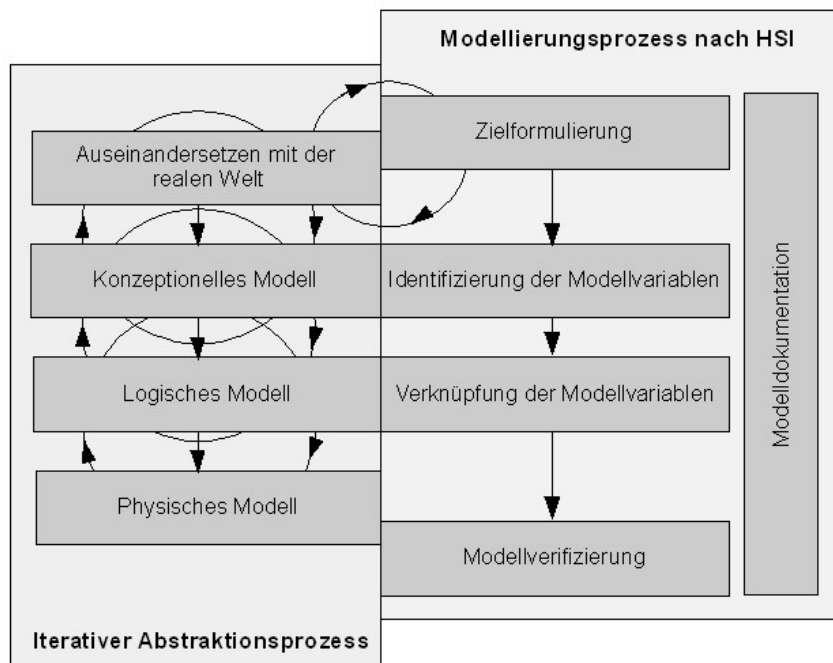


Abbildung 2: Modellierungsprozess nach HSI-Methode

Phase 1 nach HSI: Zielformulierung

Zu Beginn der Modellbildung sieht die HSI-Methode die genaue Festlegung der Modellziele vor. Neben der Definition von Qualitätsanforderungen (idealer und akzeptabler output) sind geographischer Gültigkeitsbereich sowie jahreszeitliche Anwendbarkeit zu formulieren.

Phase 2 nach HSI: Identifizieren der Modellvariablen

Bei der Habitatmodellierung nach HSI-Methode beinhaltet die konzeptionelle Phase konkret die Identifikation von Variablen und im Weiteren messbarer Parameter, welche die Habitateignung zu beschreiben vermögen. Es gibt einige wichtige Voraussetzungen für die Wahl der richtigen Parameter und für die Erstellung aussagekräftiger Arbeitshypothesen. Eine davon ist die detaillierte Kenntnis der Biologie der untersuchten Arten, sowohl anhand eigener Erfahrung bzw. von Experteneinschätzungen als auch anhand von Fachliteratur (vgl. PLACHTER et al. 2002). Die zentrale Frage lautet in dieser Phase lautet:

„What environmental variables, if modified, would be expected to affect the capacity of the habitat to support the evaluation species“? (U.S. FISH & WILDLIFE SERVICE 1981, S. 5)

Eine Vielzahl von Variablen ist potentiell dazu geeignet, die räumlichen Verteilungsmuster von Arten zu erklären. Hierzu gehören neben geologischen, topographischen und edaphischen Habitatfaktoren auch Klima, Landnutzung oder biotische Habitatfaktoren wie Prädation oder Konkurrenz. Die erklärenden Variablen können als Messungen und Beobachtungen vorliegen oder aus Karten oder per GIS-Analysen abgeleitet werden. Fernerkundungsmethoden und GIS-Systeme stellen heute eine Vielzahl an Informationen zu Habitateigenschaften zur Verfügung (vgl. REINEKING & SCHRÖDER 2004). Der U.S. Fish & Wildlife Service formuliert folgende Kriterien für die Auswahl von Modellvariablen:

Kriterium 1:

„The variable is related to the capacity of the habitat to support the species“.

Kriterium 2:

„There is at least a basic understanding of the relationship of the variable to the habitat“.

Kriterium 3:

„The variable is practical to measure within the constraints of the model application“.

(U.S. FISH & WILDLIFE SERVICE 1981, S. 5)

Die Auswahl der Parameter stellt einen zentralen Schritt in der Habitatmodellierung dar, der häufig auch Ansatzpunkte für Kritik bietet. Zwischen autökologischen Kenntnissen und Datenverfügbarkeit müssen Parameter gefunden werden, die es ermöglichen „mit relativ einfachen und übertragbaren Methoden Gebiete auszuweisen, die geeignet, essentiell oder eben nicht geeignet für eine bestimmte Tierart sind“ (LANG & BLASCHKE 2007, S. 204). Aus naturschutzfachlicher Sicht werden zudem regionale Kenntnisse zur Art gefordert. Obwohl demnach zumindest ein regionales Grundverständnis für die Beziehung der Variablen zum Habitat gegeben sein muss, erfolgt die endgültige Auswahl von Modellparametern grundsätzlich hypothesengesteuert (REINEKING & SCHRÖDER 2004). Vollkommene Klarheit über derart komplexe Wirksysteme der Natur ist weder von ökologisch-wissenschaftlicher Seite vorhanden noch computergestützt erfassbar.

Eine häufige Ursache für unzuverlässige Modelle resultiert aus der Gefahr der Überanpassung („overfitting“). Dies ist der Fall, wenn einer großen Zahl von Prädiktorvariablen nicht hinreichend viele Vorkommens- und Nichtvorkommensdaten gegenüber stehen. Modelle mit sehr vielen Variablen sind schlecht interpretier- und nachvollziehbar. Zu viele Parameter verschleiern die Kausalität und machen das Gesamtmodell unüberschaubar. Die Variablenselektion muss daher das Ziel verfolgen, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren. Als Leitmotiv für die Variablenselektion empfehlen daher

SCHRÖDER & REINEKING die Strategie “Weniger ist manchmal mehr” bzw. “Keep it simple”. Insbesondere „im Fall von Datenarmut, also bei sehr kleinen Datensätzen, können [...] oftmals mit Modellen, von denen wir im Grunde wissen, dass sie zu einfach sind, bessere Ergebnisse erzielt werden“ (SCHRÖDER & REINEKING 2004, S. 8).

Phase 3 nach HSI: Strukturierung des Modells

Die in Phase 2 identifizierten Modellparameter müssen im Sinne des Gesamtmodells miteinander in Verbindung gebracht werden. Hierzu sind Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen zu definieren. Für diesen Schritt der logischen Verknüpfung können verschiedene Herangehensweisen eingesetzt und miteinander kombiniert werden. Verbal beschreibende Statements oder graphische Darstellungen (beispielsweise in Form von Baumdiagrammen) unterstützen die Umsetzung in mathematische und damit GIS-technisch umsetzbare Formeln. Klar formulierte verbale Beschreibungen können leicht in mathematische Regeln verwandelt werden. Folgende Beziehungsmöglichkeiten zwischen den Habitatparametern sind laut U.S. Fish & Wildlife Service zu unterscheiden:

- **Limitierende Beziehungen:**
Limitierende Beziehungen werden für Faktoren definiert, die aufgrund ihrer signifikanten Bedeutung ausschließende Wirkung für andere Faktoren erzeugen; d.h. alle anderen Faktoren im Beziehungsgefüge werden von ihnen übertönt. Ihr niedrigster Eignungswert hebt Werte anderer Parameter in ihrer Bedeutung auf.
- **Kumulative Beziehungen:**
Kumulative oder additive Beziehungen sind geeignet, um Grenzwerte zu beschreiben, die entweder durch einen Faktor alleine oder durch die Kombination mehrerer erreicht werden können. Die einzelnen Faktoren haben hier gegenseitig ergänzenden Charakter.
- **Kompensatorische Beziehungen:**
Kompensatorische Beziehungen bestehen zwischen Parametern, denen gegenseitig ausgleichende Wirkung zugesprochen wird. Mathematisch umgesetzt werden sie durch Mittelwertbildungen wie das Arithmetische Mittel, geographische oder gewichtete Mittelwerte.

Phase 4 nach HSI: Modellverifizierung

Nach der physischen Modellumsetzung in einer spezifischen Softwareumgebung sind die Modellierungsergebnisse zu verifizieren. Der HSI unterscheidet hierzu vier Verifikationslevel, deren Erreichung unbedingt dokumentiert werden sollte.

Abbildung 3 fasst die Verifikationslevel nach HSI-Methode zusammen.

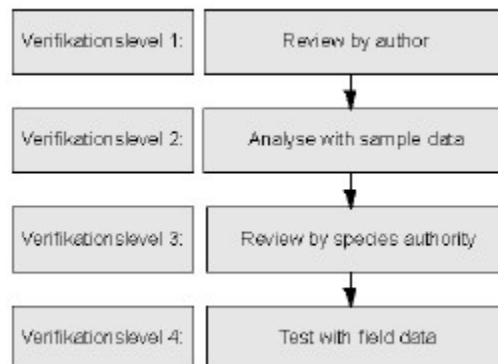


Abbildung 3: Verifikationslevel nach HSI-Methode

Neben dieser Überprüfung und Dokumentation der erreichten Habitateignungsgüte, wird die Rolle der Modellverifizierung außerhalb der HSI-Methode wesentlich breiter interpretiert. SCHRÖDER & REINEKING folgen dabei der Auffassung LEVINS wonach „Modelle nicht hinsichtlich der Kriterien „wahr“ oder „falsch“ bewertet werden können, sondern allein dahingehend, ob sie gute testbare Hypothesen generieren und im Rahmen ihres Anwendungskontexts zufrieden stellende Prognosegüten liefern“ (SCHRÖDER & REINEKING 2004, S. 47). Demnach sind in der Phase der Modellvalidierung neben Modellgüte auch Zielerreichungsgrad sowie tatsächlich erreichter Gültigkeits- und Anwendungsbereich zu beschreiben. Denn in Abhängigkeit der verwendeten Datengrundlage, sind Aussagen der Modelle räumlich und zeitlich auf die der Modellierung zugrunde liegenden Daten begrenzt. Soll diese an sich zunächst lokal beschränkte Aussagekraft verallgemeinert werden, bedarf es ihrer Validierung in räumlicher und zeitlicher Dimension“ (vgl. SCHRÖDER & REINEKING 2004).

Die Modellvalidierung stellt daher einen unverzichtbaren Bestandteil des Modellierungsprozesses dar, um einerseits die erreichte Prognosegüte adäquat einschätzen zu können. Andererseits dient sie der Dokumentation von Anwendungskontext und Entwicklungsbedarf. Sie ist daher auch in engem Zusammenhang mit der Modelldokumentation zu sehen.

Phase 5 nach HSI: Modelldokumentation

Zielvorgabe des U.S. Fish & Wildlife Service ist es durch die standardisierte Vorgehensweise bei der Entwicklung von Habitateignungsmodellen nicht nur das Modellergebnis selbst, sondern den gesamten Modellierungsablauf zu dokumentieren.

Dokumentation muss daher parallel zu allen Modellphasen erfolgen. Sie dient dazu die Nachvollziehbarkeit für den Anwender zu stärken und lässt sich laut HSI in die beiden Ebenen

- Informationsgewinn zur Art und
- Umsetzung der Art-Habitat-Informationen im Modell

untergliedern. Die Dokumentation von Habitatmodellen hilft einerseits dabei ein besseres Art-Habitat-Verständnis zu erlangen. Andererseits muss nachvollziehbar sein, wie artspezifische Annahmen im Modell tatsächlich umgesetzt wurden. Dokumentation hat zur Aufgabe Entscheidungen im Modellierungsprozess zu untermauern. Entsprechend der weiter gefassten Aufgabe der Modellvalidierung dient die Dokumentation zudem dazu, Zielerreichungsgrad zu beschreiben sowie Instruktionen für die Interpretation der Modellergebnisse zu geben.

2.2. Modellierung zeitlicher Aspekte

Entsprechend der räumlichen Dimension müssen im Zuge der Modellbildung auch zeitliche Aspekte schrittweise abstrahiert werden. Dies erfordert zunächst eine Charakterisierung des Phänomens *Zeit*, sowie die Auseinandersetzung mit bestehenden Abbildungsmethoden in GIS.

2.2.1. Begriffsbestimmung

Zeit

Zeit ist definiert als „eine kontinuierliche Veränderliche, auf die die Veränderung von Zuständen oder eine Ereignisfolge bezogen werden kann“ (Duden Lexikon von A-Z 1999). „Time is the temporal relationship between events and objects in space“ (OTT & SWIACZNY. 2001).

Spatio-temporal GIS / 4D GIS

„A spatio-temporal information systems extends a GIS by storing and managing spatial and temporal information“ (WORBOYS & DUCKHAM 2004).

2.2.2. Typisierung von Zeit

Der Faktor Zeit bestimmt sämtliche Ausprägungen der Welt. Gleichzeitig stellt die Zeit aber auch eine schwer fassbare, in gewisser Weise abstrakte und zugleich individuell wahrgenommene Dimension alltäglichen Lebens dar. Im Sprachgebrauch sind zur verbalen Beschreibung zeitlicher Phänomene vielfach Formulierungen zu finden, die ei-

gentlich aus einer räumlichen Betrachtungsweise stammen. PEQUET nennt hierzu als Beispiel aus dem Englischen die Redewendung „to take place“ (PEQUET 2002, S.11). Entsprechend der vielfältigen Annäherungsweisen an „Zeit“ (z.B. religiös-ethische, historische oder wissenschaftlich raumforschende Sicht) sind auch in der Literatur verschiedenste Ansätze zu finden, Zeit zu beschreiben und zu charakterisieren. Im Folgenden soll ein ausgewählter, kurzer Überblick über solche Differenzierungsmöglichkeiten gegeben werden, die im Bezug zu vorliegendem Modellierungsansatz stehen.

„Zeitpunkte und Zeitspannen“

Entsprechend der räumlichen Dimension muss auch die Zeit konzeptionell gefasst werden, um aus menschlicher Sicht geeignet zu sein, die umgebende Welt zu beschreiben. Als ein Hilfsmittel hierzu wird das Konzept der Zeitpunkte verwendet. „Time describes when something happens. In this sense time describes a certain event in a continuous dimension“ (OTT & SWIACZNY 2001, S. 56). Neben dieser im übertragenen Sinne punktuellen Betrachtungsweise der Zeit, besteht darüber hinaus auch eine Lineare in Form der Zeitspannen zwischen einzelnen Punkten. Diese kann wiederum in verschiedene Verlaufstypen unterschieden werden.

Zeitverlaufsmodelle

In Anlehnung an WORBOYS & DUCKHAM (2004) können zeitbezogene Phänomene in folgende Zeit-Typen abstrahiert und differenziert werden:

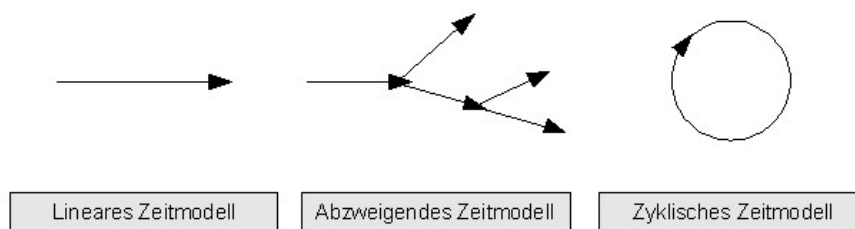


Abbildung 4: Zeitverlaufsmodelle nach WORBOYS & DUCKHAM 2004

- **Linearer Zeitverlauf („timeline“)**
Diese Betrachtung der Zeit wird von WORBOYS mit der eindimensionalen Raumbetrachtung verglichen. Der Zeitablauf wird als linear konsequente Entwicklung meist entlang einer Zeitachse modelliert (vgl. OTT & SWIACZNY 2001). Auf dieser Achse können Zeitpunkte und Zeitintervalle eingehängt werden.

- **Abzweigender Zeitverlauf („branches“)**
Retrospektive Modellierungen und Szenarienentwicklung verwenden häufig Zeitmodelle, mit deren Hilfe verschiedene Entwicklungsvarianten untersucht werden können.
- **Zyklischer Zeitverlauf („cyclic“)**
Zeitzyklische Betrachtungsweisen bilden Zeitverläufe ab, die einen periodisch wiederkehrenden Charakter aufweisen. Typische Beispiele hierfür sind tages- und jahreszeitliche Rhythmen.

Abzweigende und zyklische Systeme sind in ihrer Behandlung wesentlich komplexer als lineare Verläufe. Sie werden daher oft zu linearen Verläufen reduziert (vgl. WORBOYS & DUCKHAM 2004).

2.2.3. Zeitkonzepte in GIS

Vielfältige Anwendungsgebiete wie sozioökonomische und demographische Arbeitsfelder, staatliche Verwaltungssysteme oder auch der Bereich der Landesverteidigung setzen zunehmend auf Zeit-Raum-Bezogene Informationssysteme (WORBOYS & DUCKHAM 2004). „In neuen GIS-Entwicklungen kommt der Variablen Zeit [...] im raumzeitlichen Modell der Geoinformation (4D GIS) eine besondere Bedeutung zu“ (LAUSCH 2004 S. 79). Die vermehrte Integration von Zeitansätzen in GIS kann dabei unter anderem auf die enormen Entwicklungen in der Datenverfügbarkeit zurückgeführt werden. Während in vergangenen Zeiten oft das Nicht-Vorhandensein von Daten problematisch war, liegen heute u.a. durch technische Fortschritte (z.B. Fernerkundung) eine kaum mehr überschaubare Fülle an digitalen Informationen vor. Diese wachsende Datenvielfalt schließt auch die zunehmende Verfügbarkeit von Informationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder Zeitintervallen mit ein. GI-Systeme müssen sich demzufolge in allen vier ihrer Kernfunktionalitäten (Eingabe, Vorhalten, Analyse und Ausgabe raumbezogener Information) weiterentwickeln, um zeitbezogene Ansätze optimal zu unterstützen. Während im Bereich der Repräsentation von Zeit u.a. in den Bereichen temporale Datenmodelle, Historienverwaltung, „real-time-data“ und dynamische Visualisierung bereits einige Fortschritte in Forschung und Entwicklung zu verzeichnen sind, stehen derzeit noch kaum echte 4D-GIS - im Sinne angemessener zeitbezogener Analysefunktionen - zur Verfügung (WORBOYS & DUCKHAM 2004, IMFELD 2000). Dennoch beginnen GIS-Systeme einige praxisorientierte Zeitfunktionalitäten vorzuhalten.

WORBOYS & DUCKHAM gliedern die Entwicklung von Zeit integrierenden GI-Systemen in vier Stufen, welche in Abbildung 5 zusammen gefasst werden.

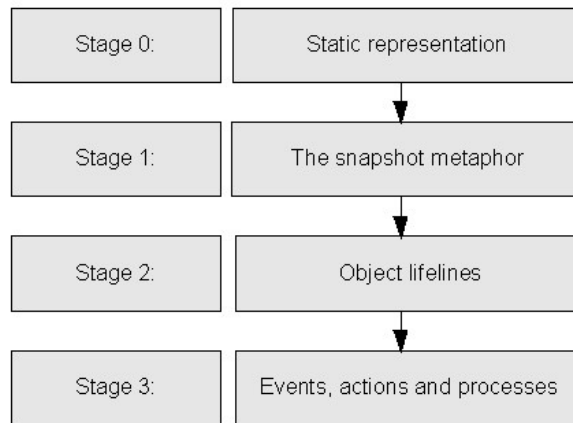


Abbildung 5. Entwicklungsphasen Zeit integrierender GISysteme nach WORBOYS 2004

Entwicklungsstufe 0

Abbildungen der Realität erfolgen hier als statische Repräsentationen; Interaktionen mit dem System sind „zeitlos“. Bisher sind die meisten „traditionellen“ Geographischen Informationssysteme und (Habitat-)Modelle hier einzuordnen.

Entwicklungsstufe 1

Diese erste Entwicklungsstufe bezüglich Zeit-Integration gibt dynamische Phänomene als Sammlung sogenannter „snapshots“ wieder. Die Schwäche dieser Methode liegt darin, dass Bereiche zwischen den snapshots fehlen. Bestimmte Veränderungen können dadurch nur implizit erfasst werden. Dennoch kann diese Form der Zeitwiedergabe durch die Anordnung der snapshots entlang einer Zeitlinie für manche Fragestellungen bereits eine wirksame Annäherung an Prozesse sein.

Entwicklungsstufe 2

Lifelines hingegen versuchen den gesamten Lebensgang von Objekten explizit zu repräsentieren. Sie umfassen einerseits Veränderungen im Zustand eines Objekts, andererseits aber auch hinsichtlich der Interaktionen zwischen Objekten (vgl. Abb. 6).

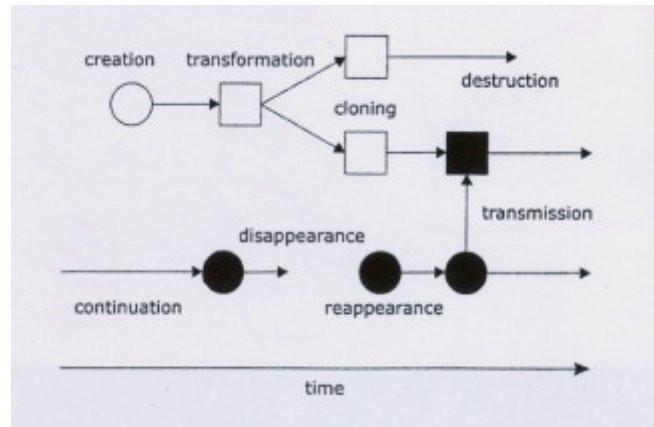


Abbildung 6: "Object lifelines", Quelle: WORBOYS & DUCKHAM 2004, S. 363

Entwicklungsstufe 3

Diese am weitesten fortgeschrittene Entwicklungsstufe vermag Zeitveränderungen in ihrer Komplexität zu erfassen. Kontinuierliche Zeitverläufe können bereits mit Stufe 2 erfasst werden. Die Entwicklungsstufe 3 widmet sich darüber hinaus der Modellierung von Vorkommnissen und Prozessen.

2.2.4. Abbildungsmethoden von Zeitaspekten

In GIS-gestützten Modellierungsprozessen müssen zeitliche Aspekte der realen Welt als gleichberechtigte Dimension zur räumlichen Ausprägung verstanden werden (OTT & SWIACZNY 2001). Jedes real existierende Phänomen kann in einem raumzeitlichen Kontext durch die Verwendung von räumlicher, zeitlicher und beschreibender Information konzeptionell erfasst werden. Zeitbezogene Phänomene müssen daher - analog zu räumlichen Phänomenen - schrittweise abstrahiert und umgesetzt werden. Standardisierte Methodenliteratur zur Integration zeitlicher Aspekte in (Habitat)Modelle ist kaum vorhanden. Jedoch können ähnlich den Entwicklungsstufen für Zeit-Integration in GI-Systeme nach WORBOYS & DUCKHAM (2004) auch Modelle hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Integrations-Methoden von Zeit differenziert werden (ESRI 2007):

- Repräsentationsmodelle

Repräsentationsmodelle können mit Entwicklungsstufe 0 nach WORBOYS & DUCKHAM (2004) zur Deckung gebracht werden. Sie beschreiben Objekte im Raum beispielsweise Landschaften. Repräsentationsmodelle werden häufig als deskriptive Modelle betrachtet.

- Statische Prozessmodelle

Ähnlich der von WORBOYS & DUCKHAM (2004) beschriebenen ersten Entwicklungsstufe von GIS-Systemen hinsichtlich Zeitverarbeitung, verwenden statische Prozessmodelle als erste Annäherung an Veränderungen im Zeitverlauf eine Aneinanderreihung von Zeitausschnitten des zu modellierenden Phänomens (z.B. animierte time-slices).

- Dynamische Prozessmodelle

In dynamischen Prozessmodellen verändert sich der Prozess explizit in Raum und Zeit. Das Modell iteriert mehrfach, wobei das Ergebnis eines Iterationsvorgangs Eingangsparameter für den darauf folgenden Iterationsschritt darstellt. Anschauliches Anwendungsbeispiel ist die Ausbreitung von Feuer.

- Simulationsmodelle

Simulationsmodelle erzeugen ebenfalls explizit mehrere denkbare Möglichkeiten, wie sich ein Phänomen in Raum und Zeit verändern kann, indem sie die Eingangsparameter verändern. Simulationen können deterministisch oder stochastisch sein. Deterministische Simulationsmodelle nutzen eine gut verstandene Reihe von Regeln, während stochastische Simulationen eine Zufallskomponente beinhalten (ESRI 2007).

Abstrahierung von Zeitaspekten im Modellierungsprozess

Parallel zur räumlichen Dimension nimmt hinsichtlich der GIS-gestützten Abbildung von Zeitaspekten die Frage der zeitlichen Auflösung, also der Diskretisierung, eine zentrale Rolle ein. Denn für die meisten Zwecke ist eine kontinuierliche Betrachtung von Zeitphänomenen entweder zu teuer oder technisch-wissenschaftlich nicht möglich (vgl. OTT & SWIACZNY 2001). „Als Diskretisierung (engl. *Discretization*) bezeichnet man die Gewinnung von endlich vielen (diskreten) Daten aus kontinuierlicher Information. Kontinuierliche Objekte sind immer unendlich und Ziel der Diskretisierung ist es, diese Objekte in endlicher Zeit und mit endlichem Speicherplatz bearbeiten zu können“ (WIKIPEDIA 2007). Für den Faktor Zeit bedeutet dies den kontinuierlichen Zeitverlauf in digital handhabbare Abschnitte zu zerlegen. Diese Zerlegung (beispielsweise in Minuten, Tage, Jahre) muss zudem in Abhängigkeit der Modellzielsetzung sowie des vorhandenen Verständnisses für die zeitliche Veränderung stattfinden.

Neben der Frage der Diskretisierung muss für Modellierungszwecke zudem unterschieden werden, ob es sich um eine relative oder eine absolute Betrachtungsweise handelt. Der absoluten Betrachtungsweise liegen konkrete Messungen zugrunde. Dies können

z.B. Echtzeit-Daten für die Veränderung der Position eines Objektes (z.B. eines Tieres) im Raum sein. Relative Betrachtungsweisen haben demgegenüber eine mehr subjektive Komponente inne. Sie dienen der Interpretation von Prozessen und setzen sich mit den Beziehungen zwischen verschiedenen Objektausprägungen auseinander. Die relative Betrachtungsweise wird häufig durch Intervalle definiert. (vgl. PEQUET , S. 29).

Für die Charakterisierung relativer Zeitverläufe können in Anlehnung an WORBOYS & DUCKHAM (2004) sowie OTT & SWIACZNY (2001) die in Abbildung 7 dargestellten Variablen herangezogen werden.

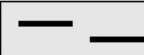
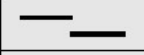
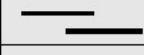
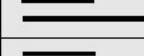
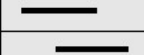

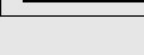
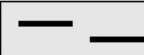
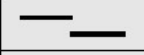
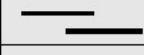
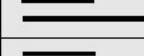
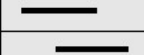

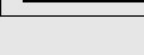
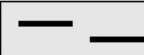
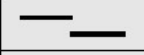
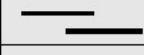
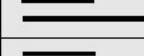
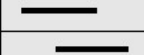

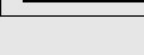
Moment	Zeitpunkt, an dem Veränderungen stattfinden														
Interval	Kontinuum von Zeitpunkten; in Animationen ohne Veränderung														
Frequency	Häufigkeit, mit der Veränderungen stattfinden														
Duration	Zeit- bzw. Gültigkeitsdauer von Intervallen														
Magnitude of change	Grad der Veränderung														
Order	Reihenfolge der Veränderungen														
Synchronisation	Relative Zeiteinteilung von zwei oder mehr Phänomenen <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td></td> <td>„before“</td> </tr> <tr> <td></td> <td>„meets“</td> </tr> <tr> <td></td> <td>„overlaps“</td> </tr> <tr> <td></td> <td>„starts“</td> </tr> <tr> <td></td> <td>„equals“</td> </tr> <tr> <td></td> <td>„during“</td> </tr> <tr> <td></td> <td>„finishes“</td> </tr> </table>		„before“		„meets“		„overlaps“		„starts“		„equals“		„during“		„finishes“
	„before“														
	„meets“														
	„overlaps“														
	„starts“														
	„equals“														
	„during“														
	„finishes“														

Abbildung 7: Variablen zur Strukturierung des Zeitverlaufs

Häufigkeit und Zeitdauer der Veränderungen bestimmen das Schrittempo des Gesamtprozesses. Der Grad der Veränderung gibt vor, ob der Prozess glatt oder sprunghaft abgebildet wird. Reihenfolge und Synchronisierung können dazu verwendet werden, ursächliche Beziehungsgefüge zwischen Objekten anzudeuten. Sie nehmen daher einen besonderen Stellenwert bei der Beschreibung von Zeitverläufen ein.

Ein erster Versuch, Modellierungsphasen der raumbezogenen Habitatmodellierung um die zeitzyklische Dimension zu erweitern, wird im Folgenden konkreten Anwendungsbeispiel vorgestellt. Dieser Ansatz bedient sich teilweise auch Techniken aus dem Funktionsbereich der Visualisierung.

Visualisierung in der Modellierung

Eine Grundfunktion Geographischer Informationssysteme besteht in der Ausgabe von Information, wozu auch verschiedene Visualisierungstechniken zählen. Dabei dient die Visualisierung drei Hauptzielen. Zum einen dient Visualisierung der Präsentation von Rauminformation, worin auch ein enger Bezug zur Kartographie gegeben ist. Darüber hinaus werden mit Hilfe der Visualisierung aber auch Daten erkundet und analysiert. OTT & SWIACZNY ordnen diesen Zielen zudem unterschiedliche Zielgruppen oder Anwendungsbereiche zu (vgl. Abb. 8).

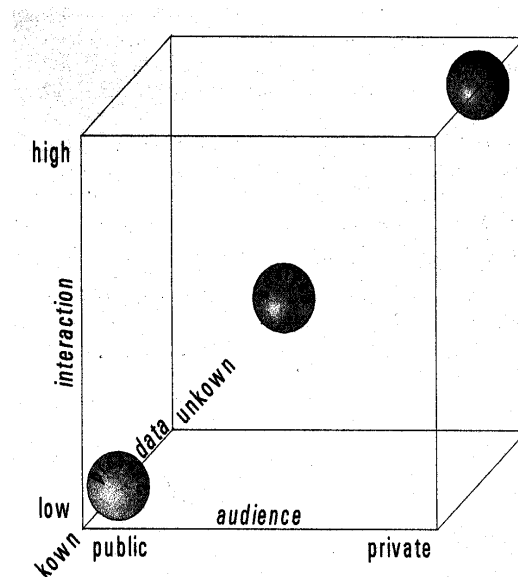


Abbildung 8: "The map use cube", Quelle: OTT & SWIACZNY 2001, S. 145

Während sich die reine Präsentation von Rauminformation (beispielsweise Analyseergebnisse) meistens an eine breite öffentliche Zielgruppe richtet, sind Analyse und „data-mining“ mehr im halböffentlichen bis privaten Gebrauch anzusiedeln.

Mit der zunehmenden Bedeutung von Zeit in GIS-Systemen ist auch eine Schwerpunktverlagerung in der Bedeutung dieser Visualisierungsziele zu verzeichnen. Zeitsysteme erfordern neben Datenmodellen logisch-konzeptioneller und physischer Art zudem auch dynamische Visualisierungstechniken. Hier spielen Animationen eine zunehmende Rolle. Im Gegensatz zu statischen Kartenausdrucken dienen Animationen in erster Linie dazu einen Eindruck zu gewinnen, wie sich Veränderungen über die Zeit hinweg präsentieren. Sie stellen einen mehr intuitiven Zugang dar, um komplexe dynamische Phänomene schrittweise explorativ zu begreifen. Animationen dürfen daher nicht mehr nur im Sinne der Präsentation von Analyseergebnissen, sondern in zunehmender Form auch als Bestandteil des Analyseprozesses verstanden werden.

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

Schutzgebiete verfolgen neben dem Ziel die Natur zu erhalten und zu entwickeln auch wissenschaftliche Forschungsziele sowie umweltpädagogische und sozio-ökonomische Aufgabenschwerpunkte. Als einziger alpiner Nationalpark Deutschlands ist die Verantwortung des Nationalparks Berchtesgaden für alpine Ökosysteme besonders hoch. Die umfassende Betrachtung der gesamten Tierwelt (in den Alpen mehr als 30.000 Arten (VEIT 2002)) ist aus methodischen Gründen kaum machbar und praktisch nicht leistbar. In der naturschutzfachlichen Planung erfolgt daher häufig eine Konzentration auf Zielarten oder repräsentative Zielartenkollektive (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Detailliertes Wissen zu den räumlich-funktionalen Beziehungen solcher Arten sind zwar aus Managementsicht oft erforderlich, jedoch nicht immer im wünschenswerten Umfang gegeben. Einer solchen Zielart im Management alpiner Ökosysteme widmet sich folgender Modellansatz. Für das Nationalparkgebiet sollen „klassische“ raumbezogene Modellierungsmethoden mit zeitbezogenen Modellierungsansätzen kombiniert werden, um so eine Annäherung an die Variabilität geeigneter Habitate des Alpenschneehuhns im Jahresverlauf zu erzielen. Dem Ansatz liegt demnach eine zeitzyklische relative Betrachtungsweise zugrunde. Die Modellierung zeitbezogener Phänomene wird in den Gesamtmodellierungsablauf integriert, weshalb auch Visualisierungstechniken nicht vorwiegend zum Zwecke der Präsentation der Modellierungsergebnisse verstanden werden sollen, sondern vielmehr als integraler Bestandteil der Modellbildung gesehen werden müssen. Durch die Modellierung des Lebenszyklus der Tiere soll ein besseres Verständnis hinsichtlich zeitbezogener Raumnutzungsmuster geschaffen werden. Der Strukturierung des Zeitverlaufs kommt daher im Modellierungsprozess eine besondere Bedeutung zu, wofür jedoch bisher kaum Methodenempfehlungen existieren. Abbildung 9 zeigt den methodischen Aufbau der Modellierung, die sich bezüglich der räumlichen Modellierungsschritte in den Grundsätzen an die HSI-Methode des U.S. Fish & Wildlife Service anlehnt.

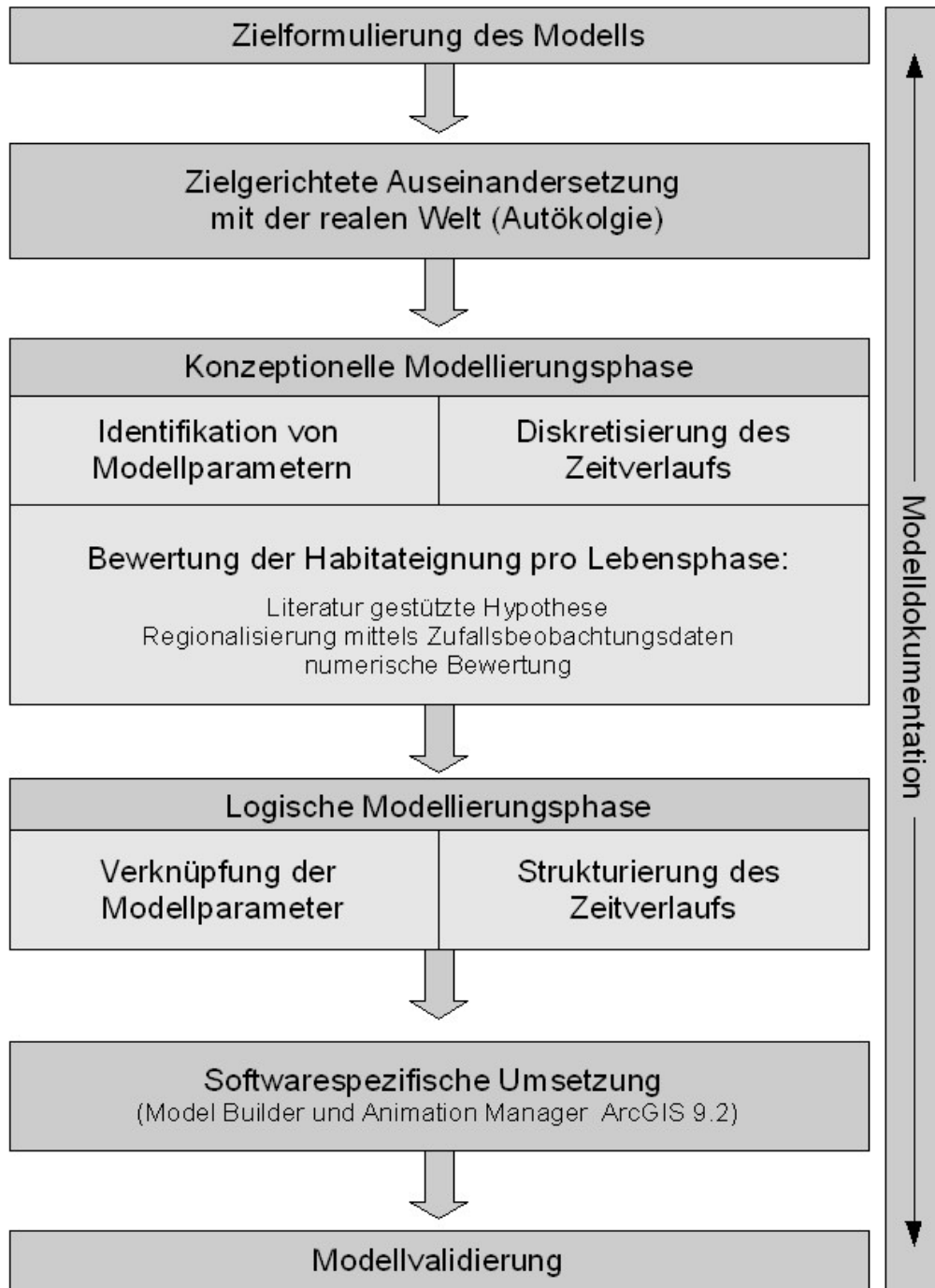


Abbildung 9: Zeit integrierender Methodenaufbau

3.1. Das Untersuchungsgebiet Nationalpark Berchtesgaden

Der Nationalpark Berchtesgaden ist der einzig alpine der insgesamt 14 Nationalparke in Deutschland und damit einer von 15 Nationalparks im Alpenbogen. Dieses 1978 gegründete Großschutzgebiet liegt im Südosten der Bundesrepublik Deutschland. Rund 70% seiner Außengrenze verläuft entlang der Staatsgrenze zum österreichischen Bundesland Salzburg, wo der Nationalpark durch verschiedene andere Schutzgebiete (Naturschutzgebiet Salzburger Kalkhochalpen, Naturpark Weißbach u.a.) fortgesetzt wird. Naturräumlich grenzt er als Bestandteil der Berchtesgadener Alpen unmittelbar an den Naturraum Salzburger Kalkhochalpen in Österreich an. Charakteristisch für die Berchtesgadener Alpen sind Gipfelhöhen von über 2000m ü. NN und Plateaugebirge mit ausgedehnten Bereichen oberhalb der Waldgrenze. Topographisch zeigt sich eine ausgeprägte Dreigliederung des Großreliefs in die von Gletschern geformten Trogtäler Klausbachtal, Wimbachtal und Königsseetal. Hochgebirgsformen mit Wänden, Gipfeln und Graten herrschen vor. Die größte Erhebung ist der Watzmann mit 2317 m ü. NN, der tiefsten Punkt stellt der Königsseespiegel mit 603 m ü. NN dar (BayStMLU). Die Verantwortung des Nationalparks Berchtesgaden ist damit für alpine Ökosysteme und deren Arten besonders hoch.

Entsprechend der Naturschutzgesetzgebung auf Bundes- und Landesebene sowie nach internationalen Richtlinien (z.B. IUCN) verfolgt der Nationalpark Berchtesgaden in erster Linie das Ziel natürliche und naturnahe Lebensgemeinschaften in ihrer natürlich dynamischen Entwicklung zu erhalten. Zudem sind laut Verordnung über den Alpen- und den Nationalpark Berchtesgaden die natürlichen und naturnahen Lebensgemeinschaften sowie seine Tier- und Pflanzenwelt zu beobachten und zu erforschen. „Soweit der Schutzzweck es erlaubt ist das Gebiet [zudem] der Bevölkerung zu Bildungs- und Erholungszwecken zu erschließen“ (BayStMLU 2001). Obwohl demnach konservierende Naturschutzstrategien nicht im Mittelpunkt der Schutzbestrebungen von Nationalparks stehen, ist es dennoch Aufgabe des Nationalparkmanagements nutzungsspezifische Beeinträchtigungen möglichst zu vermeiden. So obliegt der Nationalparkverwaltung auch verordnungsgemäß die Aufgabe den Besucher- und Erholungsverkehr zu lenken.

Eine solide Kenntnis der im Schutzgebiet vorhandenen Natur- und Kulturgüter sowie der Interaktionen zwischen Schutzaspekten und Nutzungsformen zählen daher zu den Schwerpunktaufgaben im Management von Nationalparks. Mit seiner gesamten Fläche von rund 208 km² wurde der Nationalpark Berchtesgaden zudem als Gebiet gemeinschaftlichen Interesses in die Schutzgebietskategorie Natura 2000 der Europäischen Union aufgenommen. Der Erhalt sowie das Monitoring seiner natürlichen Schutzgüter ist demnach auch durch europäisches Naturschutzrecht gefordert.

3.2. Das Alpenschneehuhn (*Lagopus mutus helveticus*)

Zielart im Management alpiner Schutzgebiete

„Zielarten sind planerisch ausgewählte Arten, die das prioritäre Ziel von Schutz-, Pflege- oder Entwicklungsmaßnahmen darstellen“ (PLACHTER et al 2002, S. 124). Neben Schutzbedürftigkeit und Gefährdung ist auch die arealkundliche Verantwortung des Schutzgebiets eines der Auswahlkriterien für Zielarten. Das Alpenschneehuhn gehört zur Familie der Raufußhühner. Alle vier der in Bayern beheimateten Raufußhuhnarten (Auerhuhn, Haselhuhn, Birkhuhn, Alpenschneehuhn) sind sowohl in der Roten Liste Bayerns erfasst als auch in Anhang I der Vogelschutzrichtlinie der Europäischen Union aufgeführt. Die in den Alpen vorkommende Unterart des Alpenschneehuhns *Lagopus mutus helveticus* ist endemisch für die Alpen. Die Verantwortung Deutschlands für ihren Erhalt wird daher im Vergleich zu den anderen Raufußhuhnarten als besonders hoch eingeschätzt (LWF 2005). Neben klimatischen Ursachen wird heute natursportbezogenen Aktivitäten das größte Einflusspotential auf das Alpenschneehuhn zugesprochen (SUCHANT & BRAUNISCH 2004). Auch wenn in Nationalparks kein aktiv steuerndes Arten- oder direktes Habitatmanagement betrieben wird, ist es Aufgabe eines zeitgemäßen Schutzgebietsmanagements, potentiell negative Auswirkungen durch menschliche Nutzungen frühzeitig aufzugreifen, sowie Änderungen der natürlichen Rahmenbedingungen zu erkennen. Grundvoraussetzung hierfür ist die solide Kenntnis der Lebensraumansprüche solcher Zielarten.

Saisonale Variabilität der Lebensraumwahl

„Der Gesamtlebensraum einer Art [...] besteht aus einer artspezifischen Kombination vom Teillebensräumen unterschiedlicher Funktion (Teilhabitate). Den artspezifischen Lebenszyklen entsprechend werden im regelmäßigen (z.B. Jahreszeiten) oder unregelmäßigen (z.B. aufgrund zufälliger Störungsereignisse) zeitliche Ortswechsel unterschiedlicher Distanz durchgeführt“ (PLACHTER et al 2002, S. 117).

Zeitliche Aspekte wie Schneelage oder Verfügbarkeit von Licht und Nahrung bedingen auch die Raumnutzung der Alpenschneehühner. Das Alpenschneehuhn besiedelt die (sub)alpine bis nivale Felsregion oberhalb der Waldgrenze. Seine Höhenverbreitung reicht in Bayern von etwa 1700 bis rund 2300 m ü. NN (BEZZEL et al. 2005). In Abhängigkeit der Lebensphase wählen die Tiere innerhalb dieser Höhenlage unterschiedliche Orte: Im Hochsommer und Herbst sind Alpenschneehühner bevorzugt in der alpinen Höhenstufe anzutreffen während sie im Winter in die tiefer gelegenen Krummholzgürtel der subalpinen Höhenstufe ausweichen. Zur Brutzeit bevorzugt das Alpenschneehuhn

mehr oder weniger steinige Rasen am Oberrand des Krummholzgürtels (BEZZEL et al. 2005). Nach dem Schlüpfen führt die Henne die Jungtiere wieder in höhere Lagen. Diese Ortsbewegungen zwischen Teillebensräumen einer Art spielen bei avifaunistischen Fragestellungen eine bedeutende Rolle (vgl. PLACHTER et al 2002).

Kenntnisstand zur Art im Untersuchungsgebiet

Faunistische Beobachtungsdaten aus dem Nationalparkgebiet werden in der zoologischen Datenbank ZOOLIS der Nationalparkverwaltung vorgehalten. Insgesamt liegen 1265 Beobachtungsdatensätze für alle vier Raufußhuhnarten seit Gründung des Nationalparks im Jahre 1978 vor. Über diese Zeitspanne von knapp 30 Jahren entfallen auf das Alpenschneehuhn lediglich 108 Beobachtungsdatensätze. Dies entspricht auch in etwa der qualitativen Einschätzung des Kenntnisstands zur Art durch lokale Gebietsexperten: In einer Befragung der Berufsjäger werden für Birk- und Auerhuhn die umfangreichsten Kenntnisse angegeben. Der geringste Kenntnisstand zur Art im Gebiet wird auch hier für das Alpenschneehuhn bestätigt. Als an Waldstrukturen gebundene Arten finden seitens der Unteren Forstbehörde jährlich Balzplatzzählungen von Auerhuhn und Birkhuhn statt. Zudem wurden für Auerhuhn und Birkhuhn in den vergangenen Jahren Habitatmodelle berechnet, was für das Alpenschneehuhn nicht der Fall ist. Abgesehen von einer Studie im Rahmen des MAB6-Projektes („The Man and the Biosphere - Der Einfluss des Menschen auf Hochgebirgsökosysteme“) aus dem Jahr 1989 wurden keine zielgerichteten standardisierten Datenerhebungen zum Alpenschneehuhn durchgeführt. Diese für das Nationalparkgebiet unzureichende Datenverfügbarkeit zur Art spiegelt dabei den für den gesamten bayerischen Alpenraum dokumentierten Wissensstand wider: Die schwierige Beobachtungssituation des Lebensraums der Tiere lässt laut Artenhandbuch der Natura 2000-Anhangarten in Bayern keine genaue Bezifferung des Bestandes in Bayern zu. (LWF 2003). „Das Areal ist [in Bayern] gut dokumentiert, die Vorkommen im einzelnen sind jedoch sicher nicht näherungsweise vollständig erfasst. Zuverlässigere Bestandsaufnahmen sowie Monitoringprogramme fehlen bislang“ (BEZZEL et al 2005). Es besteht nach wie vor ein erheblicher Bedarf an Bestandsaufnahmen des Alpenschneehuhns im Betrachtungsgebiet“ (BAUER & BERTHOLD 1996).

Artensteckbriefe als Grundlage der Modellbildung

Die anhand von Literaturrecherche ermittelbare Information wird in sogenannten Artensteckbriefen gebündelt. Ein Artensteckbrief beinhaltet eine strukturierte Zusammenfassung über das ökologische Profil einer Art. Neben systematischer Einordnung, Angaben zu Morphologie und Verbreitung werden in Artensteckbriefen auch vorhandene Kenntnisse zur Lebensraumwahl zusammen getragen. Dieser artspezifische Wissenspool dient

bei der Erstellung wissensbasierter Modelle als zentrale Grundlage. Seine vollständige Version findet sich im Anhang der Arbeit.

3.3. Zielsetzung des Modells

Um Strategie und Methoden festzulegen, die im weiteren Arbeitsablauf verfolgt werden sollen, gilt es zu Beginn der Modellbildung die genaue Zielsetzung der Modellierung zu definieren (siehe Abb. 2). (Regionaler) Wissensstand sowie verfügbare Daten stellen wiederum den Ausgangspunkt für den im Zuge der Modellierung angestrebten Wissenszuwachs dar. Neben Qualitätsanforderungen sind auch räumlicher und zeitlicher Gültigkeitsbereich des Modells festzulegen.

Im vorliegenden Ansatz soll für das Alpenschneehuhn als Zielart alpinen Schutzgebietsmanagements im Gebiet des Nationalpark Berchtesgaden ein Habitatmodell erstellt werden. In Anbetracht regional verfügbaren Wissens zur Art sowie für den Nationalpark verfügbarer Daten wird kein statistischer Modellierungsansatz verfolgt. Die Zielsetzung der Modellierung darf nicht dahingehend verstanden werden, durch die Berechnung exakter Antreffwahrscheinlichkeiten ein möglichst perfektes Abbild der tatsächlichen Raumnutzung im Gelände zu produzieren. Vielmehr müssen zunächst die (wenigen) verfügbaren Informationen, die vorwiegend verbal beschreibender Art sind, in die Fläche übertragen werden. Auf diese Art kann eine Annäherung an die bisher unbekannte Verteilung der Tiere im Raum erreicht werden. Da das Alpenschneehuhn während der einzelnen Lebensphasen deutlich unterschiedliche Teilhabitate aufsucht, muss die saisonale Variabilität im Zuge der Modellbildung Berücksichtigung finden.

Ziel vorliegenden Modellierungsansatzes ist es daher, in einem wissensbasierten Ansatz regionalisierte Hypothesen zu raum-zeitlichen Verbreitungsmustern im Lebenszyklus der Alpenschneehühner GIS-gestützt umzusetzen. Die Modellierungsergebnisse sollen eine erste Abschätzung ermöglichen, wo die Tiere in Abhängigkeit der Lebensphase im Nationalparkgebiet zu erwarten sind. Azonale Sonderstandorte werden in der Modellbildung nicht berücksichtigt. Dieser so erarbeitete flächendeckende Überblick über die räumliche Verteilung im Jahreszyklus potentiell geeigneter Teilhabitate soll als Grundlage für weitere Managementhandlungen und Datenerhebungen dienen.

Darüber hinaus sollen durch die Modellbildung Erkenntnisse gewonnen werden, wie und aufgrund welcher Gegebenheiten sich die Habitateignung im Jahresverlauf verändert. Zwar existieren bereits Habitateignungsmodelle für das Alpenschneehuhn aus anderen Gebieten (Natura 2000-Gebiet Niedere Tauern, Nationalpark Kalkalpen, Schweizerischer Nationalpark). Jedoch befasst sich keines dieser Modelle mit der zeitzyklischen Veränderung der Habitateignung. Der am Beispiel des Alpenschneehuhns für den

Nationalpark Berchtesgaden erarbeitete Modellansatz kann somit auch als ein Annäherungsschritt methodischer Art an die GIS-gestützte Auseinandersetzung mit der sich zeitlich verändernden Habitateignung von Wildtieren dienen.

3.4. Konzeptionelles Modell

Ausgehend von der Zielsetzung des Modells müssen die komplexen Gegebenheiten der realen Welt in einzelne modellierbare Teilaspekte reduziert werden. Diese Phase der konzeptionellen Modellierung dient der abstrahierenden Annäherung an die real wirkenden Prozesse (siehe Kap. 2.1.4). Zur räumlichen Identifizierung potentiell geeigneter Lebensräume werden Habitatparameter ausgewählt. Unter Berücksichtigung zeitlicher Ausprägungen der Raumnutzung muss zudem der an sich kontinuierlich verlaufende Lebenszyklus in aus Modellsicht homogene Einheiten untergliedert – also diskretisiert – werden. Die anschließende Eignungsbewertung der Modellparameter pro Lebensphase ist ebenfalls Aufgabe der logischen Modellierung.

3.4.1. Identifizieren der Modellparameter

Aufbauend auf den im Artensteckbrief gesammelten Angaben müssen Parameter gefunden werden, die folgende Kriterien erfüllen:

- Der Parameter muss mit der Habitateignung für die Art tatsächlich in Verbindung stehen.
- Es muss zumindest ein Grundverständnis für das Beziehungsgefüge zwischen Art und Parameter bestehen.
- Der Parameter ist innerhalb des vorgegebenen Rahmens der Modellierung gut messbar und flächenhaft verfügbar. (U.S. FISH & WILDLIFE SERVICE 1981)

Zudem müssen aus naturschutzfachlicher Sicht regionale Angaben zum Einfluss der Parameter auf die Lebensraumwahl vorliegen (vgl. PLACHTER et al. 2002). Insbesondere bei wenigen zur Art verfügbaren Daten, wie es hier der Fall ist, sind wenige überschaubare Parameter gegenüber einer umfangreichen Parameterauswahl vorzuziehen (REINEKING & SCHRÖDER 2004). In Anlehnung an bereits in anderen Gebieten erstellten Habitatmodellen für das Alpenschneehuhn (ERBER & LEITNER 2000, SCHAUMBERGER et al. 2005, GALLAUN et al. 2006) sowie unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien wurden für dieses Modell drei Habitatparameter ausgewählt. Dies sind Höhe, Hangneigung und Exposition. Alle drei Parameter sind aus dem digitalen Geländemodell ableitbar. Die Datenverfügbarkeit ist somit gegeben. Als Gelände beschreibende Parameter spielen sie bei der Analyse alpiner Lebensräume meist eine zentrale Rolle. In indirekter

Weise spiegeln sie Temperatur- und Energieverhältnisse wider, die für alpine Lebensformen von existenzieller Bedeutung sind.

Mit der Höhe verändern sich die klimatischen Bedingungen in den Alpen. Pro 100 Meter Höhenunterschied ist durchschnittlich eine Temperaturabnahme von $0,5^{\circ}\text{C}$ zu verzeichnen (vgl. VEIT 2002). Höhe und Temperatur folgend, verändert sich auch die Länge der Vegetationszeit. Während in montanen Bereichen noch von rund 200 Vegetationstagen ausgegangen werden kann, verkürzen sie sich in der alpinen Stufe auf bis zu 60 pro Jahr (vgl. VEIT 2002). Dies wiederum bedingt unterschiedliche Vegetationstypen pro Höhenstufe, die Einfluss auf strukturelle Habitatausprägung sowie Nahrungsverfügbarkeit alpiner Wildtiere haben. Als Kälte liebende und an alpine Bedingungen speziell angepasste Art spielt die Höhe eine ausschlaggebende, in manchen Bereichen gar limitierende Rolle. Expositionsunterschiede wirken sich auf die Strahlungsbilanz und damit die Verfügbarkeit von Energie und Nahrung, aber auch auf die Länge der Schneebedeckung aus (vgl. VEIT 2002). Bestimmte Hangneigungen wirken einschränkend auf die Habitatausprägung, da sie aufgrund ihrer Steilheit nicht mehr dauerhaft genutzt werden können. Höhe, Exposition und Hangneigung stellen daher in Verbindung mit der guten Datenverfügbarkeit Kernparameter für die Abschätzung potentiell geeigneter Lebensräume dar. Zudem werden diese Gelände-Parameter in der Dokumentation von Beobachtungen (teils auch aus Orientierungsgründen) oft gut beschrieben. Da zudem ihre Ausprägung im Zeitverlauf in der Regel konstant ist (anders als beispielsweise Strukturdaten), können zur Regionalisierung dieser Parameter auch ältere Datensätze herangezogen werden.

3.4.2. Diskretisierung des Zeitverlaufs

Zielsetzung des vorliegenden Modellansatzes ist es, wissenschaftliche Hypothesen zu raum-zeitlichen Verbreitungsmustern im Jahreszyklus des Alpenschneehuhns GIS-gestützt umzusetzen. Neben der raumbezogenen Sichtweise bedarf es darüber hinaus auch zeitliche Aspekte im Jahresverlauf als einflussnehmenden Faktor zu analysieren:

„Das Verhalten von Wildtieren äußert sich räumlich und zeitlich geordnet. [...] Im Verlauf des Jahres wechseln sich verschiedene Phasen ab, etwa solche der Fortpflanzung (Balz bzw. Brunft, Brüten, Junge aufziehen/führen etc.) oder des Reserveaufbaus für die Fortpflanzung, für Wanderungen und den Winter“ (INGOLD 2005, S. 182). In Abhängigkeit dieser Lebensphasen wählen die Tiere innerhalb ihrer Homeranges häufig unterschiedliche Orte. „Den artspezifischen Lebenszyklen entsprechend werden im regelmäßigen (z.B. Jahreszeiten) oder unregelmäßigen (z.B. aufgrund zufälliger Störungsereignisse) zeitliche Ortswechsel unterschiedlicher Distanz durchgeführt“ (PLACHTER 2002, S.117).

Die an sich kontinuierlich verlaufenden Jahreszyklen müssen für die GIS-gestützte Prognose von zeitlich variierenden Raumnutzungsmustern in aus Modellsicht homogene Einheiten diskretisiert werden. Dies geschieht durch die Identifizierung differenzierbarer und damit modellierbarer Lebensphasen. Analog zur räumlichen Dimension erfolgt auch dieser Abstraktionsschritt aufbauend auf den autökologischen Angaben zur Art. Hierzu ist es in einem ersten Schritt notwendig, sich Kenntnis über den Jahresverlauf der Tiere zu verschaffen.

Jahresverlauf der Alpenschneehühner

Mit der Balz beginnt die Reproduktionszeit im Jahreszyklus der Alpenschneehühner. Über den Balz-Zeitraum existieren recht unterschiedliche Angaben von Mitte März/Mitte April als Beginn bis Ende Juni als Ausklang der Balzaktivitäten (BEZZEL et al. 2005, LWF 2003, BfN). An die Balz anschließend erstreckt sich im Jahresverlauf eine 22-23 Tage dauernde Brutzeit. „Der Hahn bleibt in der Nähe der brütenden Henne [...] verlässt diese aber normalerweise noch bevor die Jungen schlüpfen“ (HÖHN 1980, S. 89). Nach dem Schlüpfen führt die Henne die Jungtiere in höhere Lagen. „Erst wenn die Jungen gut fliegen können, gesellt sich der Hahn wieder zur Familie“ (HÖHN 1980, S. 89). Diese Lebensphase des Familienverbands schließt die Reproduktionsphase ab. Rund ein halbes Jahr verbringen die Tiere in sogenannten Wintervölkern (BfN), bevor sie erneut in die Reproduktionsphase übergehen.

„In der Balz- und Brutzeit ist das Schneehuhn einzelgängerisch bzw. monogam in Saisonehe“ (LWF 2005). „In den Sommer-, Herbst-, und Wintermonaten bestimmen Gruppen das soziale Erscheinungsbild der Hühner“ (BAUMGARTNER 1989, S. 30). Während sich in den Sommer- und Herbstmonaten mehrere Familien zu recht großen Trupps zusammenschließen (30-50 Tiere), sind die Gruppen in den Wintermonaten in ihrer Größenordnung wesentlich geringer (vgl. BAUMGARTNER 1989). Die Tiere verteilen sich im Winter entsprechend der geringen Nahrungsverfügbarkeit in kleinen Trupps mehr auf die Fläche.

Konkrete Literaturangaben hinsichtlich zeitlicher Ausprägung und räumlicher Präferenz führen zur Ableitung der in Abbildung 10 aufgeführten Lebensphasen:

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

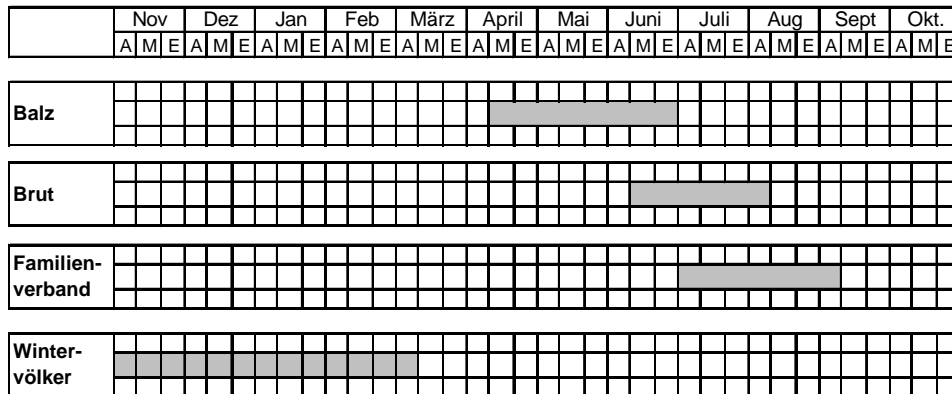


Abbildung 10: Hauptlebensphasen des Alpenschneehuhns

Diese Lebensphasen dienen als „Grundbausteine“ für die Untergliederung des Jahresverlaufs für die zeitzyklische Modellbildung. Obwohl keine speziellen Balzplätze bekannt sind (anders als beispielsweise bei seinem Familienverwandten, dem Auerhuhn), stellt die Balz eine eigene (bis zu zwei Monaten andauernde) Lebensphase im Jahreszyklus der Alpenschneehühner dar. Sie wird daher auch als eigener zu modellierender Abschnitt definiert. Wie aus Abbildung 10 bzw. aus voneinander abweichenden Literaturangaben erkennbar, bestehen hinsichtlich der zeitlichen Kontinuität teils Wissenslücken, teils Divergenzen zwischen verschiedenen Jahresverläufen. Um sich zeitlich kontinuierlichen Verlaufsmustern trotz Diskretisierung besser anzunähern, wurden für die Modellierung mittels GIS sogenannte Übergangslbensphasen definiert. Sie sollen zudem eine von kalendarischer Betrachtungsweise unabhängige relative Abbildung des Zeitverlaufs unterstützen. Insgesamt werden daher nebenstehende acht Lebensphasen für die Modellbildung festgelegt.

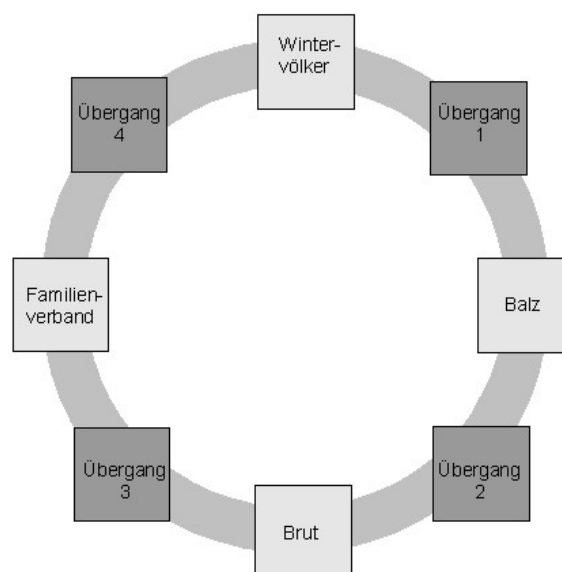


Abbildung 11: Diskretisierter Jahreszyklus

3.4.3. Eignungsbewertung der Variablen pro Lebensphase

Nach Identifikation der Modellparameter sowie der modellierungsrelevanten Lebensphasen werden die Parameter entsprechend ihrer hypothetischen Eignung pro Lebensphase bewertet. Die Eignungsbewertung der Habitatparameter erfolgt in den drei Schritten:

- Formulierung literaturgestützter Hypothesen,
- Regionalisierung dieser Hypothesen mittels Zufallsbeobachtungsdaten aus dem Nationalparkgebiet und anschließend
- numerische Bewertung der Habitateignung pro Lebensphase.

Literatur gestützte Hypothesen

Auf Grundlage der autökologischen Angaben aus dem Artensteckbrief wird je Habitatparameter eine artbezogene Hypothese erstellt. Diese beschreibt verbal Präferenzen bzw. Habitatmeidungen der Tiere hinsichtlich verschiedener Ausprägungen des Parameters pro Lebensphase.

Regionalisierung mittels Zufallsbeobachtungsdaten

Das Vorhandensein regionalisierter autökologischer Informationen stellt eine der Grundvoraussetzungen für die fachliche Zulässigkeit räumlicher Habitatabgrenzungen aus naturschutzfachlicher Sicht dar (PLACHTER et al. 2002, S. 167). Die Notwendigkeit allgemeine Literaturangaben in ihren regionalen Gültigkeitskontext zu stellen zeigt die unterschiedliche Höhenverbreitung des Alpenschneehuhns zwischen Nord- und Südalpen (siehe Artensteckbrief im Anhang).

Insgesamt liegen für das Alpenschneehuhn im Nationalparkgebiet 108 Zufallsbeobachtungsdaten vor. Diese werden in ZOOLIS, der zoologischen Datenbank der Nationalparkverwaltung, vorgehalten. Die Auswertung dieser Beobachtungsdaten je identifiziertem Habitatparameter und Lebensphase erlaubt es, Literatur basierte Angaben hinsichtlich ihrer regionalen Gültigkeit zu überprüfen und gegebenenfalls die autökologischen Angaben für das Nationalparkgebiet zu modifizieren. Diese regionalisierten Hypothesen müssen für die räumlich explizite Abbildung operationalisiert und numerisch umgesetzt werden.

Numerische Bewertung der Habitateignung pro Lebensphase

In Anlehnung an den Habitat Suitability Index (HSI) wurden die ausgewählten Habitatparameter hinsichtlich ihrer Eignung für die oben genannten Lebensphasen des Alpenschneehuhns bewertet. Dieser Operationalisierungsschritt erfordert im vorliegenden Modellierungsansatz zusätzlich eine Reklassifizierung der vorhandenen Rasterdatensät-

ze, die die saisonale Eignungsbewertung der Habitatparameter vorbereitet. Denn häufig bzw. fast immer finden sich in der Literatur Angaben zu Wertgruppen also Klassen. Übergänge zwischen diesen Klassen werden kaum beschrieben. Am Beispiel des Parameters Höhe kann dies verdeutlicht werden. In verbaler Form wird die Höhe meistens durch die Verwendung von Höhenstufen (montan – alpin – nival) beschrieben. In der Natur sind Übergänge zwischen diesen Stufen fließend. Literaturangaben zur Habitateignung von Wildtieren sind jedoch häufig auf die ganze Stufe bezogen formuliert. (z.B. „Alpenschneehühner sind typische Bewohner der hochalpinen Zone“). Zur GIS-gestützten Umsetzung dieser Angaben werden daher – trotz damit verbundener Einschränkungen – zunächst diese Klassen im Höhenmodell umgesetzt. Der Bewertungsvorgang wird im Folgenden für die drei ausgewählten Modellparameter detailliert dargestellt.

3.4.3.1. *Parameter Höhe*

Literaturbasierte Hypothese des Parameters *Höhe*

Der Parameter *Höhe* hat auf die saisonale Variabilität der Habitateignung der Alpenschneehühner den größten Einfluss. „Das Alpenschneehuhn besiedelt Regionen oberhalb der Baumgrenze (BfN 2005). Im Jahresverlauf zeigt es deutliche Vertikalwanderungen“ (BAUER & BERTHOLD 1996). „In Bayern besiedelt es die kalkalpine Zone von 1600-1700m (im Winter zum Teil bis herab auf 1300m) bis etwa 2500müNN und höher, d.h. vorwiegend die (sub)alpine bis nivale Stufe (LWF 2005). „Unter 1700-1800 müNN scheint in den bayerischen Alpen das Schneehuhn kaum mehr ständig zu verweilen“ (MÜLLER-UHSING 1958). Bei starken Schneefällen weichen die Alpenschneehühner zeitweise auch bis in die Grünerlenzone unterhalb der Baumgrenze aus (BAUMGARTNER 1989). Sie folgen im Jahresverlauf der Schneegrenze; bereits bei Temperaturen von 16°C beginnen die Tiere zu hecheln. Bevorzugter Brutplatz sind alpine Rasen vom Oberrand der Krummholzzone bis an die bei 2350m beginnenden vegetationsarmen Kalkschuttfelder (BEZZEL et al. 2005). Nach dem Schlüpfen führt die Henne die Jungtiere in höhere Lagen (HÖHN 1980).

Regionalisierung des Parameters *Höhe*

Zur Regionalisierung werden die vorhandenen Zufallsbeobachtungsdaten mit dem digitalen Höhenmodell der Nationalparkverwaltung verschnitten. Da zu den meisten der Beobachtungspunkte keine Angabe hinsichtlich der zugehörigen Lebensphase vorhanden sind (Ausnahme bei einigen Punkten Brut oder Balzaktivität), wird auf die kalendrische Betrachtungsweise als Hilfsmittel zurück gegriffen. Die Punktbeobachtungen

wurden in Abbildung 12 nach Beobachtungsmonat jedoch unabhängig vom Beobachtungsjahr gruppiert. Das Höhenspektrum der Nachweise reicht von 973 m ü. NN bis 2514 m ü. NN. Da es sich bei dem niedrigsten Beobachtungspunkt, um einen einmaligen Nachweis im Bereich der Eiskapelle – einem azonalen Sonderstandort – aus dem Jahr 1980 handelt, wird dieser aus der Modellbildung ausgeklammert. Der zweitniedrigste Punkt liegt auf 1332 Höhenmetern. Allerdings fällt dieser ebenso wie ein Nachweis auf 1456m nicht in das Winterhalbjahr, wie aus Literaturangaben anzunehmen wäre. Für das Nationalparkgebiet wird daher die hochmontane Stufe ganzjährig zumindest als bedingt geeignet eingestuft.

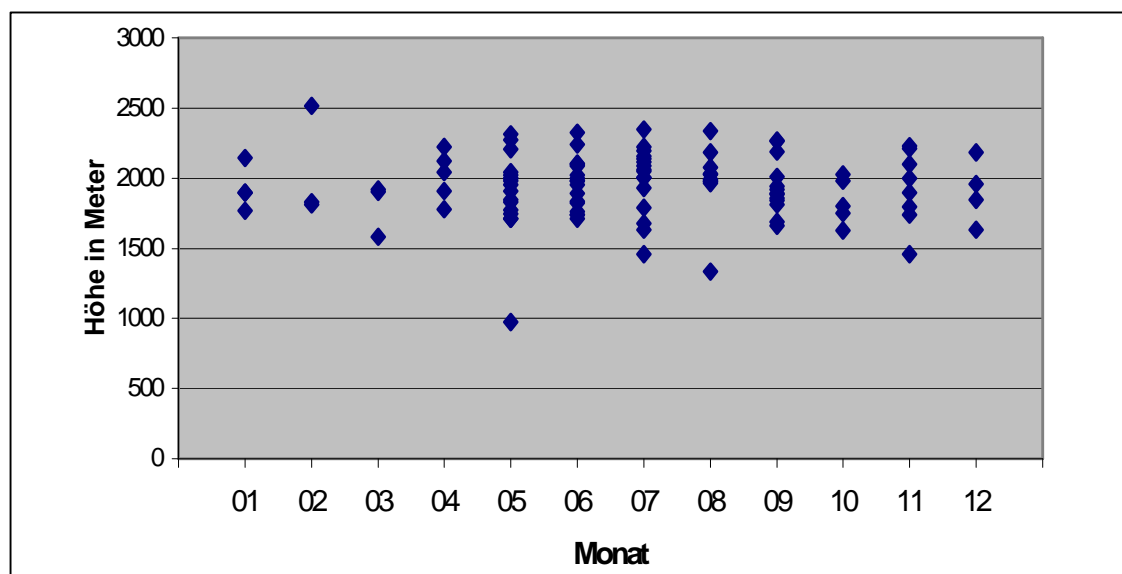


Abbildung 12: Höhenlage der Punktbeobachtungsdaten im Zeitverlauf (Monate)

Numerische Bewertung des Parameters *Höhe pro Lebensphase*

Die Operationalisierung der regionalisierten Hypothese zur Höhengignung in numerische Werte erfordert wie oben angesprochen eine Reklassifizierung. Die Reklassifizierung erfolgte nach den für die Bayerischen Alpen regionalisiert ermittelten Höhenstufen (vgl. PEER et al. 2003, ELLENBERG 1996). Aufgrund der Bedeutung der alpinen Höhenstufe wurde diese zusätzlich untergliedert.

Der Wert 0 wird für Klassen vergeben, die auszuschließen sind, Wertausprägungen mit geringer Habitateignung erhalten den Wert 1, solche mit mittlerer Habitateignung den Wert 3. Zur jeweiligen Lebensphase potentiell präferierte Wertebereiche werden mit 5 (in Abbildung 13 grau hinterlegt) bewertet.

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

Höhe				Phase							
from	to	output	Merkmal	1	2	3	4	5	6	7	8
> 2500		11	alpin 5	1	1	1	1	1	1	3	1
2300	2500	10	alpin 4	1	1	1	3	3	3	5	3
2100	2300	9	alpin 3	3	3	3	3	5	5	5	3
1900	2100	8	alpin 2	3	5	5	5	3	3	3	5
1800	1900	7	alpin 1	5	3	3	3	3	3	3	5
1700	1800	6	hoch-subalpin 2	5	3	3	3	3	3	1	5
1600	1700	5	hoch-subalpin 1	3	3	1	1	1	1	1	3
1400	1600	4	tief-subalpin	3	1	1	1	1	1	1	3
1200	1400	3	hochmontan	1	1	1	1	1	1	1	1
800	1200	2	montan	0	0	0	0	0	0	0	0
600	800	1	tiefmontan	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 13: Eignungsbewertung des Parameters Höhe

Nachweise unter 1600m sind im ganzen Jahresverlauf und damit auch im Winter (=Phase 1) nur vereinzelt anzutreffen. Präferierte Parameterausprägungen (Wert 5) beginnen daher erst ab 1700m, wobei erst Höhenstufen unter 1200m ausgeschlossen werden. Zur Zeit des Familienverbands (=Phase 7) findet die vertikale Höhenwanderung ihren Wendepunkt. Entsprechend Literaturangaben werden zur Brutzeit Höhenlagen zwischen 2100 und 2300 m bevorzugt. Für die Übergangslbensräume finden sich keine klaren Literaturangaben. Die Wertevergaben für diese Übergänge wurden daher visuell interpoliert. In der Übergangszeit zwischen Familienverband und erneutem Wintereinbruch lässt sich aufgrund der Biologie der Tiere (Auflösung der großen Familienverbände – Bildung kleiner Gruppen) sowie großen Unterschieden zwischen den präferierten Höhenstufen zwischen vorheriger und folgender Lebensphase eine höhere Variabilität in der Lebensraumwahl vermuten. Die Präferenz wurde daher in Phase 8 (=Übergangslbensraum zwischen Reproduktionslebensphasen und Wintervölkern) am breitesten interpretiert.

3.4.3.2. Parameter Exposition

Literaturbasierte Hypothese des Parameters Exposition

Literaturangaben zu Folge bevorzugt das Alpenschneehuhn zur Vegetationszeit kühle, feuchte und zum Teil schneereiche Blockfelder in Nordhängen; trockene warme Süd- hänge werden gemieden. Auch die Reviere territorialer Hähne (zur Balz- und Brutzeit) sind nordseitig gelegen. Süd- hänge spielen im Winter zur Nahrungsaufnahme eine Rolle, da hier an ausapernden Stellen Vegetation früher bzw. länger zugänglich ist. Laut Modellierung in den Niederen Tauern werden „steile, rasch ausapernde Süd- hänge [im Winter] bevorzugt“ (GALLAUN et al. 2006).

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

Regionalisierung des Parameters Exposition

Die Auswertung der Beobachtungsdaten im Nationalparkgebiet zeigt einen ganzjährigen Schwerpunkt auf Nord- und Westhängen. Eine klare saisonale Bevorzugung ist nicht abzuleiten. Die wenigsten Beobachtungspunkte entfallen auf Osthängen.

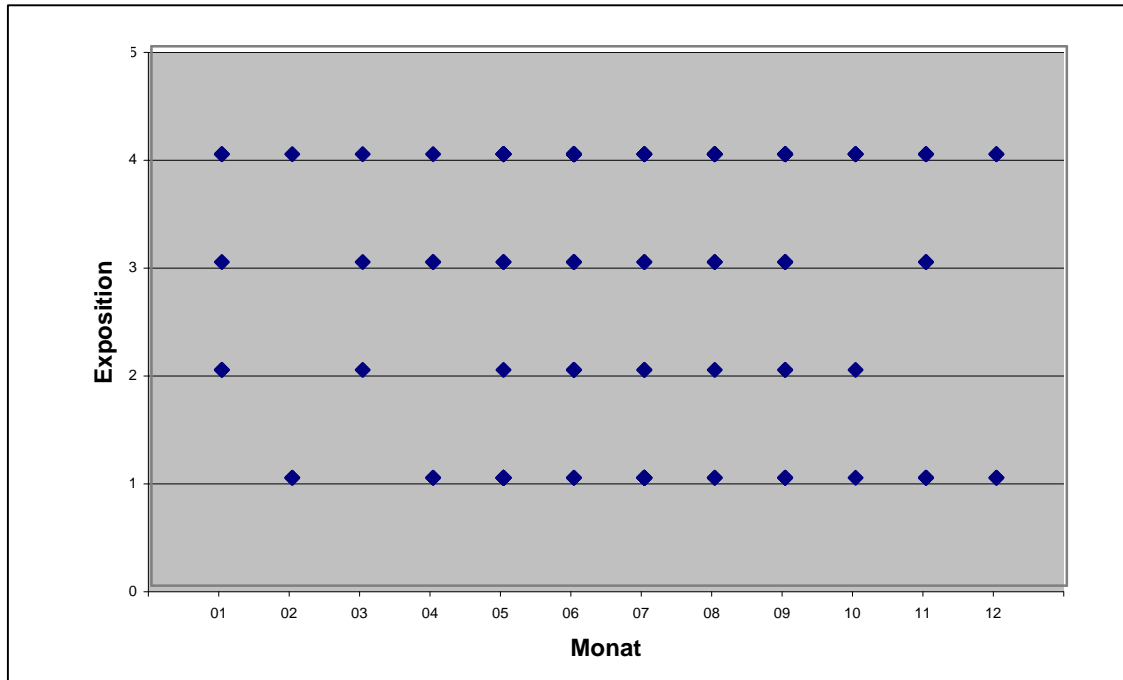


Abbildung 14: Exposition der Punktbeobachtungsdaten im Zeitverlauf (Monate)
(Nord=1, Ost=2, Süd=3, West=4)

Numerische Bewertung des Parameters Exposition pro Lebensphase

Nord- und Westhänge werden entsprechend der regional vorhandenen Daten ganzjährig als bevorzugte Expositionen eingestuft. Südexponierte Lagen werden gemäß Literaturangaben im Winter mit hoher Eignung, im Sommer mit geringer Eignung bewertet. Ein Ausschluss von Expositionen erfolgt nicht (vgl. Abb. 15).

Exposition				Phase							
from	to	output	Merkmal	1	2	3	4	5	6	7	8
0	45	1	Nord	5	5	5	5	5	5	5	5
45	135	2	Ost	3	3	3	3	3	3	3	3
135	225	3	Süd	5	3	1	1	1	1	1	3
225	315	4	West	5	5	5	5	5	5	5	5
315	360	1	Nord	5	5	5	5	5	5	5	5

Abbildung 15: Eignungsbewertung des Parameters Exposition

3.4.3.3. Parameter Neigung

Literaturbasierte Hypothese des Parameters Neigung

Im Lebensraum des Alpenschneehuhns spielen unterschiedliche Hangneigungen eine wichtige Rolle; Neigungen von meist 10° - 45° werden gern genutzt (vgl. GALLAUN et al. 2006). Auch das Nest wird gerne an Hängen angelegt (BfN). Steilhänge von mehr als 50° hingegen werden gemieden. ERBER & LEITNER (2000) sowie eine Modellvorschrift für den Schweizerischen Nationalpark (vgl. GEOGRAPHIC INFORMATION TRAINING ALLIANCE 2007) schließen Neigungen von mehr als 50° daher aus geeigneten Habitaten aus.

Regionalisierung des Parameters Neigung

Abweichend von der rein literaturbasierten Hypothese konnten im Nationalparkgebiet in der Vergangenheit Alpenschneehühner auch in Hängen mit stärkerer Neigung als 50° beobachtet werden (vgl. Abb. 16). Auch nach BAUMGARTNER gehören schroffe Bereiche zum festen Bestandteil des Habitats der Alpenschneehühner (vgl. BAUMGARTNER 1989).

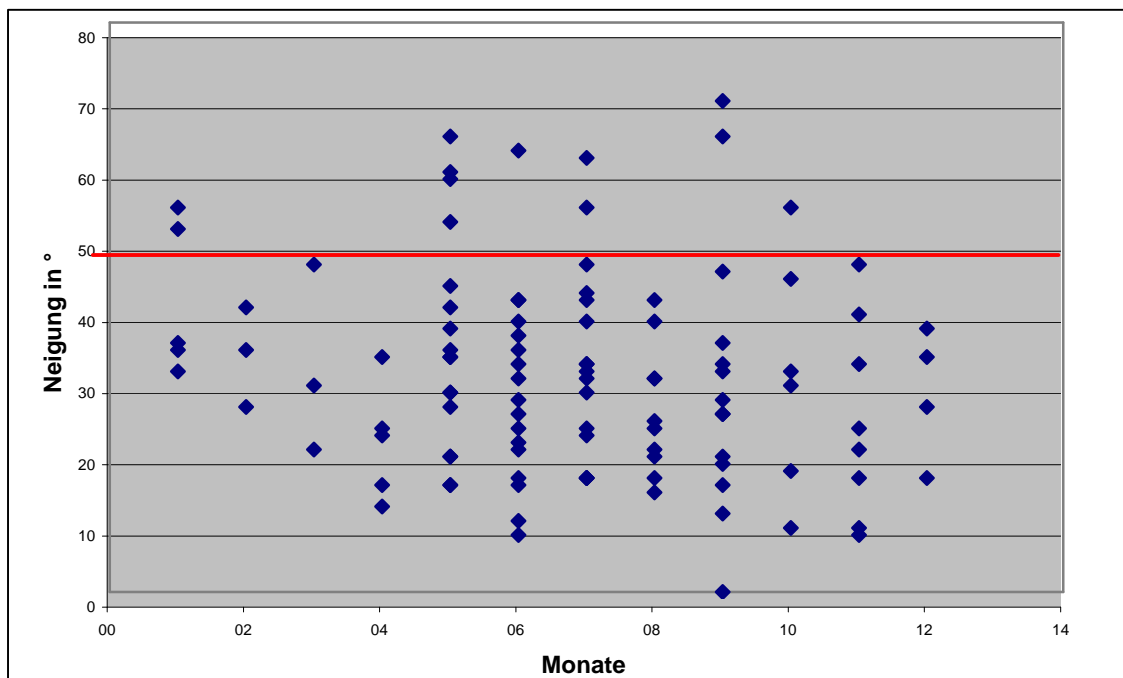


Abbildung 16: Neigung der Punktbeobachtungsdaten im Zeitverlauf (Monate)

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

Numerische Bewertung des Parameters *Neigung* pro Lebensphase

In Anlehnung an die von KONNERT (2004) für den Nationalpark erarbeiteten Standortkarte und unter Zuhilfenahme der Neigungs-Einteilung der Lawinenwarndienste wurden die aus Abbildung 17 ersichtlichen sechs Klassen für die Bewertung der Neigungsstufen verwendet.

Hangneigung				Phase							
from	to	output	Merkmal	1	2	3	4	5	6	7	8
0	5	1	nicht bis schwach geneigt	1	1	1	1	1	1	1	1
5	20	2	mittel bis stark geneigt	5	5	5	5	5	5	5	5
20	30	3	steil	5	5	5	5	5	5	5	5
30	45	4	sehr steil	5	5	5	5	5	5	5	5
45	65	5	sehr schroff	3	3	3	3	3	3	3	3
65		6	Felswand	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 17: Eignungsbewertung des Paramters Neigung

Entsprechend der Beobachtungen werden sehr schroffe Bereiche bis zu einer Neigung von 65° als (gut) geeignet eingestuft; steilere Lagen wurden als nicht geeignet bewertet; Bereiche mit geringeren Neigungen als 5° als gering geeignet. Eine saisonale Unterscheidung nach Lebensphasen ist nicht möglich.

3.5. Logisches Modell

Während in der konzeptionellen Modellierungsphase die Konzentration auf die Auswahl einiger weniger modellierungsrelevanter Teilaspekte gerichtet ist, steht in der logischen Modellphase nun die Beziehung dieser Teilaspekte im Sinne des Gesamtmodells im Vordergrund. Für die räumliche Dimension bedeutet dies, die gegenseitige Inwertsetzung der einzelnen Modellparameter zu klären und mathematisch umzusetzen. Im Hinblick auf die zeitliche Dimension muss der Gesamtjahreszyklus der Tiere strukturiert werden.

3.5.1. Definition der Beziehungen zwischen den Modellparametern

Wie in Kap. 2.1.4 dargestellt, bestehen verschiedene Möglichkeiten die Wechselwirkungen zwischen den Parametern logisch-mathematisch umzusetzen. Für das Alpenschneehuhn ist unter den ausgewählten Modellparametern die Höhe der ausschlaggebende Faktor für die potentielle Habitateignung. Für die Habitateignung im Jahresverlauf nimmt sie eine zentrale Rolle ein. Bestimmte Höhenstufen (nämlich die unter 1200m) werden von den Tieren ganzjährig und unabhängig von Neigung und Exposition nicht genutzt. Der Parameter Höhe zeigt dadurch in einigen Ausprägungen aus-

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

schließenden Charakter und geht daher multiplikativ in die Modellierung ein. Exposition und Hangneigung hingegen können als innerhalb der jeweiligen Höhenstufe zusätzlich wertgebend verstanden werden. Sie werden daher additiv in das Modell eingebunden. Der Eignungswert berechnet sich daher nach der Formel $HÖHE * [EXPOSITION + NEIGUNG]$ (vgl. Abb. 18). Daraus ergibt sich ein Wertebereich von 0-50.

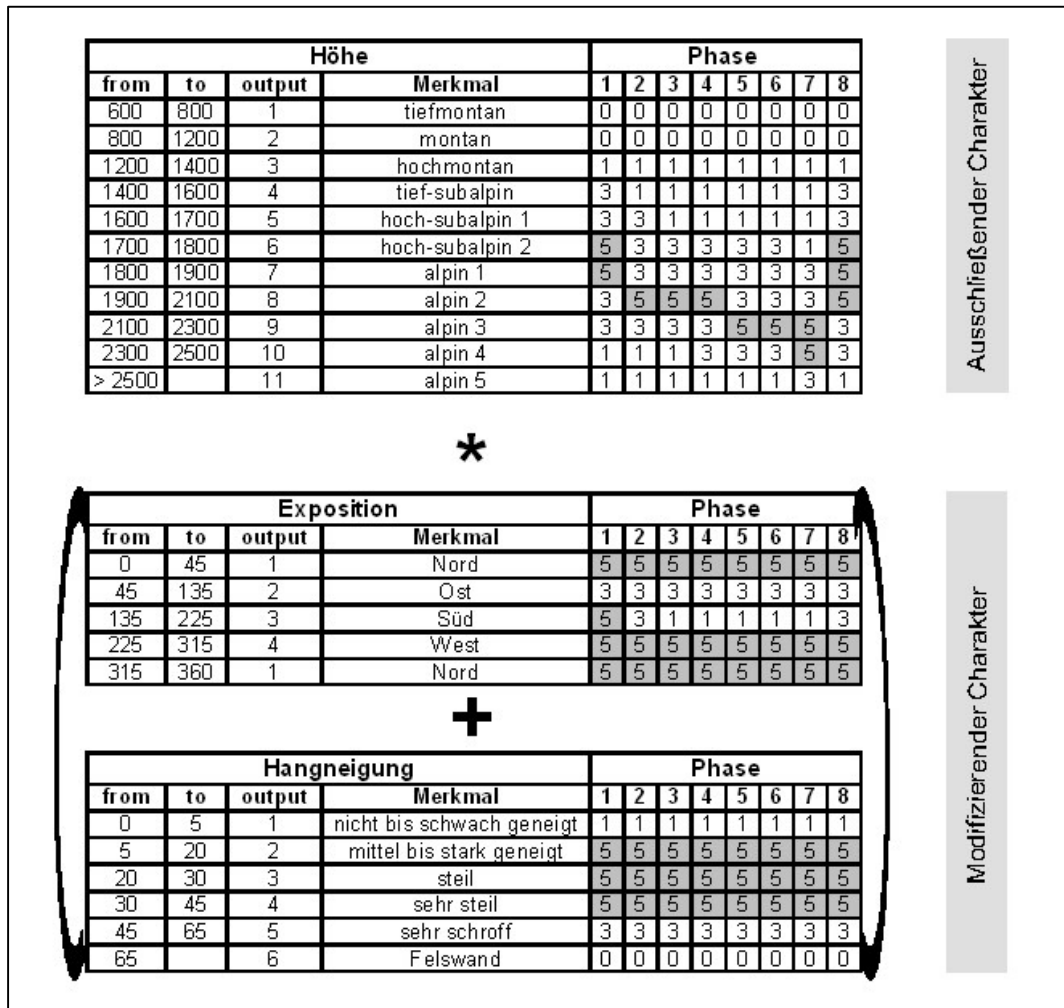


Abbildung 18: Logische Verknüpfung der Modellparameter

3.5.2. Strukturierung des Zeitverlaufs

In der Phase der konzeptionellen Modellierung wurde der Jahreszyklus der Alpenschneehühner in acht Lebensphasen diskretisiert (siehe Abb. 11). Diese Einzelbausteine müssen nun in der Phase der logischen Modellierung zu einem zyklischen Verlaufsmo- dell zueinander in Beziehung gesetzt werden. Dies erfordert erneut die Auseinanderset- zung mit der jahreszyklischen Lebensweise der Alpenschneehühner. Meist werden in der Literatur zeitbezogene Aspekte aus der Ökologie von Wildtierarten Ausschnitts wei- se und unter zu Hilfenahme der kalendarischen Betrachtungsform beschrieben (z.B.

„Die Balz zieht sich von Mitte April bis Ende Juni hin“ (BfN 2005)). Kontinuierliche Veränderungen werden kaum beschrieben (vgl. Kap. 3.4.3). Zudem existieren zu einzelnen Phasen recht unterschiedliche Angaben, die teilweise wohl aus regionalen Unterschieden, teilweise aus den witterungsbedingt unterschiedlichen Verläufen von Jahr zu Jahr und teilweise wohl auch aus Wissenslücken zur Art resultieren. Zwar fallen bestimmte Lebensphasen immer wieder in die selben Monate, jedoch bedingen diese den Lebensrhythmus von Tieren nicht ursächlich. Neben Parametern, die jahreszeitlich konstant ausfallen wie beispielsweise die Tageslänge, sind auch aus kalendarischer Sichtweise variable Faktoren wie Temperatur, Schneelage u.a. für die Raumwahl der Tiere ausschlaggebend. Um diese Variabilitäten in zeitlicher Hinsicht in einem GIS-gestützten Ansatz abzufangen, bedarf es einer relativierten Betrachtungsweise. LAUSCH spricht von einem Masterbild, das als raum-zeitliche Bezugseinheit definiert werden muss, um ausgehend davon in relativer Art und Weise Veränderungen fest zu machen (LAUSCH 2004). Zwar bezieht sich die Aussage von LAUSCH auf sich im Zeitverlauf ändernde Landschaftsstrukturmaße, jedoch kann diese Forderung auch auf zeitzyklische Systeme übertragen werden. Im Sinne einer zeitzyklischen Betrachtungen beziehen sich Veränderungen dann beispielsweise auf Unterschiede zwischen verschiedenen Jahren oder zwischen individuen- und populationsbezogener Sichtweise.

Für die logische Modellierung der jahreszyklischen Lebensweise der Alpenschneehühner dienen die Strukturierungsvariablen aus Kapitel 2.2.4. als Grundlage. Demnach gilt es neben Abfolge und Gültigkeits-Dauer der Intervalle, Synchronisation und momentartige Veränderungen im Jahresablauf zu beschreiben.

Abfolge der Intervalle

Die Lebensphasen der Tiere stellen die Intervalle in der zyklischen Modellierung des Zeitverlaufs dar. Ihre Abfolge resultiert aus autökologischen Angaben und ist Abbildung 11 zu entnehmen.

Grad der Veränderung und momentartige Veränderungen

Die Einführung der Übergangslbensphasen sowie die Interpolation bei der Vergabe der Eignungswerte sorgt in der Regel für weiche Übergänge zwischen den Phasen. Lediglich der Übergang zwischen Familienverband und Wintervölkern präsentiert sich sprunghafter. Dies resultiert aus der einschneidenden Wirkung des Wintereinbruchs. Einsetzende winterliche Bedingungen verändern die Lebensraumwahl der Tiere in kurzer Zeit stark (vgl. BAUMGARTNER 1989). Ebenso wie die Phase der Schneeschmelze hat der Wintereinbruch damit aus Modellsicht momentartigen Charakter, da diese Zeitdauer kleiner als die zu Grunde liegende Granularität ist (vgl. Düppe).

Gültigkeitsdauer der Zeitintervalle

Unter der Gültigkeitsdauer der Zeitintervalle aus Modellsicht verbirgt sich die Abstrahierung der tatsächlichen Dauer der Lebensphasen der Alpenschneehühner. Während beispielsweise die Brutphase mit 21-22 Tagen eine sehr genau bekannte und immer gleiche Dauer und damit Modell-Gültigkeit (pro Individuum!) besitzt, bestehen hinsichtlich der meisten anderen Lebensphasen wesentlich größere Unsicherheiten. Die Proportionen zwischen den einzelnen Intervallen werden soweit möglich aus Literaturangaben abgeleitet (siehe Abb. 10). Wissenslücken werden wie in der räumlichen Modelldimension geschätzt. Winter- und daran anschließende Übergangslbensphasen bestimmen rund die Hälfte des Jahresverlaufs. Die Gültigkeitsdauer der Übergangslbensräume vermag es unterschiedlich lange andauernde Winterverhältnisse (Schneebedeckung) abzufangen.

Synchronisation des Zeitverlaufs

Bezüglich der Synchronisation des Zeitverlaufs ist es wichtig zwischen einer individuenbezogenen und einer populationsorientierten Sichtweise zu unterscheiden. Bezieht sich die Strukturierung des Zeitverlaufs auf ein Individuum, so ist davon auszugehen, dass sich die Lebensphasen direkt – ohne Lücken oder Überschneidungen - aneinander anschließen. Da die Habitatmodellierung jedoch populationsbezogene Aussagen treffen will, muss vorwiegend von sich überlappenden Zeitbeziehungen ausgegangen werden. Diese Annahme leitet sich aus den Abweichungen zwischen einzelnen Individuen ab. Lediglich die Phase der Wintervölker wird durch nicht überlappende, direkt aneinander anschließende Intervalle modelliert. Dies ist auf den oben angesprochenen momentartigen Charakter des Wintereinbruchs zurückzuführen, der hypothetisch wohl alle Individuen gleichermaßen betrifft.

Abbildung 19 fasst den logischen Aufbau des Zeitverlaufs zusammen:

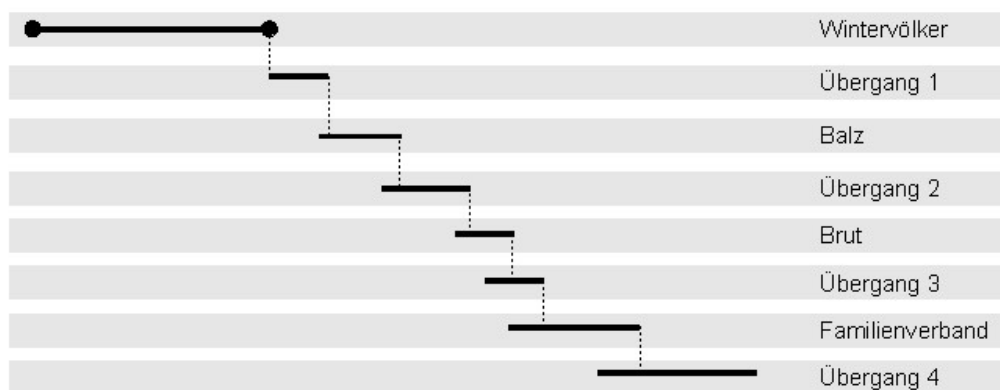


Abbildung 19: Strukturierung des Zeitverlaufs

3.6. Physische Umsetzung in Arc GIS 9.2

3.6.1. Modellierung mit Model Builder

Anschauliche Unterstützung bei der Transformation des *Logischen Modells* in die softwarespezifische Umsetzung liefert der Model Builder in ArcGIS 9. Mit Hilfe des Model Builder können komplexe Analyse-Prozesse grafisch konstruiert und ausgeführt werden (LIEBIG 2005). Einzelne Prozessbausteine können so zu einem gesamten Arbeitsablauf zusammen gefügt werden. Neben Eingabedaten, Analysefunktion und Ausgabedaten können Modelle auch Bedingungen, Parameter und Variablen enthalten. Die mit der Verwendung des Model Builder einhergehende Darstellung als Ablaufdiagramm unterstützt die nachvollziehbare und transparente Gestaltung von Analyseabläufen. Diese Form der visuellen Strukturierung komplexer Modellierungsabläufe dient zudem der Dokumentation von Teilmethoden, aktuellem Arbeitsstand, aber auch der Dokumentation im Hinblick auf den Modellierungsprozess als Gesamteinheit. Die Weitergabe von Modellen wird durch graphische und physische Exportmöglichkeiten unterstützt.

Vorteile in Übertragbarkeit, Kommunikation und Modelldokumentation führten auch für das Alpenschneehuhn-Modell im Nationalpark Berchtesgaden zum Einsatz des Model Builders - hier in der Version 9.2. Wie in Abbildung 20 dargestellt und unter 2.4.1 beschrieben, sind die drei Habitatparameter *Höhe*, *Hangneigung* und *Exposition* in den Modellierungsprozess eingegangen.

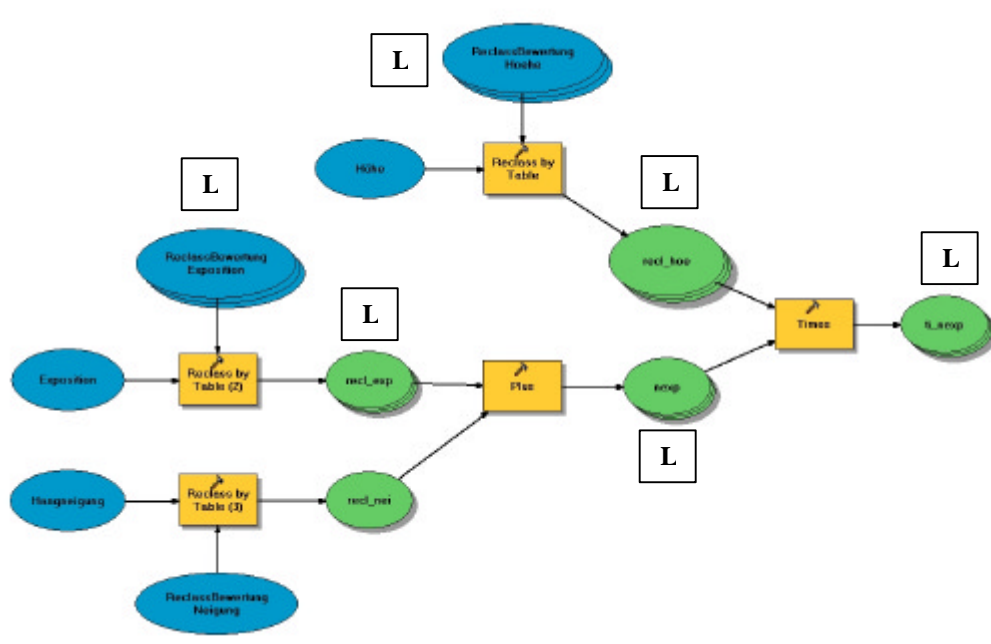


Abbildung 20: Modellaufbau in Model Builder 9.2

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

Während die beiden Modellparameter Neigung und Exposition additiv durch den Parameter *Plus* verknüpft wurden, erfolgte die Einbindung der Höhe multiplikativ unter Verwendung des Parameters *Times*, da sie als Habitatparameter ausschließende Wirkung erzeugt. Die Reklassifizierung und Eignungsbewertung erfolgt unter Anwendung von Listenvariablen, einer aus der iterativen Modellierung stammenden Methode. Die Listenvariablen erzeugen in einem einzigen Modelldurchlauf alle acht Rasterdatensätze zur Habitateignung pro Lebensphase. Sie sind in der Abbildung durch ein „L“ markiert.

Ergebnis der Modellierung sind rasterzellenbasierte Habitateignungswerte pro Lebensphase (vgl. Abb. 21). Nachdem Veränderungen über die Zeit herausgearbeitet werden sollen, dienen diese Rasterdatensätze als time-slices in einer Animation. Für die Ausgabe als Karte sowie die Visualisierung innerhalb der Animation wurden die ermittelten Habitateignungswerte in vier Stufen reklassifiziert:

0 = nicht geeignet, 1-10 = gering geeignet, 10-23 geeignet, 24-50 gut geeignet.

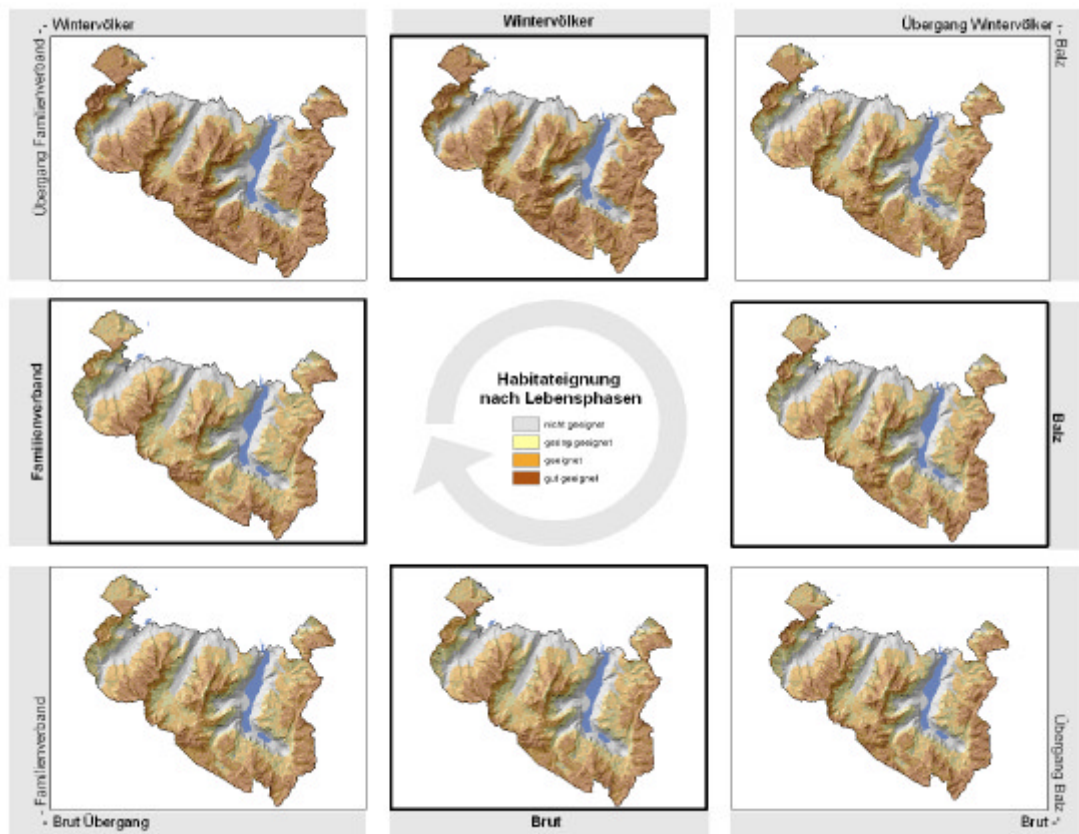


Abbildung 21: Räumlich explizite Eignungsbewertung pro Lebensphase

3.6.2. Visualisierung mittels „Animation Manager“

Die softwarespezifische Umsetzung des Zeitverlaufs erfolgte mit dem Animation Manager in ArcGIS, Version 9.2.

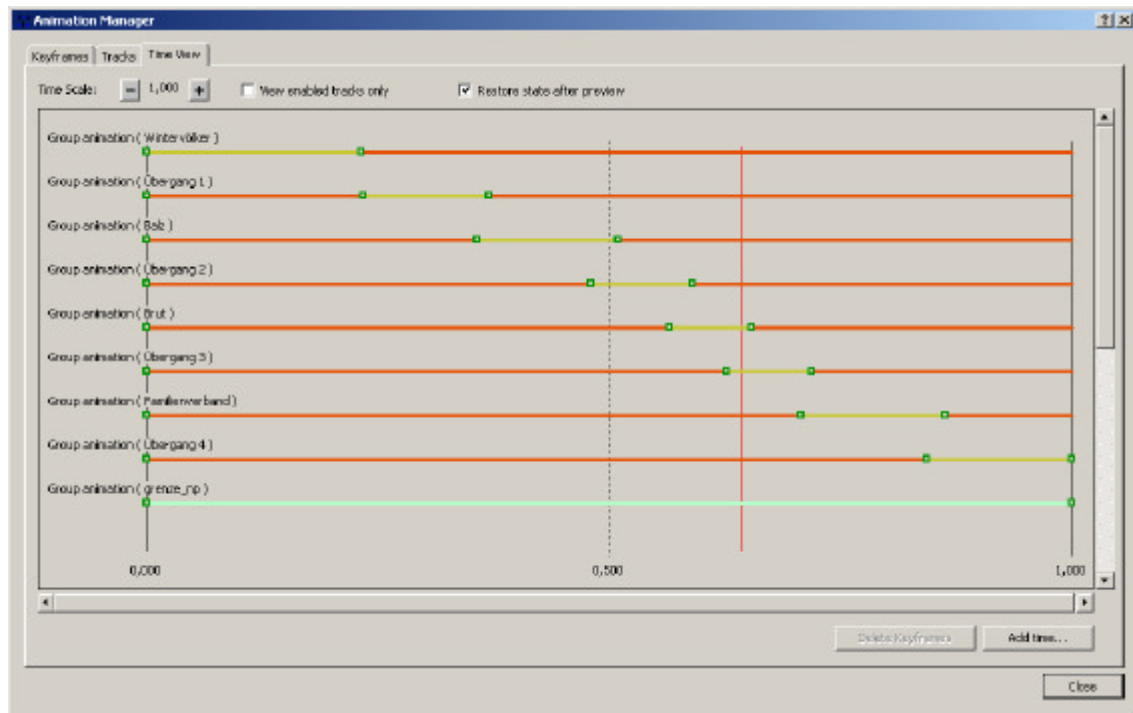


Abbildung 22: Umsetzung des Zeitverlaufs mittels „Animation Manager“ ArcGIS 9.2

Bei geringen Unterschieden zwischen den Intervallen können Nutzer die Objekte einer Szene als Ursache für die Ausprägung der nächsten Szene begreifen (vgl. WORBOYS & DUCKHAM 2004). Interpolierte bergangslbensphasen erzeugen bis auf den Übergang in den Winter, der auch tatsächlich sprunghaft mit dem ersten Schneefall einsetzt, weiche Übergänge. Umgesetzt wurde ein hypothetisch durchschnittlicher Jahresverlauf. Insbesondere zwischen den Übergängen Wintermonate – Reproduktionszeitraum besteht eine hohe Variabilität von Jahr zu Jahr. Die Veränderung der Gültigkeitsdauer der einzelnen Lebensphasen-Intervalle bietet die notwendige Flexibilität verschiedene Jahresverläufe zu simulieren. Durch die Animation der time-slices entsteht so ein Quasikontinuum, was die räumliche Veränderung der Habitateignung der Tiere in einem ersten Schritt andeutet.

3.7. Modellverifizierung

Als integraler Bestandteil des Modellierungsprozesses verfolgt die Modellverifizierung das Ziel, eine objektive Einschätzung der Modellgüte zu ermöglichen. Eine gute Mög-

3. Modellierung saisonal variierender Habitatansprüche des Alpenschneehuhns

lichkeit die Prognosegüte eines Modells zu überprüfen, ist die Verwendung von Stichprobendaten, die nicht zur Modellschätzung verwendet wurden“ (SCHRÖDER & REINEKING 2004). Punktbeobachtungen, die nicht zur Modellbildung verwendet wurde, liegen für das Alpenschneehuhn im Nationalpark Berchtesgaden nicht vor. Ansatzpunkt für eine qualitative Einschätzung durch den Modell-Autor können selektive Abgrenzungen bekannter Vorkommensgebiete durch lokale Experten sein. Diese sind weder vollständig noch strukturiert erhoben und daher auch nur mit Einschränkungen zu verwenden. Allerdings sind sie in keiner Form in die Modellbildung eingegangen, da die Abgrenzung in Interviews zwischen nicht in die Modellbildung eingebundener Personen erfolgte. Die Überlagerung bekannter Aufenthaltsorte der Alpenschneehühner mit den Modellergebnissen zeigen immerhin eine räumliche Übereinstimmung, d.h. die Modellergebnisse überschneiden sich räumlich mit den ganzjährig potenziell geeigneten Habitatflächen. Eine saisonale Differenzierung der Habitate konnten die befragten Personen jedoch nicht angeben, so dass keine Verifizierung im Jahresverlauf möglich ist.

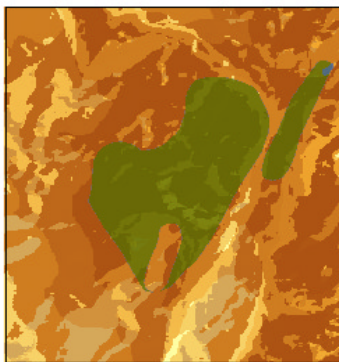


Abb. 23a: Größtenteils zeigt sich eine recht plausible Überlagerung von Modellergebnissen und bekannten Aufenthaltsorten des Alpenschneehuhns im Nationalparkgebiet. (grün gekennzeichnete Bereiche). Rot gekennzeichnete Bereiche weisen eine sehr gute Habitat-eignung laut Modell auf.

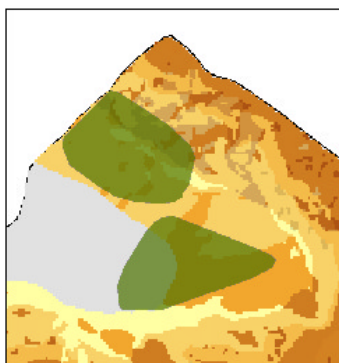


Abb. 23b: Abweichungen lassen sich trotz der Einbeziehung der montanen Stufe als geeignete Habitate hinsichtlich der Höhe erkennen. Die grün gekennzeichneten bekannten Aufenthaltsorte liegen teils außerhalb und höhenmäßig betrachtet niedriger als die aus dem Modell resultierenden farbig gekennzeichneten geeigneten Flächen. Weitere Expertengespräche müssten hier klären, ob dies kartographische Abgrenzungungenauigkeiten sind, was bei unterer Fläche durchaus denkbar wäre, oder ob es sich um tatsächliche Abweichungen der Habitateignung handelt.

Abbildung 23: Modellverifizierung

Aufgrund der für eine vollständige Modellverifizierung unzureichenden Datenlage wird daher für vorliegendes Modell Verifikationslevel 1 nach HSI angenommen. Nach aktuellem Kenntnisstand scheinen die Modellergebnisse in ihrer Gesamtheit durchaus plausibel, wenn auch eine weitere Einschränkung geeigneter Bereiche erfolgen muss. Eine ausführlichere Einschätzung der Modellierung hinsichtlich Zielerfüllungsgrad und Methode erfolgt in der Diskussion.

4. Diskussion

Vorgestellter Ansatz ermöglicht durch die Verknüpfung klassisch raumbezogener Modellierungsansätze mit zeitlichen Modellierungsmethoden eine erste Annäherung an eine raum- und zeitbezogene Bewertung der potentiellen Habitataignung für das Alpenschneehuhn im Nationalpark Berchtesgaden. Gleichzeitig wird damit beispielhaft ein Ansatz präsentiert, wie zeitzyklische Phänomene vor dem Hintergrund des Schutzgebietsmanagements GIS-gestützt modelliert werden können. Anwendbarkeit sowie räumliche und zeitliche Modelldimension werden im folgenden genauer betrachtet.

4.1. Anwendbarkeit des Modells im Nationalparkmanagement

Eine wichtige Grundlage der Managementpraxis stellt die Schutzgebietsforschung dar. Um beurteilen zu können, wie Habitatmodelle allgemein und das vorgestellte Modell im Speziellen in die Managementpraxis eingehen können, müssen daher die Zieldimensionen der Schutzgebietsforschung betrachtet werden. SCHEURER & PLASSMANN differenzieren vier Zieldimensionen der Nationalparkforschung (vgl. SCHEURER & PLASSMANN 2006), die in Abbildung 24 aufgeführt sind.



Abbildung 24: Zieldimensionen der Nationalparkforschung

Systemwissen beinhaltet das gesamte Basiswissen zur Natur- und Kulturlandschaft beziehungsweise die Inventur der Schutzgüter. Prozessverständnis zielt auf Langzeitveränderungen und die Abschätzung von Einwirkungen auf Naturgüter ab, während Handlungswissen praktische Managemententscheidungen im Sinne von „best practise – Anleitungen“ stützen soll. Forschung im Hinblick auf die Erarbeitung von Zielwissen widmet sich der Szenarientwicklung sowie der Effizienzkontrolle von Maßnahmen.

Diese Mehrdimensionalität zeigt ein breites Anforderungsprofil für die Schutzgebietenforschung.

Detaillierte Information zum Raum-Zeit-Verhalten von Wildtieren, aber auch hinsichtlich raum-zeitlicher Ausprägungen verschiedener Nutzungsformen und Veränderungen der Landschaft (alpine Dynamik, klimatische Veränderungen etc.) sowie deren Wechselwirkungen sind dabei Kernobjekte von Forschungsansätzen. Vor allem die große Flächenausdehnung erfordert, dass Nationalparke nach effektiven Mitteln suchen, diese Vielfalt an Aufgaben zu bewältigen. Gleichzeitig sollen die durch die Schutzgebietenforschung modellhaft erarbeiteten Erkenntnisse einen Beitrag zu regionalen und überregionalen Umweltfragen leisten (BayStMLU).

Alpine Gegebenheiten erschweren dabei Geländeuntersuchungen. GIS finden damit in den Verwaltungen von Großschutzgebieten ein breites Einsatzspektrum und erfahren wachsende Aufmerksamkeit, was verschiedene Tagungen zum Thema GIS in Schutzgebieten verdeutlichen („1st Workshop on GIS within the Network of Protected Areas“ Zerne 2006, „2. Anwendertreffen GIS in Nationalen Naturlandschaften“ Vilm 2007). Die Modellierung der Habitateignung für bestimmte Arten ist eine im Schutzgebietenmanagement inzwischen häufiger anzutreffende Einsatzmöglichkeit von GIS (vgl. www.agit.at).

Jedoch muss die konkrete Anwendbarkeit der Modellergebnisse im Einzelfall reflektiert werden. Diese hängt stark von den verwendeten Methoden und den für die Modellbildung verfügbaren Daten ab. PLACHTER et al. formulieren einen Methoden-Standard „Fachliche Randbedingungen zur Beurteilung der Zulässigkeit der räumlichen Habitatabgrenzung“ im Kontext mit Landschafts- sowie Pflege- und Entwicklungsplanung (vgl. PLACHTER ET AL. 2002). Nationalparkplanung und -management sind mit der Aussageebene von Flächen- und Entwicklungsplänen durchaus vergleichbar; die Einschätzungen von PLACHTER et al. demnach auf vorliegenden Modellansatz inhaltlich übertragbar. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist entsprechend o.g. Standard das Vorhandensein regionalisierter ökologischer Information eine der Grundvoraussetzungen für die Zulässigkeit räumlicher Habitatabgrenzungen. Speziell für das Alpenschneehuhn im Nationalparkgebiet ist dies zum einen durch die Studie von BAUMGARTNER, durch Zufallsbeobachtungsdaten sowie Expertenwissen (Nationalparkdienst, Revierleiter, Berufsjäger) teilweise gegeben. Alter und Anzahl der verfügbaren Daten sowie Subjektivität der Expertenaussagen schränken jedoch die objektiv wissenschaftliche Einsetzbarkeit der Daten sowie die erreichbare Zuverlässigkeit der Modellaussage ein.

Generell können laut PLACHTER et al. faunistische Potenzialabschätzungen ein Hilfsmittel für die Voruntersuchung bzw. das Scoping sein. Sie ersetzen jedoch nicht die Erhe-

bung von Arten im Planungsgebiet. „Das Ableiten von Zielen und Maßnahmen aus einer Potenzialanalyse ist ohne eine Validierung d.h. ohne Durchführung eines Prüfungsschritts in der Realität fachlich nicht zulässig“ (PLACHTER et al. 2002, S. 165).

Auf Grundlage der für das Alpenschneehuhn im Nationalpark Berchtesgaden vorgenommenen Potenzialabschätzung geeigneter Lebensräume im Jahresverlauf können demzufolge keine Verträglichkeitsabschätzungen oder Managementmaßnahmen im Sinne einer Besucherlenkung o.ä. direkt abgeleitet werden. Dennoch bietet die Modellbildung einige Vorteile, die im Management von Schutzgebieten nützlich sein können. Denn wie oben dargestellt, ist nicht nur konkretes Handlungswissen erforderlich, sondern im Sinne der Mehrdimensionalität von Nationalparkforschung auch Prozess- und Systemwissen. Die im Zuge des Modells erarbeitete raum-zeitbezogene Hypothese stellt einen Fortschritt zum bisherigen Wissensstand zur Art im Gebiet dar und erfüllt damit auch den Auftrag Basiswissen zu erarbeiten. Des Weiteren formalisiert und objektiviert die Modellierung vorhandene Hypothesen zur Art, eine wichtige Anforderung hinsichtlich Prozessverständnis und Zielwissen in der Nationalparkforschung. Auch lässt sich der Aufwand für Geländeerhebungen durch die Einbeziehung der Modellierungsergebnisse in deren Vorbereitung reduzieren (vgl. RUDNER et al. 2004). Das Modell kann damit als Grundlage für weitere Erhebungen und als anschauliche Basis für Expertengespräche, auch im Sinne konkreter Handlungsfragen, erste Ansatz- und Diskussionspunkte liefern.

4.2. Räumliche Modelldimension

Wie aus der naturschutzfachlichen Beurteilung von faunistischen Potenzialabschätzungen hervorgeht, sind derartige Modellbildungen nicht uneingeschränkt in der Managementpraxis anwendbar. Vorbehalte resultieren aus verschiedenen Kritikpunkten von denen der zentrale die grundsätzliche Machbarkeitsfrage der GIS-gestützten Abstraktion komplexer ökosystemarer Beziehungsgefüge darstellt. Problematisch wird zum einen die Identifizierbarkeit der wesentlichen Einflussfaktoren an sich gesehen. Zudem erweist es sich bei bestimmten verbreitungsbestimmenden Umweltfaktoren (z.B. menschlicher Einfluss) als äußerst schwierig, diese kartographisch darzustellen (PLACHTER et al. 2002). Eine der größten Defizite wird derzeit jedoch in der Klärung der Bedeutung der einzelnen Faktoren gesehen. „Die Wechselwirkung dieser Ökofaktoren ist weder linear noch einfach, sondern oft sprunghaft und mehrfach. [...] Es beeinflussen sich nicht nur zwei Faktoren, sondern mehrere gleichzeitig. Dies erschwert die Erstellung von Modellen prinzipiell“ (STEINER 2002). Dennoch stellen Modelle einen guten Kom-

promiss dar, eine generalisierte und flächenhaft objektivierte Annäherung an die Realität zu erzielen, solange keine flächendeckenden Geländekartierungen vorliegen.

Für die Eignungsmodellierung des Alpenschneehuhns im Nationalpark Berchtesgaden wurden bewusst nur einige wenige Modellparameter in das Habitateignungsmodell integriert, um gezielt den Anschein einer nicht gegebenen Aussagegenauigkeit (overfitting) zu vermeiden. Zudem erschwert eine hohe Anzahl an Modellparametern die Nachvollziehbarkeit der das Modell bestimmenden Kausalitäten. Das Modell sollte insgesamt im Sinne einer ersten - auch methodischen - Annäherung an die Integration zeitzyklischer Aspekte Robustheit sowie Transparenz beibehalten, auch wenn die zeitzyklische Betrachtung den Komplexitätsgrad des Modells zusätzlich erhöht. Dies kommt auch der Forderung von BLASCHKE entgegen „einfache Modelle zu erstellen, die mit begrenztem Aufwand und ohne aufwendige populationsökologische Untersuchungen angepasst werden können“. „Wünschenswert wäre es daher regional anpassbare Modelle auf der Basis von flächendeckend vorhandenen digitalen Daten zu erstellen“ (BLASCHKE 2004). Diese Forderung gewinnt insbesondere vor dem Hintergrund nationaler und internationaler Vorgaben (z.B. Natura 2000-Anforderungen) an Bedeutung. Der im vorliegenden Ansatz erarbeitete Modellentwurf könnte beispielsweise durch die ausschließliche Verwendung von Parametern, die aus dem Digitalen Geländemodell ableitbar sind, auf die grenzübergreifende Schutzgebietsregion „Nationalpark Berchtesgaden / Salzburger Kalkhochalpen“ angewendet werden. Auch wenn vermutlich die Auflösungen des Digitalen Geländemodells und daraus abgeleiteten Rasterdatensätzen grenzübergreifend nicht identisch sind, ist eine Übertragung der Methode dennoch denkbar. Die sich im Österreichischen anschließenden Schutzgebiete sind teilweise auch Bestandteil der Natura 2000 Kulisse, womit allen diesen Bereichen der Auftrag übermittelt wurde den Erhaltungszustand der Arten zu bewerten sowie Monitoring durchzuführen. Unabhängig von gesetzlichen Vorgaben fungiert der gesamte grenzübergreifende Schutzgebietskomplex durch die naturräumlichen Gegebenheiten als funktionale ökologische Einheit. Diese Tatsache soll in Zukunft vermehrt Beachtung finden. Unter sieben anderen Gebieten im Alpenbogen wurde auch die grenzübergreifende Schutzgebietsregion um den Nationalpark Berchtesgaden als Modellregion hinsichtlich grenzübergreifender ökologischer Verbundprojekte benannt (vgl. NETZWERK ALPNER SCHUTZGEBIETE 2004). Voraussetzung hierfür ist u.a. die sukzessive Entwicklung einer grenzübergreifenden Datenbasis.

Dabei bietet die Kombination aus flächenhaft anwendbaren Modellen und kleiner flächigen Detailstudien entscheidende Vorteile aus regionaler Perspektive. Für den genannten Schutzgebietskomplex können im Nationalpark (wo Technik und Daten vergleichsweise umfangreich gegeben sind) Modelle entwickelt, verfeinert und getestet

werden, die dann unter genauer Kenntnis der regionalen Anwendbarkeit auf den gesamten grenzübergreifenden Schutzgebietskomplex übertragen werden können. Dies kann eine länderübergreifende ergebnisorientierte Zusammenarbeit sowie eine Harmonisierung im Management unterschiedlicher Schutzgebietstypen und –verantwortlichkeiten stärken. Daten der nicht in den Modellbildungsprozess eingebundenen Schutzgebiete könnten dann auch zur Modellvalidierung herangezogen werden.

Abbildung 25 skizziert schemenhaft die möglichen Interaktionen zwischen kleinflächigen Detailmodellen und einem größer flächigen regionalen Anwendungsrahmen.

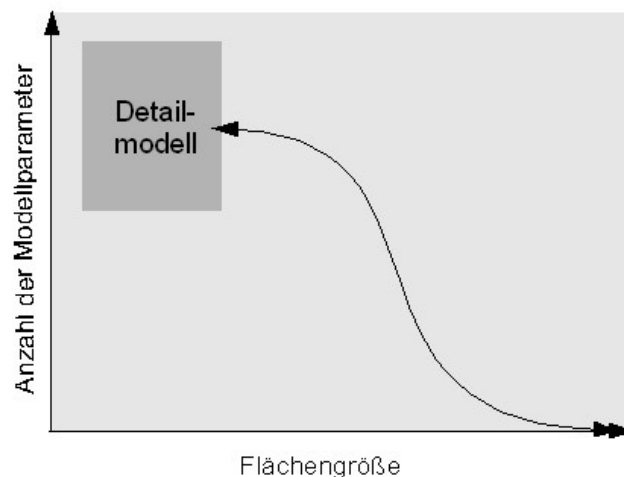


Abbildung 25: Hierarchischer Modellansatz

Zwar zeigte es sich für die Entwicklung eines ersten Methodenansatzes zur jahreszyklischen Betrachtungsweise potentiell geeigneter Habitats als günstiger zunächst wenige Parameter in die Modellbildung einzubinden. Jedoch ist die zukünftige Konkretisierung im Sinne eines regionalen Detailmodells (hier Nationalpark Berchtesgaden) durch die Einbindung zusätzlicher Modellparameter wünschenswert (vgl. Kap. 3.7). Gemäß Artensteckbrief zum Alpenschneehuhn wären v.a. Strukturdaten, Daten zur Nahrungverfügbarkeit (v.a. Vegetation) sowie Temperatur und Schneedecke von Interesse. Dass diese Parameter bisher nicht eingebunden wurden, liegt teilweise an der nicht gegebenen Datenverfügbarkeit hinsichtlich geeigneter Parameter. So wäre zur Stärkung der Temperaturhypothese (Alpenschneehühner meiden höhere Temperaturen als 16°C) und als Ergänzung des Parameters *Höhe* die Einbeziehung der 16°C-Maximum-Isotherme wünschenswert. Ebenso könnte die Kenntnis und Einbindung der Schneeverhältnisse im Jahresverlauf wertvolle Konkretisierung liefern. Diese Daten sind derzeit nicht verfügbar. Durch aktuell laufende Projekte wie das GLOWA-Danube-Projekt (vgl. <http://www.glowa-danube.de/>) könnte ihre Verfügbarkeit jedoch in den kommenden Jahren gegeben sein. Die Einbindung von Strukturparametern wird im Zusammenhang mit der zeitlichen Modelldimension diskutiert.

Was die Beurteilung der bisher berücksichtigten Parameter anbelangt, so könnten durch die Auswertung von Nachbarschaftsverhältnissen vermutlich Verbesserungen erzielt werden. Insbesondere in der Lebensphase der Wintervölker werden bisher sehr große Bereiche als potentiell gut geeignet eingestuft. Eine weitere Differenzierung scheint hier besonders erforderlich. Dies kann ohne eine Einbeziehung neuer Parameter durch die Identifizierung solcher Bereiche angestrebt werden, in denen kleinräumige Wechsel zwischen Nord- und Südhängen zu verzeichnen sind. Während von den Alpenschneehühnern auch im Winter tagsüber Nordhänge zum Anlegen von Schneehöhlen bevorzugt werden, findet gemäß Literaturangaben zur Nahrungsaufnahme ein Wechsel auf südexponierte Hänge statt. Ebenso könnte durch die Ableitung der Geländeformen (z.B. mittels des Parameters *curvature*) eine Annäherung an ebenfalls im Winter zur Nahrungsaufnahme wichtige windexponierte Grate erreicht werden. Dazu muss die Modellierungsebene im Sinne des hierarchischen Modellansatzes nicht verlassen werden. Die Aussageschärfe des Modells könnte unter Beibehaltung der selben Habitatparameter aber unter Anwendung zusätzlicher GIS-Werkzeuge verfeinert werden.

4.3. Zeitbezogene Modelldimension

Wie die räumliche Interpretation geeigneter Habitats stellt auch die zeitliche Abstraktion eine stark vereinfachte Sicht der real wesentlich komplexeren Bedingungen dar. Sowohl Diskretisierung des Zeitverlaufs als auch zeitbezogene Interpolation müssen als erste Annäherung verstanden werden. Die als Animation von time-slices umgesetzte zeitzyklische Betrachtungsweise rechtfertigt bislang nicht die Einschätzung als „echtes 4D-GIS“ (vgl. OTT & SWIACZNY 2001). Dargelegter Ansatz findet wohl eher im Bereich der statischen Prozessmodelle oder Entwicklungsstufe 1 nach WORBOYS & DUCKHAM (2004) seinen adäquaten Platz. Jedoch werden derartige Betrachtungen für bestimmte Fragestellungen als bereits gut geeignete Methode anerkannt, um sich Zeitverläufen anzunähern (vgl. WORBOYS & DUCKHAM 2004). Ein erster Schritt in Richtung raum-zeitlichen Prozessverständnisses kann durch vorgelegten Ansatz durchaus erreicht werden. Einige Kritik- und Optimierungspunkte sollen im Folgenden umfassender diskutiert werden.

Raum-zeitliche Kontinuen

Wissensbasierte Diskretisierung und Klassifizierung eröffnen weitreichende Diskussionspunkte hinsichtlich der adäquaten Abbildung wesentlicher Habitatfaktoren. Sie setzen Schwellenwerte, deren explizite Ausprägung zu Fehlern in der Qualität der Modellaussage führen können. In statistischen Modellen werden durch statistische Verfahren Alternativen zur Klassifizierung angeboten.

Für die zeitliche Dimension müssen dementsprechend Verfahren eingesetzt werden, um eine zeitlich kontinuierliche Betrachtungsweise von Veränderungen bei gleichzeitiger Diskretisierung zu unterstützen. Häufig werden zu diesem Zwecke Kalendermonate als Hilfsmittel zur Beschreibung von Veränderungen verwendet. IMFELD bemerkt hierzu, dass nicht alle Phänomene, die erforscht werden sollen, mit diesen Zeitintervallen übereinstimmen (vgl. IMFELD 2000). Bestimmte Änderungen sind kürzer als die Dauer eines Monats, andere länger, wieder andere verlaufen nicht synchron zur kalendarischen Betrachtungsweise. Gerade bei Tierarten, die derart ausgeprägte Wanderungen im Jahresverlauf unternehmen, ist es aber wichtig, räumlich-funktionale Beziehungen vor einem zeitbezogenen Hintergrund zu analysieren. Jedoch gestaltet sich dies extrem schwierig, da sich die Zeitintervalle je nach Witterungsverlauf ändern können und konkret dazu kaum Untersuchungen vorliegen.

Vorgestellter Ansatz untergliedert den jahreszyklischen Aktivitätsrhythmus der Alpenschneehühner in aus Literaturangaben ersichtliche Lebensphasen. Dieser Schritt der zeitlich diskretisierten Umsetzung muss ebenso wie die räumliche Dimension an sich im weiteren verifiziert und validiert werden. Werden die im Modell ermittelten Eignungswerte im Jahresverlauf aus Sicht „der Rasterzellen“ dargestellt, so muss hinterfragt werden, ob die Abfolge der Werte plausibel erscheint. Abbildung 26 stellt die aus der Habitatmodellierung resultierenden logische Aufeinanderfolge der errechneten Eignungswerte pro Lebensphase dar.

VALUE	COUNT	TL_NEXP1	TL_NEXP2	TL_NEXP3	TL_NEXP4	TL_NEXP5	TL_NEXP6	TL_NEXP7	TL_NEXP8
1	152993	30	10	10	10	10	10	10	30
2	80109	24	8	8	8	8	8	8	24
3	22278	18	6	6	6	6	6	6	18
4	35433	30	8	6	6	6	6	6	24
5	1909	12	4	4	4	4	4	4	12
6	1737	18	4	2	2	2	2	2	12
7	77416	8	8	8	8	8	8	8	8
8	25865	10	8	6	6	6	6	6	8
9	19879	6	6	6	6	6	6	6	6
10	8933	8	6	4	4	4	4	4	6
11	125134	10	10	10	10	10	10	10	10
12	2751	4	4	4	4	4	4	4	4
13	915	6	4	2	2	2	2	2	4
14	505867	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1607	3	3	3	3	3	3	3	3
16	2008	9	3	3	3	3	3	3	9
17	94783	30	30	10	10	10	10	10	30
18	2321	12	12	4	4	4	4	4	12
19	24574	30	24	6	6	6	6	6	24
20	49491	24	24	8	8	8	8	8	24
21	15494	18	18	6	6	6	6	6	18
22	4735	15	5	5	5	5	5	5	15
23	2183	18	12	2	2	2	2	2	12
24	1045	9	9	3	3	3	3	3	9
25	2230	15	15	5	5	5	5	5	15

Abbildung 26: Zeitliche Aufeinanderfolge der errechneten Eignungswerte

Da hierzu auch bisher kaum autökologische Forschungsansätze existieren, erfordert diese Verifizierung speziell auf die Fragestellung ausgelegte Geländearbeit. Zudem müsste die Diskretisierung an sich aus biologisch-forschender Sicht überprüft und gegebenenfalls durch zusätzliche Phasen ergänzt oder gar umgestaltet werden. So werden bisher z.B. Hähne in der Zeit, in der die Hennen die Jungen führen, nicht berücksichtigt. Ebenso bleibt offen, wie sich Individuen verhalten, die sich nicht verpaaren bzw. die nicht brüten. Eine mögliche Optimierungs-Variante könnte die Besenderung von Tieren sein. Dadurch können (entsprechende Infrastruktur voraus gesetzt) Echtzeitdaten zur Bewegung der Tiere zur auswertenden Stelle (z.B. Nationalparkverwaltung) übertragen und damit eine kontinuierliche Betrachtung von raum-zeitlichen Bewegungsmustern ermöglicht werden. Zwar können Echtzeitdaten noch keine Aussagen zur momentan durchlebten Lebensphase liefern, jedoch könnte eventuell die Anordnung der Zeitintervalle modifiziert und damit unterschiedliche Entwicklungen im Vergleich mehrerer Jahre besser verstanden werden. Angaben zur Lebensphase könnten durch begleitende Sichtbeobachtungen vor Ort ergänzt werden, wobei die Besenderung die Wiederauffindbarkeit der Tiere im Gelände erleichtert. Eine interessanter Punkt wäre hierzu, wie sich die Habitateignung bei stärkeren und länger andauernden Schneefällen im Sommer verändert. Denkbar wäre, dass unter solchen Voraussetzungen dann z.B. geeignete Habitate der Winterlebensphasen oder Übergangslbensphasen plötzlich im Sommer Gültigkeit besitzen.

Zeitlich variierende Verknüpfung der Modellparameter

Eine der Hauptschwierigkeiten im Zuge der Habitatmodellierung besteht in der Verknüpfung, das heißt der gegenseitigen Inwertsetzung, der einzelnen Parameter zueinander (SCHRÖDER & REINEKING 2004). Im bisherigen Modellansatz wurde diese Verknüpfung für alle Lebensphasen gleichermaßen umgesetzt. Dabei lassen Aussagen zur Autökologie der Tiere die Vermutung nahe kommen, dass während der Winterlebensphase und den Reproduktionsphasen (Balz, Brut, Familienverband) einzelne Parameter eine unterschiedlich wichtige Rolle spielen. Im Winter, der Phase absoluter Energieknappheit, könnten Strahlungshaushalt und Verfügbarkeit von Nahrung als Energiequellen andere Habitatfaktoren wie beispielsweise die Deckung dominieren, während hingegen in den Reproduktionsphasen Ungestörtheit und Deckungsaspekte ausschlaggebende Faktoren sein mögen. Diese Wandlung der Bedeutung einzelner Parameter im logischen Beziehungsgefüge sollte bei einer Weiterführung des Modellansatzes, wenn beispielsweise Strukturparameter integriert werden, unbedingt verstärkte Beachtung finden. Dabei sollten nicht nur die beiden Extremwerte von Sommer und Winter gegenübergestellt werden, sondern vielmehr im Sinne des zeitzyklischen Ansatzes die Veränderungsdynamik betrachtet werden.

Verbindung zyklischer mit linearen und abzweigenden Zeitmodellen

Eingangsvariablen sind bei der Modellierung hinsichtlich zeitlich konstanter und solchen, die zeitlichen Veränderungen unterliegen, zu differenzieren. Gehen zeitlich sich verändernde Parameter mit in den Modellierungsprozess ein, so ist eine Kombination der zyklischen Betrachtungsweise mit einer linear konsekutiven Betrachtungsweise erforderlich. DORMANN et al. (2004) formulieren hierzu, dass „ein Zusammenhang zwischen Landschaftsstrukturmaßen und Anspruch der Art nur zu einem geringen Maße zeitlich konstant [ist]. „Landschaftstypen mit einer hohen Dynamik [z.B. alpine Landschaftsausschnitte] führen im Zeitverlauf zu völlig anderen Raumstrukturen“ (LAUSCH 2004 S. 79). „Dies stellt Habitatmodelle, die nur auf Daten eines Zeitschnittes beruhen, grundsätzlich in Frage, da ihre zeitliche Validität nicht prüfbar ist.“ (DORMANN et al. 2004).

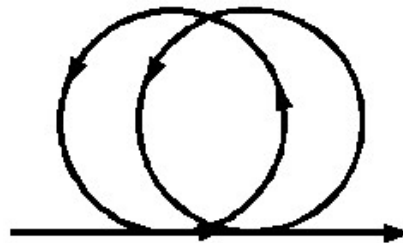


Abbildung 27: Verbindung zyklischer und linearer Zeitmodelle

Ebenso kann diese Verbindung unterschiedlicher Zeitmodelle für die Entwicklung von Szenarien vor dem Hintergrund des Klimawandels angenommen werden. Hierbei kämen zusätzlich abzweigende Zeitmodelle mit in die Betrachtung, die verschiedene klimatische Entwicklungsmöglichkeiten berücksichtigen (vgl. SCHAUMBERGER et al. 2005).

Als Beispiel für die Schnittstelle unterschiedlicher Zeitmodelle soll hierzu die Einbindung von Strukturdaten aus der Luftbildinterpretation erörtert werden. Für die Interpretation von Color Infrarot Luftbildern im Nationalpark Berchtesgaden wurde der HABITALP Interpretation Key (HIK) verwendet (vgl. www.habitalp.org). Der aus der Luftbildinterpretation resultierende Strukturtyp wurde bisher nicht in die Modellbildung miteinbezogen. Ein Grund hierfür besteht darin, dass die verfügbaren Strukturdaten sich aus der Gliederung des Interpretationsschlüssels ergeben, der sich an luftbildsichtbaren Strukturen, nicht aber an den Lebensraumanprüchen vor Arten orientiert (vgl. LOTZ 2006). In Anbetracht der vielschichtigen Fragestellungen an die Forschung im Nationalpark wäre eine jeweils fragestellungsabhängige Interpretation auch nicht leistbar.

Dies bedeutet jedoch, dass der Bezug zwischen Inhalten des Interpretationsschlüssels und Habitatanforderungen des Alpenschneehuhns erst hergestellt werden muss. Das heißt es muss ein inhaltlicher Abgleich erfolgen, welche luftbildsichtbaren Strukturen in welcher Ausprägung relevant für die Lebensraumeignung des Alpenschneehuhns sind. Ein Beispiel hierzu stellen Waldstrukturen dar. Das Alpenschneehuhn lebt literaturgemäß oberhalb der Waldgrenze. Der Habitatp Interpretation Key definiert Waldflächen als Bereiche, deren Deckungsgrad an Bäumen mindestens 30% aufweist. Für die Trennung in Rasen/Heide/Gebüsch mit Bäumen und locker bestandenen Waldflächen wird der Abstand einer Baumlänge als Maßstab herangezogen. „D.h. sobald die Bäume am Bestandesrand mit einem größeren Abstand zueinander stehen, sollte die Fläche nicht als Wald interpretiert werden“ (www.habitlap.org). Derartige Vorgaben aus dem Interpretationsschlüssel müssen für die Ableitung von Habitateignungswerten aus Sicht des Alpenschneehuhns bewertet werden. Der Operationalisierungsschritt von literaturbasierten Habitatangaben in Definitionen des Interpretationsschlüssels gestaltet sich demnach wesentlich komplexer als die Umsetzung von Angaben zu Höhe, Hangneigung und Exposition. Die Einbindung von Strukturdaten aus der Luftbildinterpretation erfordert detailliertes Wissen und Erfahrungen sowohl zu den Ansprüchen der Art als auch zur Interpretationsmethode.

Anders als bei den bisher in die Modellbildung eingegangenen Parametern, können zur regionalen Annäherung von luftbildsichtbaren Strukturen und Habitatansprüchen auch nicht die Zufallsbeobachtungsdaten aus dem Nationalparkgebiet ohne Vorbehalte verwendet werden. Die insgesamt wenigen Beobachtungsdaten des Alpenschneehuhns stammen aus einem Zeitraum von mehr als 25 Jahren. Zur Verschneidung mit Strukturdaten müssten demnach die Datensätze nach ihrem Aufnahmezeitpunkt gruppiert und mit solchen Datensätzen zur Struktur verschnitten werden, die aus dem selben oder einem nahen Zeitbereich stammen. Interpretationen nach dem HABILALP Interpretation Key (HIK) liegen für die Jahre 1997 und 2003 im Nationalparkgebiet vor. Für diesen Zeitraum sind jedoch die wenigsten Beobachtungsdatensätze für das Alpenschneehuhn verfügbar. Die zeitliche Nicht-Übereinstimmung zwischen Habitat- und Vorkommensdaten wird unter den Hauptursachen für Habitatmodelle mit geringem Erklärungswert geführt (LAUSCH 2004). Zudem besteht aber auch hinsichtlich der Analyse von Veränderungen und deren tatsächlichem Einfluss auf die Habitateignung von Wildtieren noch erheblicher Forschungsbedarf. So existieren bisher keine regionalen Angaben welche Veränderungen in der alpinen Zone tatsächlich in welchem Ausmaß und über welche Zeiträume hinweg stattfinden. Zwar existieren für das Nationalparkgebiet Luftbildbefliegungen seit 1980, allerdings wurden diese (noch) nicht standardisiert ausgewertet. Eine Abschätzung welchen Einfluss die Veränderung von Strukturdaten auf die Lebens-

raumwahl von Alpenschneehühnern haben, wäre zum jetzigen Kenntnisstand spekulativ. Eine Einbindung von Strukturdaten in das Modell wäre aufgrund der Bedeutung von Geländestrukturen für die Habitateignung grundsätzlich anstrebenswert. Allerdings sind hierfür aktuelle und zielgerichtete Geländeaufnahmen zur Verbindung von Ansprüchen des Alpenschneehuhns mit Interpretationsergebnissen aus Luftbildbefliegungen notwendig. Durch die gegebene Interpretationstiefe entsteht anderenfalls bei gleichzeitig kaum bestehenden regionalen Habitatkenntnissen zur Art ein hohe Gefahr, falsche Kausalitäten aus der Luftbildinterpretation abzuleiten. Ergänzend dazu könnten luftbildbasierte Studien zur Veränderungsanalyse alpiner Lebensräume über die vergangenen Jahrzehnte hinweg wertvolle Ergebnisse hinsichtlich der Veränderungsdynamik innerhalb linearer Zeitverläufe liefern und wiederum Rückschlüsse auf die aktuelle Ausprägung zeitzyklischer Phänomene ermöglichen.

Annäherung an interdisziplinäre Beziehungsgefüge im Management

Ein zentraler Motivationspunkt für die Auseinandersetzung mit zyklischen Zeitphänomenen in der Habitateignung besteht im Erlangen von Prozessverständnis hinsichtlich der die Veränderung steuernden Parameter und ihrer möglichen Interdependenzen.

Ebenso wie die Habitateignung im Jahresverlauf mit verschiedenen Parameterausprägungen variiert, verändert sich auch die Eignung der Landschaft für verschiedene Nutzungsformen. Traditionelle Landnutzungsformen wie die Almwirtschaft verdeutlichen dies durch die in Abhängigkeit der Höhe wechselnde Bewirtschaftung von Weideflächen im Verlauf eines Almsommers (Tiefleger – Mittelleger – Hochleger). Aber auch moderne Landnutzungsformen wie beispielsweise die Erholungsnutzung sind von zeitlichen Einflussfaktoren abhängig. Gerade der winterlichen Erholungsnutzung wird ein hohes negatives Einflusspotenzial auf die Populationen des Alpenschneehuhns zugesprochen (vgl. Artensteckbrief). Ähnlich den zeitlichen Rhythmen der Wildtiere variieren auch die Präsenzzeiten Erholungssuchender in den Lebensräumen verschiedener Tierarten. Vorwiegend die Schneeverhältnisse und die Exposition beeinflussen Attraktivität und Sicherheit der gewählten Route der Skibergsteiger in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit. Hinsichtlich ihrer saisonalen Eignung werden für den Frühwinter, den Hochwinter und das Frühjahr geeignete Touren differenziert (SCHNEEWEIß & RITSCHEL 1999). Die dadurch bedingten zeitlichen Nutzungsschwerpunkte einzelner Routen spielen bei der Analyse der winterlichen Erholungsnutzung eine zentrale Rolle. Um noch unabhängiger von der kalendarischen Betrachtungsweise zu werden, sollte untersucht werden, ob durch einen Abgleich beide Systeme steuernder Parameter eine relative Annäherung an ursächliche Beziehungsgefüge erreicht werden kann. Beispielsweise könnte hinterfragt werden, ob Tiere und Skibergsteiger im Verlauf des Winters dieselben

Expositionen bevorzugen oder ob vom Alpenschneehuhn präferierte Schneeverhältnisse auch gut geeignete Skitourenverhältnisse darstellen.

4.4. Fazit

Das entstandene Modell ist als erste flächendeckende und zeitzyklische Hypothese zur saisonal variierenden Habitateignung für das Alpenschneehuhn im Nationalpark Berchtesgaden geeignet. Neben einem Fortschritt bezüglich des regionalen Kenntnisstandes, konnte durch die Modellbildung vorhandenes Wissen strukturiert und formalisiert werden. Die Auseinandersetzung mit zeitlich variierenden Habitatansprüchen fördert das Prozessverständnis und kann im Weiteren für die Beantwortung interdisziplinärer Managementfragstellungen hilfreich sein. Das entstandene Modell dient als Denkanstoss und Diskussionsgrundlage und damit auch als Grundlage weiteren Handelns. Auch wenn es noch keine abgesicherten Detailergebnisse zur Lebensraumwahl des Alpenschneehuhns liefern kann, auf denen beispielsweise direkt ohne weitere Reflexion Managementmaßnahmen aufbauen können, reduziert es den künftigen Aufwand bei der Planung von Geländeaufnahmen. Durch die ausschließliche Verwendung von Habitatparametern, die sich aus dem Digitalen Geländemodells ableiten lassen, könnten Modellhypothesen auf die gesamte grenzübergreifende Schutzgebietsregion übertragen und mit Hilfe aus angrenzenden Schutzgebieten verfügbarer Daten validiert werden.

Soll der Faktor Zeit bei der Entwicklung zeitgemäßer Managementkonzepten mehr Berücksichtigung finden, besteht sowohl aus ökologisch-wissenschaftlicher Sicht als auch seitens der Geographischen Informationsverarbeitung noch erheblichen Forschungsbedarf. Autökologische Studien, die sich speziell der zeitbezogenen Veränderung geeigneter Habitatansprüche widmen, liegen aktuell nicht vor. Auch sind Methoden der Zeitintegration in GIS gerade erst in der Entwicklung begriffen. Dies wird neben entsprechenden Literaturangaben (WORBOYS & DUCKHAM 2004, IMFELD 2000, OTT & SWIACZNY 2001) dadurch verdeutlicht, dass bislang für die Integration von Zeitaspekten in die Habitatmodellierung kaum standardisierte Methodenempfehlungen existieren. Verwendete softwarespezifische Funktionalitäten wie Methoden der iterativen Modellierung sowie Animationswerkzeuge wurden erst in der seit kurzem auf dem Markt existierenden Version 9.2 von ArcGIS implementiert.

Jedoch hat der Faktor Zeit für ein differenziertes Management grundlegende Bedeutung. Fundierte Beurteilungen von Konfliktpotentialen sowie sich abzeichnende Langzeitveränderungen der klimatischen aber auch sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen, erfordern die vermehrte Auseinandersetzung mit zeitbezogenen Einflussfaktoren.

Vorgestellter Ansatz skizziert eine Möglichkeit, zeitzyklisch variierende Raumnutzungsmuster stärker in das Schutzgebietsmanagement einzubeziehen. Wie jede Hypothese bedarf auch diese der weiteren Validierung und Erforschung.

5. Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- BASSI, M. (2003): Habitat-Modelle in der Wildökologie. Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft an der Universität für Bodenkultur Wien. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Wien.
- BAUER, H.-G., BERTHOLD P. (1996): Die Brutvögel Mitteleuropas: Bestand und Gefährdung. AULA-Verlag GmbH. Wiesbaden.
- BAUMGARTNER, K. (1989): Beiträge zur Lebensraumnutzung des Alpenschneehuhns (*Lagopus mutus helveticus*) im Nationalpark Berchtesgaden – Testgebiet Jenner. Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien. Unveröffentlichte Arbeit. Wien.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (Hrsg.) (2003): Artenhandbuch der für den Wald relevanten Tier- und Pflanzenarten des Anhangs II FFH-RL und Anhangs I VS-RL in Bayern. Freising.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (STMLU) (HRSG.) (2001): Nationalparkplan. München.
- BEZZEL, E., GEIERSBERGER, I., LOSSOW, G. v. und PFEIFER, R. (2005): Brutvögel in Bayern. Verbreitung 1996 bis 1999. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- BLASCHKE, T. (2004): Habitatmodellierung im Naturschutz: Unterschiedlich komplexe Modelle und deren Zusammenführung. In DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): (2004): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Auflage. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.
- ERBER, J. & LEITNER, H. (2000): Biotopeignung für Raufußhühner im Nationalpark Kalkalpen. Forschungsinstitut für Wildtierkunde und Ökologie. Veterinärmedizinische Universität Wien. Unveröffentlichter Projektbericht. Wien.
- GALLAUN, H., SACKL, P., PRASCHK, C., WACK, R., SCHARDT, M. UND TURK, R. (2005): IPAM-Toolbox. Großflächige Inventur eines Alpenen Natura 2000 Gebietes mittels Fernerkundung in den Niederen Tauern. Klagenfurt.
- HÖHN, E.O. (1980): Die Schneehühner. Neue Brehm-Bücherei, 408, A. Ziemsen Verlag. Wittenberg Lutherstadt.

- INGOLD, P. (2005): Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Bern.
- KONNERT, V. (2004): Standortkarte Nationalpark Berchtesgaden. Forschungsbericht 49. Nationalpark Berchtesgaden.
- LANG, S. & BLASCHKE, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LAUSCH A. (2004): Raum, Zeit, Struktur und Skala in Habitatmodellen – Eine Einführung. In DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- LIEBIG, W. & MUMMENTHEY, R.-D. (2005): ArcGIS-ArcView 9. Band 2: ArcGIS-Analysen. Points Verlag Norden. Halmstad.
- LOTZ, A. (Hrsg.) (2006): Alpine Habitat Diversity – Habitalp – Projekt Report 2002-2006. EU Community Initiative Interreg IIIB Alpine Space Programme. Nationalpark Berchtesgaden.
- MÜLLER-UHSING, D. (1958): Einige Beobachtungen und Fragestellungen beim Alpenschneehuhn. 3. Sonderdruck aus Ornithologische Mitteilungen.
- NETZWERK ALPINER SCHUTZGEBIETE (HRSG.) (2004): Grenzübergreifender ökologischer Verbund. Alpensignale 3. Ständiges Sekretariat der Alpenkonvention. Innsbruck.
- REISIGL, H. & KELLER, R. (1999): Lebensraum Bergwald. Alpenpflanzen in Bergwald, Baumgrenze und Zwergstrauchheide. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- PEER, T., LIPPERT, W., WUNDER, H., SEINDENSHWARZ, J. (2003): Die Pflanzenwelt des Nationalparks Berchtesgaden. Berchtesgadener Anzeiger. Berchtesgaden.
- OTT, T. & SWIACZNY, F. (2001): Time integrative Geographic Information Systems. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. Heidelberg.
- PEQUET, D. J. (2002): Representations of Space and Time. The Guilford Press. New York.
- PLACHTER, H., BERNOTAT, D., MÜSSNER, R. & RIECKEN, U. (2002): Entwicklung und Festlegung von Methodenstandards im Naturschutz. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 70, Landwirtschaftsverlag. Bonn - Bad Godesberg.
- REMMERT, H. (1978): Ökologie. Ein Lehrbuch. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. Heidelberg.

- RUDNER, M., SCHADEK, U. & DAMKEN, C. (2004): Habitatmodelle und ihre mögliche Integration in die Planungspraxis – ein Diskussionsbeitrag. In DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- SCHAUMBERGER, J., SCHARDT, M., GIGGENBERGER, T., GALLAUN, H., SCHAUMBERGER, A., DEUTZ, A., GREßMANN, G. & GASTEINER, J. (2005): GIS gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraums alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung. Joanneum Research, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum – Greßmann & deutz OEG. Unveröffentlichter Projektbericht.
- SCHERZINGER, W. (2003): Artenschutzprojekt Auerhuhn im Nationalpark Bayerischer Wald von 1985-2000. Wissenschaftliche Reihe – Heft 15. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. Grafenau.
- SCHNEEWEIB, C. & RITSCHEL, B. (1999): Skitouren: Ausrüstung - Technik - Gefahrenkunde. Bruckmann Verlag. München
- SCHRÖDER, B. & REINEKING, B. (2004): Validierung von Habitatmodellen. In DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- SCHRÖDER, B. & REINEKING, B. (2004): Modellierung der Art-Habitat-Beziehung – ein Überblick über die Verfahren der Habitatmodellierung. In DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- STEINER, H. et al, 2002, Auerhuhn, Birkhuhn und Haselhuhn im Nationalpark Kalkalpen, Nationalpark Kalkalpen Ges.mbH.. unveröffentlichter Endbericht. Molln.
- SUCHANT, R. & BRAUNISCH, V. (2004): Raufußhühner und Tourismus in Natura 2000 Gebieten. Leitlinien für eine Integration von Naturschutz und Naturnutzung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Freiburg.
- REINEKING, B. & SCHRÖDER, B. (2004): Variablenselektion. In DORMANN, CF, BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D. (Hrsg.): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- U.S. FISH & WILDLIFE SERVICE (Hrsg) (1981): Ecological Services Manual – Standards for the Development of Habitat Suitability Index Models, 103, U.S. Government Printing Office. Washington D.C.
- VEIT, H. (2002): Die Alpen - Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.

WORBOYS, M. & DUCKHAM, M. (2004): GIS: A computing perspective. Second edition. CRC Press Boca Raton London New York Washington D.C. Boca Raton.

Internetquellen

ALPINE HABITAT DIVERSITY – HABITALP - EU Community Initiative Interreg IIIB Alpine Space Programme

URL: <http://www.habitalp.org/>.

[Stand April 2003]

ARCGIS 9.2 DESKTOP HELP

URL: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>

[Stand 15.03.07]

BFN (HRSG): NATURSPORTINFO

URL:

<http://www.bfn.de/natursport/test/SportinfoPHP/infosanzeigen.php?z=Tierart&code=d48>

[Stand o.A.]

GEOGRAPHIC INFORMATION TRAINING ALLIANCE, Fallstudie potenzielle Habitate SNP

URL:

http://www.geo.unizh.ch/gis/teaching/courses/geo2253/u5_cs_habitat/mod_SNPHabitat/SNPHabitat/data/Alpenschneehuhn.pdf

[Stand 13.05.07]

GEO-INFORMATIK LEXIKON DER UNI ROSTOCK

URL: <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=536>

[Stand 05.01.2007]

GLOWA DANUBE PROJEKT

URL: <http://www.glowa-danube.de/>

[Stand 17.07.06]

IMFELD, S. (2000): Time, Points and Space – Towards a Better Analyses of Wildlife Data in GIS. Diss. An er Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.

URL: <http://www.geo.unizh.ch/%7Eimfeld/diss/>

SCHEURER, T. & PLASSMANN G. (2006): Indicators and efficiency in the management of protected areas.

URL: <http://www.alparc.org/cogne/cogne.php>

[Stand o.A.]

WIKIPEDIA – DIE FREIE ENZYKLOPÄDIE

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Interpolation>

[Stand: 07.07.2007]

DÜPPE, I.: Temporal Constraints databases

http://wwwmath.uni-muenster.de/u/blunck/WS2003/ConstraintDB/Folien/CDB_Vortrag6.pdf

ANHANG: Artensteckbrief Alpenschneehuhn

Lagopus mutus Lagopus mutus helveticus	Schneehuhn Alpenschneehuhn
Systematik :	
Ordnung:	Galliformes (Hühnervögel)
Familie:	Tetraonidae (Raufußhühner)
Schutzstatus / Einstufung der Gefährdung:	
Status Natura 2000	Anhang I-Art im Sinne der Vogelschutz-Richtlinie
Rote Liste Deutschland:	R – Art mit geographischer Restriktion
Rote Liste Bayern:	2 – Stark gefährdet
Bundesartenschutzverordnung:	besonders geschützt (gemäß § 10 Abs.2 Nr.10 und 11 BNatSchG)
Sonstiges:	Art unterliegt dem Jagdrecht; seit 1973 sind alle Arten der Raufußhühner in Bayern von der Jagd ganzjährig verschont (SCHERZINGER 2003); Verantwortungsgruppe B in der Brutvogelfauna Bayerns (= gefährdete Arten mit hohem %-Anteil entweder am nationalen oder europäischen Bestand)
Allgemeine Angaben:	
Morphologie:	<p>„Das Alpenschneehuhn ist etwas größer als Rebhuhn und Haselhuhn (ca. 36 cm). Die Hähne werden mit 375 bis 610 g etwas schwerer als die Weibchen mit 345 bis 470 g“. In Europa färben sich die Tiere regelmäßig im Herbst und im Frühjahr durch Gefiedermauser um“ (BfN). Ganzjährig weiß sind die Flügel, der Bauch und die dicht befiederten Läufe. Im Winterkleid sind beide Geschlechter schneeweiß bis auf schwarze Stoßfedern, die nur im Flug sichtbar werden. Im Brutkleid ist der Hahn auf der Oberseite schwarzbraun marmoriert, die Henne gelbbraun. Der Hahn besitzt schwarze „Zügelstreifen“ vom Schnabel bis hinter die Augen. Vor allem zur Balz treten kräftige rote Hautlappen über dem Auge hervor („rote Rosen“), die unter den Scheitelfedern verborgen werden können (BfN).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Fotos: Archiv der Nationalparkverwaltung</p>

Wissensstand zur Art:	Die schwierige Beobachtungssituation des Lebensraums der Art lässt keine genaue Bezifferung des Bestandes in Bayern zu (LWF 2003). „Das Areal ist (in Bayern) gut dokumentiert, die Vorkommen im einzelnen sind jedoch sicher nicht näherungsweise vollständig erfasst. Zuverlässigere Bestandsaufnahmen sowie Monitoringprogramme fehlen bislang. Auswirkungen des zunehmenden Störungsdruckes sind noch unzureichend untersucht“ (BEZZEL et al. 2005). Es besteht nach wie vor ein erheblicher Bedarf an Bestandsaufnahmen des Alpenschneehuhns im Betrachtungsgebiet (BAUER & BERTHOLD 1996).
Angaben zur Verbreitung:	
Natürliche Verbreitung:	Das Schneehuhn kommt zirkumpolar in verschiedenen Unterarten in alpinen und arktischen Tundren vor (LWF 2005). Sein Verbreitungsareal reicht von IS über den äußersten Norden Eurasiens bis Nord-Amerika; in Sibirien nach Süden bis zum zentralasiatischen Hochgebirge. Ferner isoliert in den Hochgebirgen der Alpen und Pyrenäen sowie Zentraljapans“ (BAUER & BERTHOLD 1996). Das Schneehuhn hat von allen Raufußhuhnarten das ausgedehnteste Verbreitungsgebiet hinsichtlich der geographischen Breite“ (SUCHANT & BRAUNISCH 2004). Die in den Alpen vorkommende Unterart <i>helveticus</i> ist endemisch für die Alpen. Die Verantwortung Deutschlands für ihren Erhalt wird daher (im Gegensatz zu der gegenüber den anderen Raufußhuhnarten) als hoch eingeschätzt (LWF 2005).
Aktuelle Verbreitung und Bestand:	Die Art ist noch immer im größten Teil ihres angestammten Verbreitungsgebietes zu finden (SUCHANT & BRAUNISCH 2004). Die bayerischen Brutvorkommen sind die einzigen in Deutschland. Aktuelle Untersuchungen zur Siedlungsdichte fehlen für die Bayerischen Alpen. Schätzwerte für Teilflächen der Berchtesgadener Alpen, der Tannheimer Alpen und für Teilflächen des Allgäu liegen bei 0,7 bis 2,5 Brutpaare pro km ² und damit deutlich unter den Vergleichsdaten in Optimallebensräumen der Zentralalpen (BEZZEL et al. 2005).
Verbreitungsschwerpunkte (in Bayern):	Oberallgäu, Wetterstein- und Karwendelgebirge sowie die östlichen Chiemgauer und die Berchtesgadener Alpen (BEZZEL et al. 2005).
Höhenverbreitung:	Das Alpenschneehuhn besiedelt Regionen oberhalb der Waldgrenze (BfN). Während des Jahresverlaufs deutliche Vertikalwanderung (BAUER & BERTHOLD 1996). Die Höhenverbreitung in Bayern reicht von etwa 1700 bis 2300m ü. NN (BEZZEL et al. 2005). In Bayern besiedelt es die Kalkalpine Zone von 1600-1700m (im Winter zum Teil bis herab auf 1300m NN) bis etwa 2500m NN und höher, d.h. überwiegend die (sub)alpine bis nivale Stufe, weitgehend oberhalb der Baumgrenze (LWF 2005). Für die Nordalpen und Voralpen geht die Einschätzung von 1700m bis 2900m aus. „Bei sehr starken Schneefällen weicht es bis in die Grünerlenzone unterhalb der Baumgrenze aus“ (BfN). Für die Südalpen wird von einer Mindesthöhe von 2100m ausgegangen. Gesamtalpin existiert das Schneehuhn noch in 3600 müNN, brütet aber nur bis 2400m ü. NN (BfN). In der Nivalstufe und in den Tieflagen der Alpen wurden Vorkommen nur außerhalb der Brutzeit angegeben (BAUER &

	BERTHOLD 1996). „Unter 1700 – 1800 m ü. NN scheint in den bayerischen Alpen das Schneehuhn kaum mehr ständig zu verweilen“ (MÜLLER-USING 1958).
Angaben zur Biologie:	
Fortpflanzungsbiologie:	„In der Balz- und Brutzeit ist das Schneehuhn einzalgängerisch bzw. monogam in Saisonehe. Die Tiere werden mit 2 Jahren geschlechtsreif. Die Balzzeit ist von Mitte April bis Ende Juni. 6-9 Eier werden in einer Nestmulde etwa drei Wochen lang (21-22 Tage) bebrütet. Die Küken sind Nestflüchter. Nach einigeigen Tagen schließen sich oft mehrere Familien zu Gruppen von 20 – 50 Tieren zusammen, die sich im Winter in kleinere Trupps teilen“ (LWF 2005).
Nahrungsbiologie:	Die Nahrungswahl ist ganzjährig sehr selektiv (Beeren, Triebe, Blätter und Knospen bestimmter Pflanzen), saisonal unterschiedlich (BfN) und macht eine abwechslungsreiche Pflanzendecke erforderlich (BAUER & BERTHOLD 1996). Die Nahrung ist überwiegend vegetarisch. Die Kükennahrung besteht aus Insekten und Spinnen. Im Winter sind die Tiere auf rasch umsetzbare Energie (Zucker, Proteine) angewiesen (z.B. Preiselbeere, Loiseleuria procumbens). Im Winter bilden Knospen von Zwergsträuchern wie Heidel-, Preisel- und Krähenbeere, von Bärentraube, Alpenrose, Gamsheide sowie von Weiden und Grünerlen die Nahrungsgrundlage. Im Herbst werden v.a. Beeren als Nahrung aufgenommen(BfN).
Angaben zur Ökologie:	
Lebensräume	<p>Habitat des Alpenschneehuhns ist laut Erhaltungszielen für die Anhangarten der Vogelschutz-Richtlinie die Felsregion der alpinen und subnivalen Stufe (LWF 2005). „Mit Steinen übersäte Berghänge, Felsblöcke und Mulden mit oft langer Schneebedeckung und reicher Zwergstrauchvegetation werden bevorzugt. Entsteht ein Mosaik aus windgeschützten Stellen, exponierten Aussichtspunkten, sonnigen, schattigen, trockenen und feuchten Flächen, dann fühlt sich das Schneehuhn am wohlsten. Bei sehr starken Schneefällen weicht es bis in die Grünerlenzone unterhalb der Baumgrenze aus oder gräbt unter dem Schnee nach Nahrung. Spezielle Plätze für die Balz sind nicht bekannt. Die Henne führt die Jungtiere nach dem Schlüpfen in höhere Lagen, im Winter werden tiefere Lagen, schneefreie Grate oder Südhänge bevorzugt“ (BfN).</p> <p>Zur Brutzeit bevorzugt das Alpenschneehuhn laut BEZZEL et al. mehr oder weniger steinige Rasen vom Oberrand des Krummholzgürtels bis an die bei etwa 2350m ü. NN beginnenden vegetationsarmen Kalkschuttfelder. Als Optimalbiotop sind dort Karrenfelder mit ihrem deckungsreichen Mosaik aus Schneetälchen, Graten, Kuppen und Hängen anzusehen mit offensichtlich höchsten dichten. In den Bayerischen Alpen sind größere Karrenfelder allerdings selten und nur im Oberallgäu (Ifenplateau) und in den Berchtesgadener Alpen (Steinernes Meer) zu finden (BEZZEL et al. 2005). Im Artenhandbuch der LWF wird das Brutbiotop folgendermaßen beschrieben:</p>

	<p>das Brutbiotop dieses Standvogels beginnt im oberen, bereits lichten und durch Mattenflächen unterbrochenen Krummholzgürtel aus Latschen und Krüppelfichten (ab ca. 1700m, seltener 1600m). Während der Brutzeit lebt es vorwiegend darüber in der nivalen Polsterrassenstufe, wo es mehr oder weniger steinige Matten mit reichlich Polsterrassenbewuchs ebenso bevorzugt wie öde zerrissene, aber zumindest spärlich mit einzelnen Legföhren, Zwergsträuchern und kleinen Grasflächen bewachsenen Karrenfelder. (LWF 2005)</p> <p>Im Hochsommer und Herbst bevorzugt das Alpenschneehuhn felsreiche Bereiche (LWF 2005). „Bevorzugt werden zur Ernährung alpine Grasfluren und Zwergstrauchheiden in reich strukturiertem Gelände für Wind- und Sichtschutz (im Sommer meist Schattenlage)“ (BAUER & BERTHOLD 1996).</p> <p>Im Winter weicht das Huhn, das Im Sommerhalbjahr tendenziell aufsteigt, wieder in den tiefer gelegenen Krummholzgürtel der subalpinen Höhenstufe zurück (LWF, 2005). „Das Alpenschneehuhn sucht Überwinterungsgebiete auf, die den Zugang zur Bodenflora erlauben, wie z.B. verblasene Bergkämme und Hänge. Einige Populationen verbringen den Winter unmittelbar an oder in der Nähe des Brutgebiets; andere überwintern an oder über der Baumgrenze oder in Waldrandhabitaten“ (SUCHANT & BRAUNISCH 2004). Im Winter gern auf schneefreien Graten und Rippen (sog. Windecken) und an Südhängen. Tritt auch im Winter nur selten unterhalb der Baumgrenze auf (BAUER & BERTHOLD 1996). Übernachtet in Schneehöhlen; sucht zur Schneeschmelze die letzten Schneereste auf, um zum Zwecke des sparsamen Haushaltens mit der knappen Energie die isolierende Wirkung es Schnees optimal zu nutzen (LWF 2005).</p> <p>Die Balz zieht sich von Mitte April bis Ende Juni hin (BfN). Hierüber existieren jedoch recht unterschiedliche Angaben von Mitte März bis Ende Juni. Spezielle Plätze für die Balz sind nicht bekannt (BfN).</p>
Minimumareal / Population:	25,8 bis 34 km ² ; 5-6,6 BP pro km ² (PAN Partnerschaft 2003)
MVP (minimum viable population):	SCHERZINGER (2003) nennet als allgemeine Mindestgröße einer überlebensfähigen Teilpopulation einer beliebigen Tierart 500 Individuen, sonst gibt es keine genauen Angaben.
Mobilität / Aktionsraum:	1,5 km ² / BP im Sommer; 2,5 km ² / BP im Winter (PAN Partnerschaft 2003)
Angaben zur Kartierungs - und Monitoringmethodik:	
Erhebungsmethodik:	Zählung der Gruppen im Sommer und Herbst. Systematische Kartierung von direkten und indirekten Nachweisen (Kot, Federn etc.) (LWF 2005).

Angaben zur Gefährdung:	
Gefährdungsursachen:	<ul style="list-style-type: none"> • Das Alpenschneehuhn ist anfällig für die Überjagung, insbesondere wenn es im Frühjahr bejagt wird. Ein Aussterben durch Überjagung stellt jedoch nur eine auf wenige Gebiete begrenzte Bedrohung dar (SUCHANT & BRAUNISCH 2004) – in Bayern ganzjährige Schonzeit nach Bundesjagdrecht • Verlust und Verschlechterung von Lebensräumen aufgrund touristischer Erschließung (SUCHANT & BRAUNISCH 2004); • regional starke Beeinträchtigung durch Massentourismus; damit verbunden • Lebensraumzerschneidungen (BEZZEL et al. 2005) • Vertreibung aus Brutgebieten durch Massentourismus im Sommer (BAUER & BERTHOLD 1996) • Beeinträchtigung durch zunehmende winterliche Nutzung alpiner Lebensräume durch von Varianten- und Tourenskifahrern und zunehmend auch durch Schneeschuhwanderer. • Der Wintertourismus im Spätwinter und zur Balzzeit ab Mitte März bis Ende Mai stört die Balz und wirkt sich damit auch auf den Bruterfolg negativ aus. (BEZZEL et al. 2005); • Zudem Gefährdung durch hohe Energieverluste während des Winterhalbjahres durch Tourismus und Wintersport (Tourengehen u.ä.), besonders abseits ausgewiesener Pisten (LWF 2005, BAUER & BERTHOLD 1996) • Kollision mit Stromleitungen und Seilen (z: B. Liftseile im Bereich von Skipisten) (SUCHANT & BRAUNISCH 2004) • Klimatische Ursachen wie extreme Winter und verspätete Schneeschmelze sowie ungünstige Witterung während der Aufzuchtperiode (BAUER & BERTHOLD 1996) • Eine Folge schneearmer, nasskalter Winter lassen die Tiere anfälliger werden (BfN) • In Frankreich und Norditalien: Intensivierung der Wald- und Weidewirtschaft (BAUER & BERTHOLD 1996) • Einwirkung von Prädatoren im Zusammenhang mit dem Tourismus (BEZZEL et al. 2005) • Die durch die Tollwutimmunsierung stark angestiegene Fuchspopulation erzeugt einen deutlich zunehmenden ganzjährigen Feinddruck (BfN) • erhebliche Störung durch Überflüge mit Fluggeräten (BfN)
Angaben zu Schutz und Management:	
Schutz – und Entwicklungsziele:	<p>„Schneehuhnbiotope (Raufußhuhnhabitats allgemein) müssen auch im Winter von Skibetrieb gleich welcher Art freigehalten werden, da gerade diese Winterräume sehr sensibel sind“ (BfN).</p> <p>„Zuverlässigere Bestandsaufnahmen und möglichst genaue Ermittlung der Vorkommen sind eine wichtige Voraussetzung für den Schutz. Tiefer gehende störungsökologische Untersuchungen sowie eine Beschränkung und stärkere Kanalisierung des Massentourismus in der Alpinstufe sind notwendig.“ (BEZZEL et al. 2005)</p>

Schutz – und Entwicklungsziele:	„Vermeidung von Beeinträchtigungen durch Tourismus und Wintersport durch Besucherlenkung und Aufklärung“ (LWF 2005). „Beschränkung es Massentourismus im Sommer und Winter (BAUER & BERTHOLD 1996). Bei Unterhalt- und Instandsetzungsmaßnahmen von Wanderwegen in Alpenschneehuhnhabitaten sollte unbedingt auf die Art Rücksicht genommen werden. (LWF 2005).
Erhaltungsziele nach Natura 2000	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherung der Biotopvielfalt in den Hochlagen • Erhaltung ausreichend großer, zusammenhängender • ungestörter Habitate im Jahresverlauf • Sicherung der Nahrungshabitate und Rückzugsgebiete im Winterhalbjahr, insbesondere besonnte • Südhänge zur Nahrungssuche und geschützte • Tiefschneelagen (LWF 2005)
Management - und Pflegemaßnahmen:	<ul style="list-style-type: none"> • ganzjähriges Wegegebot auf vorgeschriebenen Wanderwegen • Anleinplicht für Hunde • keine weitere Erschließung • keine zusätzlichen Startstellen für Gleitschirmflieger und Hängegleiter • keine Ausweitung des Wanderwegenetzes oberhalb der Waldgrenze (LWF 2005)
Sonstige Angaben und Hinweise:	
Tageszeitliches Verhalten	„Das Alpenschneehuhn ist tagaktiv und ein schneller ausdauernder Flieger; ruht oft auch über Tag in der Schneehöhle“ (BfN). Die morgendliche Rufaktivität des Alpenschneehuhns während der Hauptbalzzeit beginnt mit den ersten Anzeichen der Dämmerung (frühestens 100 Minuten vor Sonnenaufgang) erreicht rasch ihre Hauptphase und hat den Höhepunkt meistens vor Sonnenaufgang noch überschritten. Die Abendbalz erreicht in der Regel nicht die Intensität der Morgenbalz. Sie beginnt kurz nach Sonnenuntergang bis zu 55 Minuten danach und liegt schwerpunktmäßig meist in der zweiten Hälfte der Dämmerung. Die Herbstbalz dient der Klärung der Rangordnung. (BAUMGARTNER 1989)
Literatur:	<p>BAUER, H.-G., BERTHOLD P. (1996): Die Brutvögel Mitteleuropas: Bestand und Gefährdung. AULA-Verlag GmbH. Wiesbaden.</p> <p>BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (Hrsg.) (2003): Artenhandbuch der für den Wald relevanten Tier- und Pflanzenarten des Anhangs II FFH-RL und Anhangs I VS-RL in Bayern. Freising.</p> <p>BEZZEL, E., GEIERSBERGER, I., LOSSOW, G. v. und PFEIFER, R. (2005): Brutvögel in Bayern. Verbreitung 1996 bis 1999. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.</p> <p>BfN (Hrsg): NaturSportInfo URL: http://www.bfn.de/natursport/test/SportinfoPHP/infosanzeigen.php?z=Tierart&code=d48, Letzter Zugriff 27. Juli 2007</p> <p>MÜLLER-UHSING, D. (1958): Einige Beobachtungen und Fragestellungen beim Alpenschneehuhn. 3. Sonderdruck aus Ornithologische Mitteilungen.</p>

Literatur:	<p>PAN-PARTNERSCHAFT (2003 a): Übersicht zur Abschätzung von Minimalarealen von Tierpopulationen in Bayern. Stand Dezember 2003. URL:http://www.pan-partnerschaft.de</p> <p>SCHERZINGER, W. (2003): Artenschutzprojekt Auerhuhn im Nationalpark Bayerischer Wald von 1985-2000. Wissenschaftliche Reihe – Heft 15. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. Grafenau.</p> <p>SUCHANT, R. & BRAUNISCH, V. (2004): Raufußhühner und Tourismus in Natura 2000 Gebieten. Leitlinien für eine Integration von Naturschutz und Naturnutzung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Freiburg.</p>
------------	--