

# Der Knochenbrecher kehrt zurück

Charakterisierung und Modellierung von  
Bartgeier-Lebensräumen in den Schweizer Alpen

Diplomarbeit

am Geographischen Institut  
der Universität Zürich

Andrea Ryffel

Betreuung:

Dr. Britta Allgöwer, Geographisches Institut Universität Zürich  
Dr. Jürg Paul Müller, Bündner Naturmuseum/Stiftung Pro Bartgeier  
Dr. Christian Häberling, Institut für Kartografie ETH Zürich

Fakultätsvertretung:

Prof. Dr. Robert Weibel, Geographisches Institut Universität Zürich

April 2008



---

**Kontaktinformationen:**

Andrea Ryffel  
Zürichstr. 57  
8118 Pfaffhausen  
andie\_ryffel@hotmail.com

**Institut:**

Geographisches Institut  
Universität Zürich  
Winterthurerstr. 190  
8057 Zürich



# Zusammenfassung

Der Bartgeier *gypaetus barbatus* ist in Europa, Afrika und Asien heimisch. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde er im Alpenraum ausgerottet. Seit 1987 werden im Rahmen eines internationalen Wiederansiedlungsprojektes in den Alpenländern wieder Bartgeier ausgesetzt. Für die Freilassungen in der Schweiz ist es wichtig zu wissen, wo es im Schweizer Alpenraum heute noch geeignete Lebensräume gibt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Verbreitungspotenzial des Bartgeiers mit einer flächendeckenden rasterbasierten Habitatanalyse untersucht. Die Anforderungen des Bartgeiers an seinen Lebensraum wurden basierend auf Literatur und Expertenwissen charakterisiert und parametrisiert. Nistplätze und Habitate wurden als zwei verschiedene Aspekte betrachtet und getrennt untersucht. Für beide Aspekte wurde eine *Multicriteria Evaluation* durchgeführt. Das Nistplatzpotenzial wurde basierend auf Umwelt-Eignungsfaktoren und anthropogenen Störfaktoren ermittelt. Nahrungspotenzial und Intensität anthropogener Nutzung bildeten die Grundlagen für die Modellierung des Habitatpotenzials. Die Ergebnisse beider Modellierungen wurden in einer Eignungskarte kombiniert visualisiert. Die Validierung erfolgte durch Expertenbefragungen und durch den Vergleich mit aktuellen Beobachtungsdaten und historischen Quellen. Es zeigte sich, dass die getrennte Untersuchung von Nistplatzpotenzial und Habitatpotenzial und die kombinierte Betrachtung der Ergebnisse eine aussagekräftige Analyse der heutigen potenziellen Verbreitung des Bartgeiers in der Schweiz ermöglichen.



# Danksagung

Zum Gelingen dieser Arbeit haben viele Personen entscheidend beigetragen, denen ich an dieser Stelle herzlich für ihre Unterstützung danke. Mein Dank geht an meine Betreuerin Britta Allgöwer, dafür, dass sie mir diese Arbeit ermöglichte. Sie unterstützte mich immer mit vollem Engagement und liess mir grosse Freiheit beim Durchführen und Gestalten meiner Arbeit. Jürg Paul Müller danke ich für die Unterstützung, die er mir als Betreuer seitens der Stiftung Pro Bartgeier zukommen liess, für die wertvollen Experten-Inputs und das grosse Interesse, das er meiner Arbeit entgegengebracht hat. Christian Häberling danke ich für die Betreuung an der ETH. Er hat eine nicht ganz einfache Aufgabe übernommen, die aus kartographischer Perspektive viel Kompromissbereitschaft erforderte und mir über manche graphische Hürde hinweg geholfen.

Ein ganz herzliches Dankeschön geht an David Jenny, der mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand, wenn es um das Wissen über Biologie und Gewohnheiten des Bartgeiers ging. Ohne seine ausführlichen Feedbacks und detaillierten Vorschläge wäre meine Arbeit nicht zu Stande gekommen. Weiterer Dank gebührt neben Jürg Paul Müller und David Jenny auch den Experten Hans-Jörg Blankenhorn, Chasper Buchli, Ruedi Haller, Dani Hegglin, Thomi Pachlatko und Klaus Robin, die sich die Zeit nahmen, an den Befragungen zur Modellbildung bzw. Modellvalidierung teilzunehmen. David Caduff, Ross Purves, Ronald Schmidt und Curdin Derungs danke ich für die Unterstützung bei Problemen mit Java und ArcGIS. Jana Leuschner und meinem Vater danke ich für das Korrekturlesen meiner Arbeit.

Meine „Jurassic Park“-Kommilitonen haben mit mir die täglichen Freuden und Leiden des Studentendaseins geteilt. Die obligaten Pausen und Mittagsstunden mit den pädagogisch wertvollen und wissenschaftlich anregenden Unterhaltungen haben meine Diplomandenzeit entscheidend versüsst und mitgeprägt. Ich danke euch für eine abwechslungsreiche, gelungene Studienzeit, die mir in guter Erinnerung bleiben wird!



# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b>	<b>III</b>
<b>Danksagung</b>	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Hintergrund . . . . .	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Geschichte, Biologie und Verbreitung des Bartgeiers</b>	<b>5</b>
2.1 Geschichte . . . . .	5
2.2 Biologie . . . . .	6
2.2.1 Aussehen . . . . .	6
2.2.2 Lebensraum . . . . .	7
2.2.3 Nahrungsbedarf . . . . .	9
2.2.4 Nistplätze . . . . .	9
2.2.5 Nachwuchs . . . . .	10
2.2.6 Polyandrie . . . . .	11
2.3 Historische und aktuelle Verbreitung in der Schweiz . . . . .	11
<b>3 Grundlagen der Habitatmodellierung</b>	<b>13</b>
3.1 Forschungsstand der Bartgeier-Habitatanalysen . . . . .	13
3.1.1 Studie über die Nistplatzwahl des Bartgeiers in den Pyrenäen . . . . .	14
3.1.2 Homerangeanalyse in der Schweiz . . . . .	14
3.1.3 Habitatanalyse juveniler Bartgeier im Wallis . . . . .	15
3.1.4 Studie über die Nistplatzwahl des Bartgeiers im Kaukasus . . . . .	15
3.1.5 Diskussion des Forschungsstandes . . . . .	16
3.2 Die <i>Multicriteria Evaluation</i> . . . . .	17
3.2.1 GIS zur Umsetzung der <i>Multicriteria Evaluation</i> . . . . .	18
3.2.2 Ablauf der <i>Multicriteria Evaluation</i> . . . . .	18
3.2.3 Der <i>analytic hierarchy process</i> . . . . .	22
3.2.4 Die <i>pairwise comparison method</i> . . . . .	23
3.2.5 Die <i>multiple comparison method</i> . . . . .	25
3.2.6 Diskussion der <i>Multicriteria Evaluation</i> . . . . .	25
<b>4 Daten und Software</b>	<b>27</b>
4.1 Untersuchungsgebiet . . . . .	27
4.2 Aktuelle Datensätze . . . . .	28
4.3 Historisches Kartenmaterial und Textquellen . . . . .	29
4.4 Datenformate und Software . . . . .	29
<b>5 Bartgeier-Experten</b>	<b>31</b>

<b>6</b>	<b>Nistplatzpotenzial</b>	<b>33</b>
6.1	Methodik . . . . .	33
6.1.1	Problemdefinition . . . . .	33
6.1.2	Evaluationskriterien und <i>constraints</i> . . . . .	33
6.1.3	Entscheidungsregeln . . . . .	34
6.1.4	Kriteriengewichtung . . . . .	35
6.1.5	Sensitivitätsanalyse . . . . .	35
6.1.6	Empfehlung . . . . .	36
6.2	Resultate . . . . .	37
6.2.1	Evaluationskriterien und <i>constraints</i> . . . . .	37
6.2.2	Entscheidungsregeln . . . . .	48
6.2.3	Kriteriengewichtung . . . . .	48
6.2.4	Sensitivitätsanalyse . . . . .	50
6.2.5	Empfehlung . . . . .	51
6.3	Validierung . . . . .	55
6.3.1	<i>Event validity</i> . . . . .	56
6.3.2	<i>Face validity</i> . . . . .	62
6.4	Diskussion . . . . .	63
6.4.1	Evaluationskriterien und <i>constraints</i> . . . . .	63
6.4.2	Entscheidungsregeln und Kriteriengewichtung . . . . .	64
6.4.3	Sensitivitätsanalyse . . . . .	65
6.4.4	Empfehlung . . . . .	65
<b>7</b>	<b>Habitatpotenzial</b>	<b>67</b>
7.1	Methodik . . . . .	67
7.2	Resultate . . . . .	68
7.3	Validierung . . . . .	71
7.3.1	<i>Event validity</i> . . . . .	71
7.3.2	<i>Face validity</i> . . . . .	74
7.4	Diskussion . . . . .	75
<b>8</b>	<b>Synthese</b>	<b>77</b>
8.1	Kombination . . . . .	77
8.2	Analyse . . . . .	79
8.3	Validierung . . . . .	81
8.4	Visualisierung . . . . .	82
8.5	Diskussion . . . . .	84
<b>9</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>87</b>
9.1	Erreichtes . . . . .	87
9.2	Erkenntnisse . . . . .	88
9.3	Ausblick . . . . .	90
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>93</b>
	<b>Anhang</b>	<b>95</b>
	<b>A Aktuelle Nistplätze</b>	<b>96</b>

<b>B</b>	<b>Programmcode <i>Maximum Downward Gradient</i></b>	<b>97</b>
<b>C</b>	<b>Programmcode <i>Reliefenergie</i></b>	<b>98</b>
<b>D</b>	<b>Expertenbefragung für die Kriteriengewichtung</b>	<b>100</b>
<b>E</b>	<b>Expertenbefragung für die <i>Face Validity</i></b>	<b>106</b>
<b>F</b>	<b>Inhalt der Daten-CD</b>	<b>109</b>
<b>G</b>	<b>Analysekarte (verkleinert auf Format DIN A3)</b>	<b>110</b>

# Abbildungen

2.1	Verbreitung des Bartgeiers früher und heute . . . . .	6
2.2	Bartgeier Louis am Guardavalfelsen ob Madulain . . . . .	7
2.3	Schematische Darstellung des Bartgeier-Lebensraumes . . . . .	8
2.4	Bartgeier-Nistplatz im Tachin Tal in der Mongolei . . . . .	10
3.1	Vorgehen bei einer <i>Multicriteria Evaluation</i> . . . . .	19
3.2	Schematische Darstellung der <i>analytic hierarchy process</i> -Hierarchie . . . . .	22
4.1	Untersuchungsgebiet . . . . .	27
6.1	Vorgehen bei der Evaluation des Nistplatzpotenzials . . . . .	34
6.2	Schematische Darstellung des Nistplatzmodells . . . . .	48
6.3	Hierarchie und Gewichtung der Nistplatzkriterien . . . . .	49
6.4	Hypsometrische Darstellung der Expertengewichtungen . . . . .	52
6.5	Werteverteilung des Nistplatzpotenzials . . . . .	52
6.6	Kartenausschnitt des Nistplatzpotenzials . . . . .	54
6.7	Hot Spot-Analyse des Nistplatzpotenzials . . . . .	55
6.8	Aktuelle Nistplätze und modelliertes Nistplatzpotenzial . . . . .	57
6.9	Zufallspunkte und modelliertes Nistplatzpotenzial . . . . .	58
6.10	Aktuelle Nistplätze und Hot Spot-Potenzial . . . . .	59
6.11	Historische Bartgeiernistplätze im Kanton Graubünden . . . . .	60
7.1	Vorgehen bei der Evaluation des Habitatpotenzials . . . . .	68
7.2	Kartenausschnitt des Habitatpotenzials . . . . .	71
7.3	Historische Karte der Bartgeierverbreitung im 16. bis 19. Jh. . . . .	73
7.4	Rückzugsstadien des Bartgeiers im 16. bis 19. Jh. . . . .	74
8.1	Nistplatz- und Habitatpotenzial am Mürtschenstock . . . . .	78
8.2	3D-Darstellung des Nistplatz- und Habitatpotenzials am Mürtschenstock . . . . .	78
8.3	Blick auf die Westwand des Mürtschenstocks . . . . .	79
8.4	Aktuelles Verbreitungspotenzial und historische Verbreitung im Nordtessin . . . . .	81
8.5	Ausschnitt der Potenzialkarte . . . . .	84

# Tabellen

3.1	Indexwerte für den paarweisen Vergleich der Evaluationskriterien . . . . .	24
3.2	Beispiel einer Kreuzmatrix mit drei Kriterien . . . . .	24
3.3	Berechnung der Kriteriengewichte . . . . .	24
3.4	Beispiel einer <i>multiple comparison</i> mit 10 Experten . . . . .	25
3.5	Gewichtung nach der <i>multiple comparison method</i> . . . . .	25
6.1	Übersicht des Kolmogorov-Smirnov-Tests . . . . .	36
6.2	Übersicht des Kendall-W-Tests . . . . .	36
6.3	Übersicht des Mann-Whitney-U-Tests . . . . .	36
6.4	Beschreibung des Kriteriums „Felsklippen“ . . . . .	39
6.5	Beschreibung des Kriteriums „Gestein“ . . . . .	40
6.6	Beschreibung des Kriteriums „Höhe“ . . . . .	41
6.7	Beschreibung des Kriteriums „Exposition“ . . . . .	42
6.8	Beschreibung des Kriteriums „Reliefenergie“ . . . . .	43
6.9	Beschreibung des Kriteriums „Tourismus“ . . . . .	44
6.10	Beschreibung des Kriteriums „Anlagen“ . . . . .	45
6.11	Beschreibung des Kriteriums „Lärm“ . . . . .	46
6.12	Beschreibung des Kriteriums „Flugverkehr“ . . . . .	47
6.13	Gewichtung des Nistplatzpotenzials . . . . .	48
6.14	Gewichtung des Eignungspotenzials . . . . .	49
6.15	Gewichtung des Störpotenzials . . . . .	49
6.16	Kriteriengewichtung aller Experten und gemittelte Gewichtung . . . . .	50
6.17	Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung der Kriteriengewichtung . . . . .	50
6.18	Kendall-W-Test auf gleiche Grundgesamtheit . . . . .	50
6.19	Paarweiser Vergleich der Gewichtungen durch den Mann-Whitney-U-Test . . . . .	51
6.20	Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung des Nistplatzpotenzials . . . . .	53
6.21	Klassierung der Eignungswerte des Nistplatzpotenzials . . . . .	53
7.1	Beschreibung der Gruppe „Nahrungsgebiet“ . . . . .	69
7.2	Beschreibung der Gruppe „Übrige Natur- und Kulturgebiete“ . . . . .	70
7.3	Beschreibung der Gruppe „Siedlungsgebiet“ . . . . .	70
7.4	Habitateneignung der gemeldeten Bartgeiersichtungen . . . . .	72
8.1	Habitateneignung der Nistplatzzellen . . . . .	79



# 1 Einleitung

In den vergangenen Jahrhunderten wurden in der Schweiz viele Wildtierarten ausgerottet. Der Steinbock wurde schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts in die Schweiz zurückgebracht, andere Arten mussten sich länger gedulden. 1989 unterstützte der Bündner Bauernverband die Wiederansiedlung des Bartgeiers, „solange er nicht den Anfang einer Wiederansiedlungswelle mit Wolf, Luchs und Bär mache“ (Robin et al. 2003). Inzwischen sind alle diese und weitere Tierarten wieder in der Schweiz anzutreffen. Dies ist teilweise der natürlichen Wanderung, hauptsächlich aber den grossen Anstrengungen von Naturschützern zu verdanken. Verschiedene Wiederansiedlungsprojekte wurden in den letzten Jahren in der Schweiz und im ganzen Alpenraum durchgeführt, einige mit Erfolg, andere mit noch ungewissem Ausgang.

Das Projekt der Bartgeier-Wiederansiedlung wird in der Schweiz von der Stiftung Pro Bartgeier geleitet. Zur Arbeit gehört nicht nur die Aufzucht und Freilassung der Tiere. Auch das Monitoring der Paarbildung und der Populationsentwicklung gehört dazu, ebenso die Öffentlichkeitsarbeit, um die Bevölkerung auf die Rückkehr der Tiere vorzubereiten und breit abgestützte Akzeptanz zu schaffen. Die internationale Zusammenarbeit, die Wahl eines geeigneten Aussetzungsplatzes, intensives Monitoring und die frühzeitige und ausführliche Information der lokalen Bevölkerung trugen zum bisherigen Gelingen des Wiederansiedlungsprojekts bei. Im Winter 2007 brüteten in der Schweiz erstmals wieder Bartgeier.

## 1.1 Motivation und Hintergrund

Aus populationsdynamischer Sicht ist die Zukunft des Bartgeiers im Alpenraum gesichert. Die heutige Population ist sehr jung, aber gross genug, um sich selbst zu erhalten und weiter auszubreiten (R. Arlettaz 2007, mdl. Information). Das Hauptziel des Wiederansiedlungsprojekts ist somit erreicht. Die Aufgabe der Stiftung Pro Bartgeier ist jedoch noch nicht beendet. Die genetische Variabilität der Population ist nicht sehr gross, da die gesamte Zuchtbasis und somit auch alle freigelassenen Tiere auf nur 36 Elterntiere zurückgehen. Bei sehr kleinen Populationen besteht die Gefahr der Inzucht, aber auch der Auszucht (Robin et al. 2003). Mit gezielten Züchtungen und Freilassungen können „Lücken“ im Genmaterial geschlossen und die Genvariabilität der Population vergrössert werden (B. Gautschi 2007, mdl. Information). Deshalb werden in den folgenden Jahren nochmals Jungvögel ausgesetzt. Auch in Zukunft soll im Falle von Problemen mit den Freilandbruten die Möglichkeit von Freilassungen jederzeit gegeben sein.

Der Raum Engadin, wo die bisherigen Freilassungen stattgefunden haben, ist heute schon dicht mit subadulten und adulten Einzeltieren, Paaren und Brutpaaren besiedelt. Diese treten in Konkurrenz zu den frisch ausgesetzten Junggeiern und bedrängen sie in ihrer Entwicklung. So macht es Sinn, alternative Freilassungsstandorte in geeigneten Habitaten zu suchen. Hierzu ist es wichtig zu wissen, wo die Bartgeier früher gesiedelt haben, wo es heute geeignete Lebensräume gibt und wie sich etwaige Veränderungen im Lebensraumpotenzial erklären lassen. Kurz erwähnt sei an dieser Stelle das „Tessiner Beobachtungsloch“. Obwohl man weiss, dass im Tessin früher Bartgeier siedelten (Girtanner 1870; Studer und Fatio 1889; Tschudi 1870; Stemmler 1932), werden dort heute kaum Sichtbeobachtungen gemacht (Robin et al. 1995). Die Gründe dafür sind bis heute nicht genau bekannt.

Eine flächendeckende Analyse der Habitataignung ist mit Hilfe einer GIS-Modellierung möglich. Anstrengungen in dieser Richtung wurden bereits im Rahmen einer Diplomarbeit unternommen (Haller 1996; Haller und Allgöwer 1996; Allgöwer und Haller 1998). Diese Arbeit ist aufgrund der nicht optimalen Datenlage und der gesetzten Schwerpunkte sehr generell gehalten und regt zu weiteren, differenzierteren Untersuchungen an. Verschiedene statistische Habitatanalysen wurden von Donazar et al. (1993) in den Pyrenäen, von Gavashelishvili und McGrady (2006) im Kaukasus und von Hirzel et al. (2004) im Wallis durchgeführt. Mit der vorliegenden Arbeit wird erstmals eine räumlich hochauflösende Analyse des Nistplatz- und Habitatpotenzials für Bartgeier im gesamten Schweizer Alpenraum vorgenommen. Die Arbeit soll den Aufgaben der Stiftung Pro Bartgeier als Unterstützung bei der Öffentlichkeitsarbeit und Entscheidungshilfe in der Diskussion um neue Aussetzungsstandorte dienen.

## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Bartgeier benötigen für ihr Überleben wie alle Tierarten geeignete Lebensräume. Da Bartgeier auf ihren Nahrungstreifflügen sehr weite Strecken zurücklegen, sind ihre Lebensräume entsprechend grossräumig und vielfältig. Viele Faktoren spielen bei der Wahl eines Lebensraumes eine Rolle, nicht alle davon sind exakt erfassbar. Einige jedoch können mathematisch umgesetzt und berechnet werden. Für diese Faktoren bieten Geographische Informationssysteme (GIS) eine ideale Möglichkeit zur grossräumigen Analyse. Im Zentrum der vorliegenden Arbeit stehen zwei Themen, einerseits die Charakterisierung der Anforderungen des Bartgeiers an seinen Lebensraum, andererseits die Analyse dieser Anforderungen mit GIS. Die beiden zentralen Fragen dieser Diplomarbeit lauten:

WO GIBT ES IM SCHWEIZER ALPENRAUM GEEIGNETE NISTPLÄTZE UND HABITATE FÜR BARTGEIER?

WIE LASSEN SICH DIESE MIT EINEM GEOGRAPHISCHEN INFORMATIONSSYSTEM (GIS) MODELLIEREN?

Fünf Arbeitsschritte führen zur Beantwortung der gestellten Fragen:

- Charakterisierung und Parametrisierung der Anforderungen des Bartgeiers an seinen Lebensraum
- Modellierung potenzieller Bartgeiernistplätze
- Modellierung potenzieller Bartgeierhabitate
- Validierung der beiden Modelle durch Expertenbefragung und Vergleich mit historischen und aktuellen Daten
- Kartografisch angemessene Visualisierung der räumlich nicht exakt eingrenzbaeren Daten und Ergebnisse

Trotz der hohen Besiedlungsdichte im Engadin ist die Bartgeierpopulation in der Schweiz und im übrigen Alpenraum zur Zeit insgesamt noch klein, vor allem aber noch sehr jung. Den wenigen bereits bebrüteten Nistplätzen können nicht genügend Informationen für eine statistische Analyse entnommen werden. Die Zielsetzung der Arbeit ist deshalb eine Modellierung des Nistplatzpotenzials ohne statistische Daten, basierend auf Literatur und Expertenwissen. Ebenso wird mit der Modellierung des Habitatpotenzials verfahren. Die bekannten Nistplätze und die gemeldeten Bartgeiersichtungen werden dazu verwendet, die Modelle zu validieren. So werden das vorhandene theoretische Wissen und das reale Verhalten der Tiere miteinander verknüpft, um zu zeigen, welches Verbreitungspotenzial für Bartgeier in den Schweizer Alpen besteht.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit richtet sich sowohl an Geographen als auch an Biologen. Die beiden folgenden Kapitel beinhalten deshalb die Grundlagen beider Fachbereiche, auf welchen diese Arbeit aufbaut. Die Kenntnisse der Biologie und Anforderungen an die Lebensräume der untersuchten Spezies fließen als zentrales Wissen in die Habitatanalyse mit ein. In Kapitel 2 wird eine Einführung in die Biologie des Bartgeiers und seine Geschichte in Europa gegeben. Ebenso wichtig wie biologische Kenntnisse ist das Wissen über den formalen Aufbau eines Modells. In Kapitel 3 werden deshalb neben einem Überblick über den Forschungsstand der Habitatmodellierung die theoretischen Grundlagen der *Multicriteria Evaluation* (MCE) erläutert. Kapitel 4 enthält die Auflistung und Beschreibung der Daten, die in dieser Arbeit

verwendet wurden, Kapitel 5 stellt die Experten vor, deren Wissen zur Entstehung dieser Arbeit und Durchführung der MCE beitrug. Die beiden nachfolgenden Kapitel beinhalten die Methodik, Resultate und Diskussion der durchgeführten Modellierungen: In Kapitel 6 wird die Modellierung des Nistplatzpotenzials vorgestellt, in Kapitel 7 die Modellierung des Habitatpotenzials. Die Synthese beider Modelle und deren Visualisierung wird in Kapitel 8 geschildert und diskutiert. Das modellierte Verbreitungspotenzial wird mit der früheren Verbreitung verglichen. Dazu wird die Region Nordtessin genauer betrachtet. Zudem wird die Umsetzung der kartographischen Visualisierung behandelt. Abschliessend wird in Kapitel 9 ein Fazit gezogen, welches die erreichten Ziele und die gewonnenen Erkenntnisse umfasst. Ausserdem wird ein Ausblick in mögliche zukünftige Forschungsbereiche gegeben.

## 2 Geschichte, Biologie und Verbreitung des Bartgeiers

Um den Bartgeier *gypaetus barbatus* ranken sich viele Geschichten und Legenden. Als heiliger Vogel wurde er im alten Tibet verehrt, als Kinder und Lämmer fressendes Ungeheuer im Europa des 19. Jahrhunderts verfolgt und ausgerottet (Robin et al. 2003). Heute ist der „Knochenbrecher“ (*trencalòs*), wie er auf Katalanisch genannt wird, zu einem Statussymbol der erfolgreichen Wiederansiedlung geworden.

### 2.1 Geschichte

Ob im positiven oder negativen Sinne, gleichgültig liess das grosse, imposante Tier die Menschen nie. Bis ins 19. Jahrhundert war der Bartgeier im gesamten Alpenraum weit verbreitet und als Kadaver- und Abfallverwerter mehr oder weniger geduldet. Von da an sank mit der zunehmend negativen und abergläubischen Einstellung der Bergbevölkerung zur Natur die Akzeptanz dieser Tierart. Gesellschaftliche und ökonomische Veränderungen, aber auch gezielte menschliche Nachstellungen verursachten in kurzer Zeit drastische Bestandesrückgänge (Baumgart 2001). Rücksichtslose Verfolgung des Tieres durch Jäger, Sammler und Forscher und ein sich zusehends verringerndes Nahrungsangebot, bedingt durch die vermehrte Aufgabe der extensiven Weidewirtschaft und drastisch geschrumpfte Wildtierbestände, führten zur Ausrottung des Bartgeiers in den Alpen innerhalb von nur knapp 100 Jahren. Die letzte Bartgeierbrut in der Schweiz wurde 1885 in Vrin im Bündner Oberland registriert, in den französischen und italienischen Alpen brütete der Bartgeier noch bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts (Robin et al. 2003).

Schon in den 1920er Jahren unternahmen Einzelpersonen Anstrengungen, den Bartgeier wieder anzusiedeln. Sie stiessen jedoch in der Bevölkerung wie auch in Naturschutzkreisen auf grosse Skepsis und Widerstand. Ihren Projekten war kein Erfolg beschieden. 1978 wurde aus zwei unabhängigen Wiederansiedlungsprojekten ein neues, internationales Projekt gegründet, mit dem Ziel, den Bartgeier im gesamten Alpenraum wieder heimisch zu machen (Robin et al. 2003). Sieben Freilassungsplätze wurden gewählt, die sich auf Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und die Schweiz verteilen. Abb. 2.1 zeigt die vier Regionen, in denen sich die Kunsthorste befinden. Im Rahmen des Wiederansiedlungsprojekts wurden in den Alpen von 1986 bis August 2007 150 Junggeier ausgesetzt, davon 26 im Schweizer Nationalpark. Seit 1997 brüten in den Alpen wieder Bartgeier. Bisher sind 43 Vögel in Freiheit geschlüpft, 2007 das erste Mal seit 122 Jahren wieder in der Schweiz (zwei Bruten

in Graubünden, eine im Wallis). Von den insgesamt 193 Vögeln sind heute schätzungsweise 150 am Leben. Sind die natürlichen Brutnen weiterhin erfolgreich, kann die Population sich selbst erhalten und weiter ausbreiten.

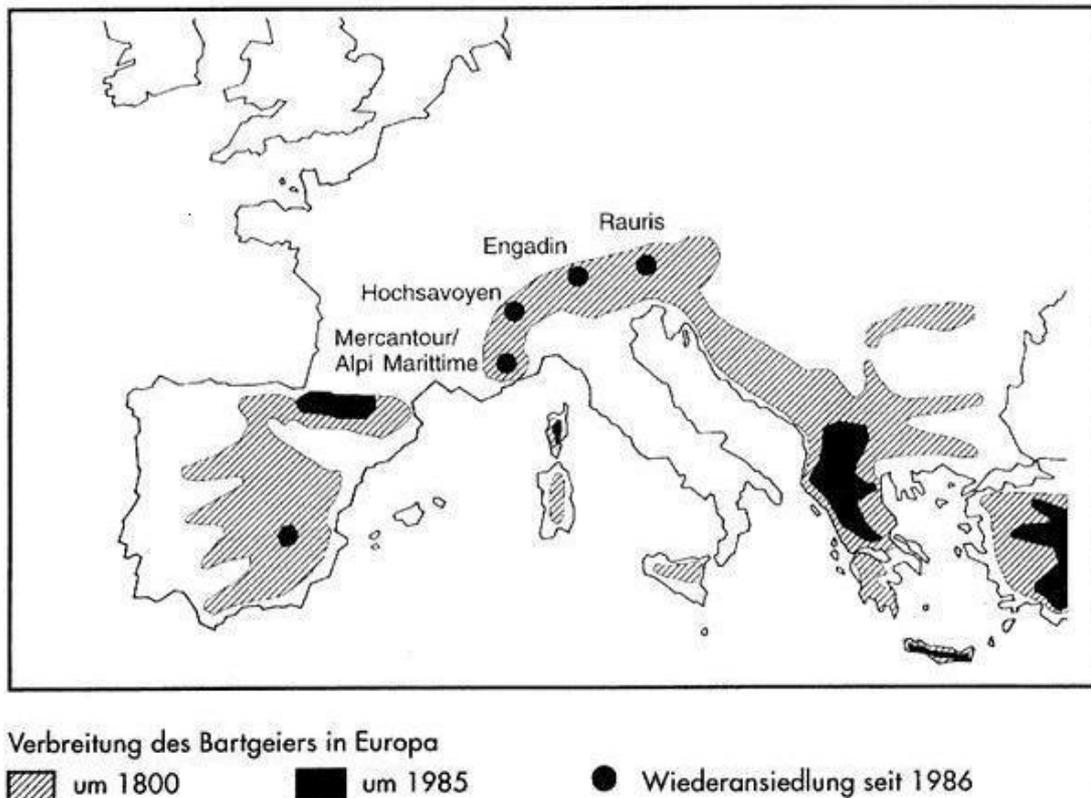


Abbildung 2.1: Verbreitung des Bartgeiers früher und heute (Quelle: [www.bartgeier.ch](http://www.bartgeier.ch))

## 2.2 Biologie

### 2.2.1 Aussehen

Der Bartgeier *Gypaetus barbatus* gehört zur Ordnung der Greifvögel. Er zählt mit einer Flügelspannweite von bis zu 2.9 m und einem Gewicht von 5 kg bis 7 kg zu den grössten Vögeln der alten Welt. Bartgeier sind langlebige Vögel, erst mit 5 bis 8 Jahren erreichen sie die Geschlechtsreife. Das höchste bekannte Alter ist 45 Jahre, allerdings wurde dieses Alter in Gefangenschaft erreicht (Fasce et al. 2006). Flügel, Rücken und Schwanz des Bartgeiers sind silbergrau gefärbt, der Rücken weist ausserdem helle Verzierungen auf. Kopf, Hals, Bauch und Beine sind mit hellen bis rostbraunen Federn bedeckt. Diese Färbung ist jedoch nicht natürlich. Sie entsteht durch ein angeborenes Verhalten, das Baden in rotem, eisenhaltigem Schlamm, welches alle Bartgeier mehr oder weniger intensiv betreiben. Der Zweck dieser Färbung ist nicht ganz klar, visuelle Signalwirkung und Schutz vor Parasiten

sind mögliche Gründe (Robin et al. 2003). Weitere auffällige Merkmale des Bartgeiers sind die markante, schwarz-weiße Gesichtszeichnung und der Skleralring, ein roter Ring, der rund um das Auge verläuft. Männliche wie weibliche Vögel tragen einen Bart aus borstenartigen Federn am Ober- und Unterschnabel, die seitlich des Schnabels herabhängen. Die Form und das Aussehen des Bartgeiers, insbesondere der Kopf, erinnern eher an einen Adler denn an einen Geier. Diesem Umstand verdankt der Vogel seine vielfältigen früheren Namen wie „Geieradler“, „Goldadler“ oder „Bartfalk“ (Robin et al. 2003). Abb. 2.2 zeigt den im Jahr 2000 im Nationalpark ausgesetzten Bartgeier Louis. Schön zu sehen sind die rot eingefärbten Brustfedern und der schwarze Bart.

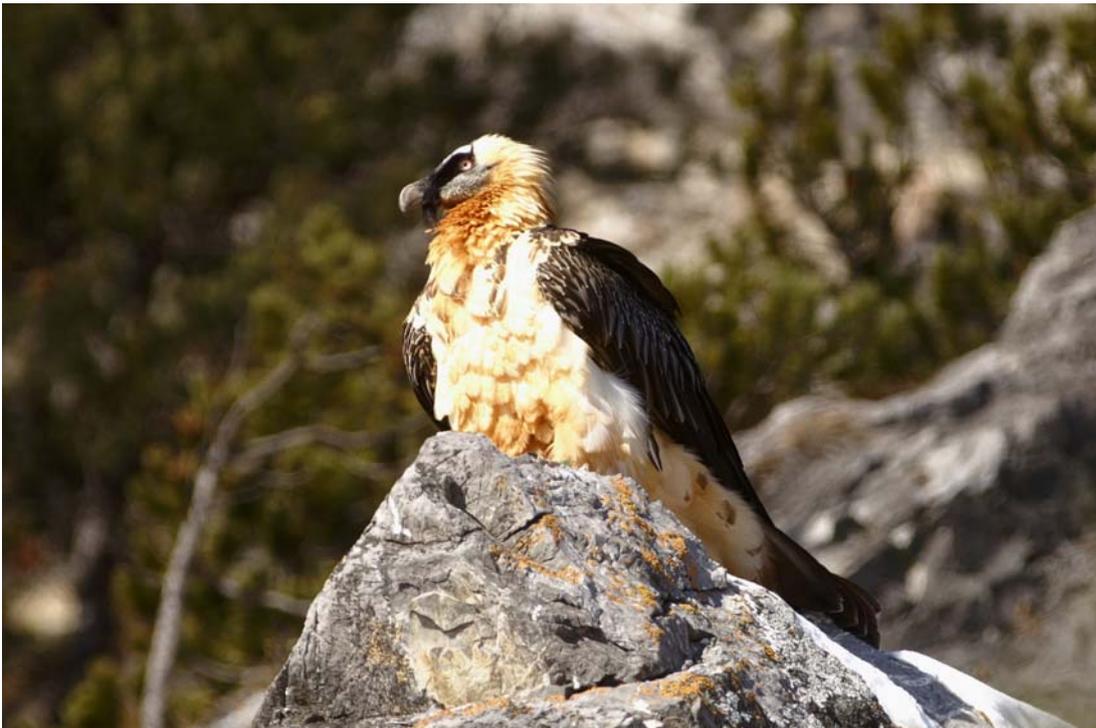


Abbildung 2.2: Bartgeier Louis, fotografiert am 16.12.2007 am Guardavalfelsen ob Madulain (Bild: David Jenny)

### 2.2.2 Lebensraum

Bartgeier sind in den Gebirgen und Wüsten von Europa, Asien und Afrika zwischen 300 m (Kreta, Äthiopien) und 7800 m ü. M. (Himalaja-Gebirge) anzutreffen. Vor allem die Jungvögel sind sehr mobil. Auf ihren Flügeln von einem Gebirgsmassiv zum nächsten überqueren sie weite Landstriche und auch das offene Meer (Robin et al. 2003). Robin et al. (2003) beschreiben den Lebensraum des Bartgeiers wie folgt: „Bartgeier leben vorwiegend in gebirgigem Gelände der montanen und alpinen Stufe mit steilen Felswänden, tiefen Schluchten, Schutthalden und Weiden. Die Vegetation der vom Bartgeier bewohnten Lebensräume ist

sehr variabel. Der bevorzugte Lebensraum zeigt günstige Aufwindverhältnisse, bietet ausreichend Nahrung, geeignete Knochenschmieden, Frischwasser, Rotbadestellen. Er enthält schroffe Felswände mit Zonen der Ruhe und Ungestörtheit für die Brut und die Aufzucht der Jungen. Da Bartgeier ihre Nahrung im Flug suchen, ist es erforderlich, dass sie über genügend grossen Flächen auf den Boden sehen können (Robin et al. 2003, S. 41).“

In Robin et al. (2003) wird ein Modell von Hiraldo et al. (1979) vorgestellt, die den Lebensraum des Bartgeiers in den Pyrenäen in vier Zonen einteilen:

- den Horstbereich (Nistplatz, *territory*),
- das sehr häufig beflogene Aktivitätszentrum (Kerngebiet, *core area*),
- das regelmässig genutzte Heimgebiet (Habitat/Lebensraum, *home range*) und
- den im Jahresverlauf beflogenen Gesamtlebensraum (*total range*).

Abb. 2.3 zeigt eine schematische Darstellung des Lebensraumes. Nur der Horstbereich wird vom Paar sehr heftig verteidigt. Im Aktivitätszentrum werden Eindringlinge attackiert, jedoch weniger intensiv. Der Gesamtlebensraum eines Bartgeierpaares umfasst zwischen 300 km<sup>2</sup> und 500 km<sup>2</sup>. Dieser Bereich wird zur Nahrungssuche genutzt und kaum aggressiv verteidigt (Robin et al. 2003).

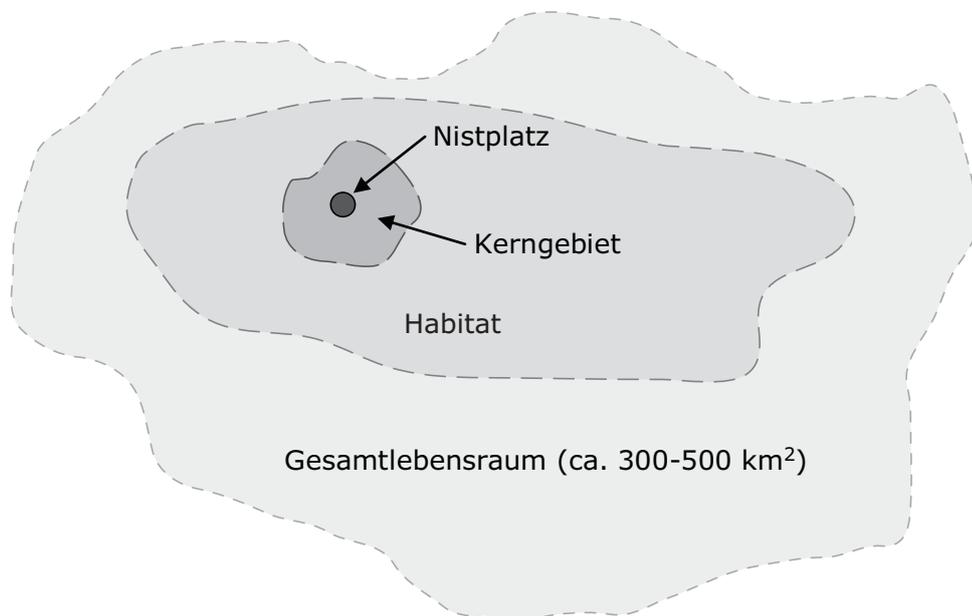


Abbildung 2.3: Schematische Darstellung des Bartgeier-Lebensraumes nach Robin et al. (2003)

### 2.2.3 Nahrungsbedarf

Geier, auch Bartgeier, sind Aasfresser. Bartgeier haben jedoch innerhalb dieser Nahrungsnische eine weitere Nische gefunden, in der kaum Konkurrenz besteht. Während Bartgeierküken zu Beginn ihres Lebens noch hauptsächlich Muskelfleisch benötigen, besteht die Nahrung ausgewachsener Bartgeier zu 70% bis 90% aus Knochen, die dem Muskelfleisch bezüglich Energiegehalt sogar überlegen sind. Röhrenknochen von bis zu 25 cm Länge bei einem Durchmesser von 5 cm kann ein Bartgeier ganz hinunterschlingen. Um grössere Knochen zu zerkleinern, ergreift er diese mit den Füßen, fliegt zu einer relativ flachen Felsplatte oder Geröllhalde und lässt sie aus 50 m bis 80 m fallen oder schleudert sie aus dem Sturzflug heraus los, um dem Aufprall noch mehr Wucht zu verleihen (Strebel und Heinzer 1993; Robin et al. 2003). Da geeignete Stellen nicht häufig vorkommen, sucht der Bartgeier immer wieder dieselben zwei, drei Orte auf. Diese so genannten „Knochenschmieden“ lassen sich an vielen kleinen herumliegenden Knochensplintern erkennen (Robin et al. 2003). Der tägliche Futterbedarf eines Einzeltieres wird auf 400 g bis 500 g geschätzt, ein Paar mit Jungtier benötigt pro Tag etwa 1500 g Nahrung (Margalida et al. 1997 in Robin et al. 2003). Rechnet man mit einem Skelettanteil von etwa 17% des Körpergewichts bei mittelgrossen Huftieren, müssen für die Ernährung eines Paares mit Jungtier jährlich 50 bis 70 mittelgrosse Kadaver von insgesamt 1200 kg bis 1500 kg Lebendgewicht anfallen (Robin et al. 2003). Durch die überaus trockene Nahrung erhöht sich der Wasserbedarf des Bartgeiers. Das Vorhandensein von Quellen und Bächen im *home range* ist deshalb von zentraler Bedeutung (Robin et al. 2003).

### 2.2.4 Nistplätze

Bartgeier sind bei der Partnersuche sehr anspruchsvoll. Finden sich aber zwei Partner, die sich gut verstehen, sind jahrelange Beziehungen mit etablierten Territorien und vielen Generationen von Jungvögeln möglich. Die Wahl des Horststandortes fällt auf hohe, meist nur aus der Luft erreichbare Felswände mit Grotten, Halbhöhlen, Felsnischen oder gegen oben abgedeckten breiten Felsbändern, die ausreichend Schutz vor Witterung und Räubern bieten. Der Horst besteht aus Ästen und Zweigen, überdeckt mit vertrockneten Nahrungsresten und Polstermaterialien wie Gras oder Schafwolle. Die Innenmulde besitzt einen Durchmesser von 60 cm bis 100 cm. Ein Bartgeierpaar nutzt abwechslungsweise zwei bis fünf, selten bis zu neun Horste. Gründe für den Horstwechsel sind durch den Menschen verursachte Störungen, das Auftreten von Parasiten, aber auch Interaktionen mit anderen Vogelarten. Bartgeier, Gänsegeier, Steinadler und Kolkraben stellen an ihre Nistplätze und Lebensräume ähnliche Anforderungen und annektieren oft leerstehende Horste anderer Arten (Robin et al. 2003). Abb. 2.4 zeigt einen Nistplatz in der Mongolei. Die Felsnische

schützt den Horst und den auf dem Bild ca. 80 bis 90 Tage alten Jungvogel vor Wind und Niederschlägen.



Abbildung 2.4: Bartgeier-Nistplatz, fotografiert im Tachin Tal in der Mongolei (Bild: Klaus Robin)

### 2.2.5 Nachwuchs

In den Alpen liegen die meisten Horste zwischen 1400 m und 2400 m ü. M. Die Brut beginnt zwischen Dezember und Februar, das Weibchen legt meistens im Abstand von vier bis sechs Tagen zwei Eier (Fasce et al. 2006). Beide Elterntiere brüten, wobei das Weibchen mit 52% der Zeit einen etwas grösseren Anteil übernimmt (Robin et al. 2003). Nach ungefähr 54 Tagen schlüpft das erste Jungtier, etwa fünf Tage später das zweite. Diesem ist in der Regel nur ein kurzes Leben beschieden: Die beiden Küken verhalten sich aggressiv gegeneinander, dabei setzt sich normalerweise das erstgeschlüpfte, stärkere Tier durch und tötet sein Geschwister. Dieses Verhalten nennt man Kainismus. Bartgeierpaare haben kaum je genug Energie, um zwei Jungtiere gleichzeitig aufzuziehen. Das zweite Ei dient demnach nur als Reserve, falls das erste Ei nicht befruchtet ist oder dem Jungtier in der heiklen Phase kurz nach der Geburt etwas zustösst, wie etwa der Hungertod durch Nahrungsausfall bei langanhaltendem Schneefall (Robin et al. 2003).

Im Alter von 106 bis 133 Tagen werden Junggeier flügge. Nach den ersten Flugwochen, die das Jungtier in der unmittelbaren Umgebung des Horstes verbringt, dehnt es seinen Aktionsradius schnell aus. Die Eltern begleiten den Jungvogel weiterhin, dulden ihn aber allmählich nicht mehr in ihrer Gesellschaft. Der Zeitpunkt der endgültigen Trennung ist sehr variabel und kann bis weit in den nächsten Fortpflanzungszyklus der Eltern hineinreichen. Nach der Trennung von den Eltern schliessen sich Junggeier zusammen und durchstreifen auf der Suche nach Nahrung, freien Territorien und Sozialpartnern mehrere Jahre lang grosse Gebiete (Robin et al. 2003). Die Philopatrie (wörtlich: Heimatliebe, im übertragenen Sinn: Bindung zum Geburtsort (Robin et al. 2003)) bringt die meisten Jungtiere dazu, nach einiger Zeit an ihren Herkunftsort zurückzukehren und sich dort zu verpaaren (Hegglin und Märki 2000 in Robin et al. 2003).

### 2.2.6 Polyandrie

Eine interessante Besonderheit im Verhalten der Bartgeier ist die Polyandrie. In den Pyrenäen ist der Zusammenschluss von zwei Männchen und einem Weibchen relativ häufig (Margalida und García-Ferré 2002 in Robin et al. 2003). Alle drei Vögel beteiligen sich an fast allen Aufgaben, die in einem *home range* und bei der Aufzucht eines Jungtieres anfallen, wenn auch in ungleichem Mass. Das Weibchen dominiert über beide Männchen und lässt eine erfolgreiche Paarung nur mit dem dominanten Männchen zu. Nach der Eiablage paart sich das Weibchen aber auch mit dem zweitrangigen Männchen und sichert sich so dessen Helferdienste. Durch dieses Verhalten wird der Aufwand für die Futterbeschaffung und Horstverteidigung auf drei Vögel aufgeteilt. Der Vorteil für das meist junge, unterlegene Männchen könnte darin liegen, dass es so alle sozialen Verhaltensweisen und Mechanismen erlernt. Es lernt einen gut ausgestatteten Lebensraum kennen und kann sich sofort für die Position eines Paarpartners bewerben, wenn im eigenen Lebensraum oder in der Nachbarschaft der männliche Partner ausfällt. Diese von der Paarformation abweichenden Erscheinungen sind in ihrer tatsächlichen Bedeutung nicht geklärt, zeigen aber, dass Bartgeier ein differenziertes, flexibles Sozialsystem besitzen (Robin et al. 2003).

## 2.3 Historische und aktuelle Verbreitung in der Schweiz

Aus historischen Quellen (Girtanner 1870; Studer und Fatio 1889; Tschudi 1870; Stemmler 1932) ist bekannt, dass Bartgeier früher im gesamten Schweizer Alpenraum verbreitet waren. Spezifisch erwähnt werden bei Girtanner (1870) die Kantone Tessin, Wallis, Bern, Graubünden, Appenzell (Säntisstock), St. Gallen (Kurfürstenskette), Glarus, Schwyz, Zug, Luzern, Nidwalden und Uri. Auch die Kantone Freiburg und Waadt könnten laut Girtanner (1870) einst zur Heimat des Bartgeiers gehört haben.

Die heutige Situation gestaltet sich anders. Eine Auswertung der Bartgeier-Beobachtungsdaten von 1991 bis 1994 (Beschreibung siehe Abschnitt 4.2, S. 29) zeigte zwei Populationskerne auf, einen in Graubünden und einen im Wallis (Robin et al. 1995). Zwischen diesen Kernen wurden nur wenige Beobachtungen gemeldet, im Tessin fehlten sie fast gänzlich. Seit 1994 haben sich die Beobachtungen vervielfacht, das Beobachtungsbild hat sich jedoch nicht übermässig verändert. Die visuelle Analyse der seit 1995 gemeldeten Beobachtungen zeigt, dass in Graubünden und im Wallis immer noch die meisten Beobachtungen gemeldet werden. In der Innerschweiz hat die Beobachtungsdichte zugenommen, während im Tessin nur sehr selten Bartgeier gesichtet werden. Die Frage, warum im Tessin noch immer kaum Bartgeier beobachtet werden, ist nicht abschliessend geklärt. Einer der Gründe dafür ist sicherlich das von Robin et al. (1995) erwähnte erhöhte Interesse, das dem Bartgeier in der Umgebung des Nationalparks und im Wallis entgegengebracht wird. Ein anderer möglicher Grund ist, dass sich das Lebensraumpotenzial im Tessin im vergangenen Jahrhundert stark verringert hat. Dieser Frage wird in der vorliegenden Arbeit nachgegangen.

## 3 Grundlagen der Habitatmodellierung

Habitat-eignungsmodelle werden verwendet, um Beziehungen zwischen einzelnen Arten und ihrem Lebensraum zu formalisieren und die Qualität des Habitats aus der Sicht dieser Arten zu quantifizieren (Morrison et al. 1998). Die Institutionalisierung standardisierter Verfahren für Habitat-eignungsanalysen begann 1974 mit der Entwicklung der *habitat evaluation procedures* (HEP) und des *habitat suitability index* (HSI) durch den U.S. Fish & Wildlife Service (1980). Mit der HEP-Methode werden die Qualität und das räumliche Ausmass vorhandener Wildtier-Habitats ermittelt. Der HSI ist laut U.S. Fish & Wildlife Service (1980) ein Indexwert zwischen 0 (absolut ungeeignet) und 1 (optimal), mit dem ein Habitat beschrieben werden kann. Die HSI-Modelle basierten zu Beginn eher auf Expertenwissen und allgemeinen Aussagen zu Habitatpräferenzen der jeweiligen Art. Die dafür verwendete Technik ist die MCE. Später wurden dank allgemein verfügbarer Software vermehrt multivariate statistische Verfahren zur quantitativen Analyse eingesetzt und zunehmend Wert auf die Validierung der Modelle anhand empirischer Daten gelegt (Schröder 2000).

Mit statistischen Habitatmodellen kann aus Verbreitungsdaten (Präsenz- und Absenzdaten) und Habitat-eigenschaften das Vorkommen bzw. Nichtvorkommen einer Art in einem abgegrenzten homogenen Untersuchungsraum abgeschätzt werden (Scott et al. 2002 in Schröder und Reineking 2004). Heute steht eine Vielzahl solcher Verfahren mit unterschiedlichen Methoden zur Verfügung, ein Überblick wird in Schröder und Reineking (2004) gegeben. Ein neueres statistisches Verfahren zur Habitatmodellierung ist die *ecological niche factor analysis* (ENFA), die sich auf Hutchinsons (1957) Konzept der ökologischen Nische stützt. Die ENFA arbeitet mit Dichteverteilungen von Beobachtungen, sie verwendet also nur Präsenzdaten (Hirzel et al. 2001). Während von der realisierten Nische abgeleitete Präsenz-Absenz-Modelle die aktuelle Verteilung reflektieren, modelliert die ENFA eher die potenzielle Verteilung, die sich der fundamentalen Nische einer Art angleicht. Die ENFA ist folglich für Analysen von Populationen geeignet, die sich nicht im Gleichgewicht befinden, wie etwa invasive oder vom Aussterben bedrohte Arten (Brotons et al. 2004) und eignet sich somit grundsätzlich auch für die Analyse der Schweizer Bartgeierpopulation.

### 3.1 Forschungsstand der Bartgeier-Habitatanalysen

Nachfolgend wird ein Überblick der in der Einleitung erwähnten Habitatmodelle gegeben, die zwischen 1993 und 2006 in verschiedenen Gebieten Europas und Asiens entwickelt wurden und die zum Grundlagenwissen der Modellierung beitragen.

### 3.1.1 Studie über die Nistplatzwahl des Bartgeiers in den Pyrenäen (Donazar et al. 1993)

Donazar et al. (1993) untersuchten in den spanischen Pyrenäen eine etablierte Bartgeierpopulation. Mit univariaten Analysen und *Generalized Linear Models* (GLM) analysierten sie unter anderem die Nistplatzwahl des Bartgeiers in Beziehung zu Morphologie, Landnutzung und Grad menschlicher Störung. Dazu charakterisierten sie mit 13 Variablen 111 von Bartgeiern besetzte und 111 zufällig gewählte, unbesetzte Felsklippen.

Das Modell zeigte, dass Bartgeier zum Nisten Felsklippen in Gebieten mit sehr unregelmässiger Topographie wählten, die zudem weit weg von anderen Brutpaaren, in einer Höhe von etwa 1200 m ü. M. und nicht in der Nähe von Dörfern lagen. Der Faktor Relief (ein Index für die Unregelmässigkeit des Geländes) konnte als wichtigster Faktor ausgewiesen werden, da er allein 69% aller Nistplatzklippen korrekt klassierte. Zusammen mit den weiteren Hauptfaktoren, Distanz zum nächsten Nistplatz, Höhe über Meer und Distanz zu Dörfern konnten 79.3% aller Nistplatzklippen und 76.6% der zufällig gewählten Klippen korrekt klassiert werden.

Drei mögliche Gründe werden für die Präferenz von felsigen Landschaften angegeben: (1) In felsigem Gelände treten häufig Hangwinde auf, welche von Bartgeiern sehr effizient zum Höhengewinn genutzt werden. (2) Es ist in rauem Gelände einfacher, Hänge mit exponierten Knochenschmieden zu finden. (3) Der Zugang zu Brutgebieten wird durch felsiges Gelände erschwert, was die Störung durch menschliche Aktivitäten während der Brutzeit vermindert (Donazar et al. 1993).

### 3.1.2 Homerangeanalyse in der Schweiz (Haller 1996)

Haller (1996) hat in seiner Diplomarbeit eine multivariate Analyse des Bartgeierhabitatpotenzials in der Schweiz durchgeführt, abgestützt auf eine 1997 veröffentlichte Habitatanalyse von Bögel und Eberhardt für Gänsegeier. Der HSI wurde als Kombination aus Nahrungspotenzial, Brutnischenpotenzial und Aufwindpotenzial definiert. Das potenzielle Nahrungsangebot setzt sich aus den Faktoren Kadaveranfall, Sichtpotenzial, Sitzwartenangebot und anthropogenes Störpotenzial zusammen. Das Brutnischenpotenzial beruht auf den Faktoren Nischenpotenzial, anthropogenes Störpotenzial und Höhe in Bezug auf das umliegende Nahrungsgebiet. Das Aufwindpotenzial setzt sich aus den Faktoren Hangaufwind und Thermik zusammen. Die Faktoren wurden einzeln berechnet. Aufgrund der zu wenig spezifisch auf den Bartgeier ausgerichteten Basisdaten wurde jedoch auf eine abschliessende Habitatbewertung verzichtet. Haller (1996) betont, dass vor allem das Nebeneinander der geeigneten Faktoren wichtig sei. Dass an einer bestimmten Stelle alle Faktoren

ideal sind, sei nicht vonnöten, weshalb eine einfache Addition aller Faktoren keinen Sinn gemacht hätte.

### 3.1.3 Habitatanalyse juveniler Bartgeier im Wallis (Hirzel et al. 2004)

In der Haute-Savoie, nahe bei den Walliser Alpen, liegt der französische Freilassungsplatz. Seit den ersten Freilassungen wurden im Wallis immer wieder Bartgeier gesichtet (Hirzel et al. 2004). Hirzel et al. (2004) führten mit den zwischen 1987 und 2001 gesammelten Beobachtungen eine GIS-Analyse durch. Mit der ENFA untersuchten sie die Beziehungen zwischen Bartgeiersichtungen und ausgewählten Umweltvariablen. Die Beobachtungen teilten sie in eine Prospektionsphase (*prospecting phase*, 1978-1994) mit hauptsächlich immaturren Vögeln und eine Siedlungsphase (*settling phase*, 1995-2001) mit hauptsächlich subadulten Tieren. Dies mit der Begründung, dass das Verhalten der Tiere sich in den beiden Phasen signifikant unterschied.

Generell wurde festgestellt, dass Bartgeier sich vor allem in einer mittleren Höhenzone aufhielten. In dieser befinden sich auch Steilhänge mit offenen, trockenen Wäldern. In der Prospektionsphase war die Präferenz von Gebieten mit erhöhter Schaf- und Steinbockdichte etwas deutlicher ausgeprägt als in der Siedlungsphase. In der Prospektionsphase hielten sich die Bartgeier vor allem in einem Nord-Süd-gerichteten Tal südlich der Rhone auf, später hauptsächlich an der südexponierten Kalkstein-Flanke des Haupttales.

Hirzel et al. (2004) betrachten die Nähe zu Kalkgestein als wichtigsten Faktor bei der Habitatwahl, da er von allen im Modell berücksichtigten Faktoren die grösste Aussagekraft besitzt. Drei Erklärungen führen sie auf: (1) Die Walliser Kalkgebiete zeichnen sich durch riesige senkrechte Felsklippen mit vielen Höhlen und Felsvorsprüngen aus, die sich sehr gut zum Nisten und als Schlafstellen eignen. (2) Feinkörnige Geröllhalden, die gute Knochenschmieden darstellen, kommen in Kalkgebieten sehr häufig vor. (3) Aufgrund der unregelmässigen Topographie bestehen in Kalkgebieten oft hervorragende Thermikkonditionen für grosse Raubvögel wie den Bartgeier (Hirzel et al. 2004).

### 3.1.4 Studie über die Nistplatzwahl des Bartgeiers im Kaukasus (Gavashelishvili und McGrady 2006)

2006 publizierten Gavashelishvili und McGrady eine Studie über die Nistplatzwahl von Bartgeiern im Kaukasus. Sie analysierten 25 bekannte Nistplätze und verglichen diese mit 50 geeigneten, aber nicht besetzten Nistplätzen. Betrachtet wurden die Faktoren Klima, Untergrund, menschliche Störung und Nahrungsverfügbarkeit. Mit einer binomialen logistischen Regression wurde der Einfluss der Variablen auf die Nistplatzwahl untersucht. Vier Modelle wurden gebildet, welche jeweils nur die Variablen eines Faktors berücksichtigten.

Als wichtigste Variable des Klimafaktors stellte sich die mittlere Höhe heraus, mit der 80% aller Nistplätze korrekt klassiert werden konnten. Mittlere Hangneigung und offenes Land erwiesen sich als Hauptvariablen des Faktors Untergrund. Sie klassifizierten 83% aller Nistplätze korrekt. Mit der mittleren Distanz zu Strassen konnte der Grad menschlicher Störung bestimmt werden, welcher 83% aller Nistplätze richtig klassierte. Mit den beiden wichtigsten Nahrungsvariablen, der Anzahl wilder Ziegen und der Masse toter Haustiere, konnten gar 95% aller Nistplätze korrekt klassiert werden. Diese vier Modelle wurden anschliessend kombiniert. Das resultierende Bayes'sche Modell klassierte 90% aller Nistplätze korrekt.

Wie Donazar et al. (1993) kommen Gavashelishvili und McGrady (2006) zum Schluss, dass die besiedelten Höhenlagen nach oben durch klimatische Bedingungen und nach unten durch menschliche Störungen begrenzt werden und dass Bartgeier Gegenden mit dichten Strassennetzen meiden. Weiter stellen sie das Flugpotenzial (abhängig von der Hangneigung) über den Faktor Nahrungsverfügbarkeit, da Bartgeier unregelmässiges Gelände erhöhtem Nahrungsaufkommen vorziehen. Als wichtigsten Faktor der Nistplatzwahl erachten sie die Nahrungsvariablen.

#### 3.1.5 Diskussion des Forschungsstandes

Hirzel et al. (2004) betrachten das Vorhandensein von Kalkstein in der Umgebung von Brutplätzen als grundlegende Bedingung für geeignete Habitate. Dieser Standpunkt führt zu Diskussionen unter Experten, denn die Ansicht, dass das Vorhandensein von Kalkstein bei der Habitatwahl keine Rolle spielt, ist ebenso stark vertreten. Für den Kalk spricht, dass alle aktuellen Nistplätze im Untersuchungsgebiet auf Kalkgestein gebaut sind. Dagegen sprechen bekannte historische Nistplätze. Mingozi und Estève (1996) haben festgestellt, dass der westliche, durch Silikatgestein dominierte Alpenraum im 19. Jahrhundert dicht von Bartgeiern besiedelt war.

Der Standpunkt, Kalkstein sei von zentraler Bedeutung, wird vor allem mit den oben erwähnten Eigenschaften der (Walliser) Kalkgebiete begründet, aber auch damit, dass Kalkstein ein bevorzugter Aufenthaltsort von Gämsen und Steinböcken sei (R. Arlettaz 2007, mdl. Information). Stark deformiertes und verwittertes Silikatgestein kann jedoch ähnliche Eigenschaften aufweisen wie Kalk. Die Steinbockkolonien, welche die Hauptnahrungsquelle der Bartgeier darstellen, verteilen sich zudem relativ gleichmässig über beide Gesteine. Inwiefern Kalk für die Eignung eines Gebiets eine Rolle spielt, ist also nicht abschliessend geklärt.

Den statistischen Verfahren von Donazar et al. (1993), Hirzel et al. (2004) und Gavashelishvili und McGrady (2006) ist gemeinsam, dass sie auf erhobenen bzw. gemessenen Daten aufbauen, um die Modellierung der Verbreitung, aber auch die Validierung des Modells

vorzunehmen. Die Bartgeierpopulation in der Schweiz ist jedoch einerseits sehr klein und andererseits sehr jung. Das Verhalten juveniler Vögel unterscheidet sich stark vom territorialen Verhalten der immaturen und maturen Brutpaare (Robin et al. 2003; Hirzel et al. 2004). Auch wenn die Bedürfnisse bezüglich Nahrung und Klima sehr ähnlich sind, kann von den Beobachtungen von Jungvögeln und subadulten Einzeltieren nicht automatisch auf das Verhalten erwachsener Paare geschlossen werden.

Bis anhin gibt es nur wenige Freilandbruten in der Schweiz und im nahen Ausland, ausserdem existieren einige (noch) nicht bebrütete Nistplätze. Für eine statistische Analyse, wie sie Donazar et al. (1993) oder Hirzel et al. (2004) durchführten, stehen somit nur sehr wenige Daten und Informationen über Nistplätze zur Verfügung. Obwohl sich die ENFA im aktuellen Fall anbietet, würde die dafür nötige Erhebung weiterer statistischer Daten (auch im nicht schweizerischen Alpenraum) den Rahmen dieser Arbeit leider sprengen. Auf eine statistische Analyse muss deshalb verzichtet werden.

Donazar et al. (1993) schreiben zwar, dass eine Übertragung ihres Modells auf andere Gebiete in Zentral- und Südeuropa möglich sei. Das Modell wurde jedoch schon vor längerer Zeit entwickelt und deshalb mit analogen Methoden und Kartenmaterial ohne Einbezug eines GIS erstellt. Auch unterscheiden sich die Pyrenäen und die Schweizer Alpen in einigen Bereichen recht stark. Erwähnt seien hier die Höhenlage, damit zusammenhängend das Klima und das Nahrungsangebot.

Der Ansatz von Haller (1996), mit multivariaten Methoden einen HSI zu berechnen, eignet sich sehr gut für die Modellierung von Habitaten, wenn keine statistischen Daten vorhanden sind. Allerdings unterschied Haller (1996) nicht zwischen Nistplätzen und Brutgebieten. Auch übernahm er ein Modell, das explizit auf Gänsegeier abgestimmt war. Er empfahl eine differenzierte Analyse mit genaueren und besser auf den Bartgeier zugeschnittenen Basisdaten. Dieser Empfehlung wird mit der vorliegenden Arbeit nachgekommen.

## 3.2 Die *Multicriteria Evaluation*

Den oben vorgestellten Studien ist gemeinsam, dass sie auf erhobenen Messdaten und Beobachtungsdaten aufbauen. In der Schweiz gibt es zwar wieder eine stattliche Anzahl Bartgeier, jedoch erst wenige Brutpaare und Nistplätze, zu wenige für eine genaue Analyse. In Ermangelung statistischer Daten wird in der vorliegenden Arbeit auf die ursprüngliche Technik der Habitatmodellierung zurückgegriffen, die Analyse basierend auf Literatur und Expertenwissen. Malczewski (1999) beschreibt die MCE (analog auch *multicriteria decision analysis*, MCDA) als eine „Reihe von Arbeitsschritten, um komplexe Entscheidungsprobleme zu analysieren, die nicht vergleichbare, miteinander in Konflikt stehende Kriterien bein-

halten, auf deren Basis Entscheidungsalternativen berechnet werden“ (Malczewski 1999, S. 346).

#### 3.2.1 GIS zur Umsetzung der *Multicriteria Evaluation*

Multikriterienevaluationen können sowohl mit als auch ohne räumlichen Bezug gemacht werden. Im vorliegenden Fall macht es Sinn, die berechneten Entscheidungsalternativen lokalisieren zu können. Für die Durchführung solcher räumlicher Analysen können Geographische Informationssysteme (GIS) verwendet werden. Burrough und McDonnell (1998) definieren GIS als „a powerful set of tools for collecting, storing, retrieving at will, transforming and displaying spatial data from the real world for a particular set of purposes“ (Burrough und McDonnell 1998, S. 11). Die räumlichen Daten repräsentieren Phänomene (Objekte oder kontinuierliche Oberflächen) der realen Welt hinsichtlich ihrer geographischen Position, ihrer räumlich unabhängigen Eigenschaften und ihrer wechselseitigen Beziehungen zueinander (Burrough und McDonnell 1998). GIS ermöglichen es, diese Daten zu analysieren, miteinander in Bezug zu setzen, Berechnungen durchzuführen und die Daten bzw. Ergebnisse zu visualisieren.

#### 3.2.2 Ablauf der *Multicriteria Evaluation*

Es gibt laut Malczewski (1999) verschiedene Möglichkeiten, die Abfolge der Arbeitsschritte im Prozess der Entscheidungsfindung zu strukturieren. Nach Keeney (1992) gibt es zwei Ansätze, den *alternative-focused approach* und den *value-focused approach*. In dieser Arbeit wurde dem Prinzip des *value-focused approach* gefolgt. Er betrachtet die Werte (*values*), also die Evaluationskriterien, als grundlegendes Element der Entscheidungsfindung. Das impliziert, dass man sich zuerst darauf konzentriert, was man will und anschliessend auf die Alternativen (*alternatives*), mit denen man das Gewünschte erreichen kann. Keeney (1992) argumentiert, dass Werte für ein Entscheidungsproblem grundlegender sind als Alternativen, da Alternativen aufgrund des Wertes ihrer Konsequenzen gewählt werden. Nach diesem Ansatz werden die Arbeitsschritte der MCE in folgender Reihenfolge abgewickelt (Malczewski 1999, basierend auf Keeney 1992):

1. Entscheidungsproblem erkennen
2. Werte festsetzen
3. Alternativen identifizieren
4. Alternativen berechnen
5. Alternative wählen
6. Empfehlung abgeben

Die MCE ist ein iterativer Prozess, bei dem die Ergebnisse einzelner Arbeitsschritte dazu benutzt werden, vorhergehende Schritte zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Malczewski (1999) gibt für die Abfolge der Arbeitsschritte in einer spezifisch räumlichen MCE einen Rahmen vor, welcher in Abb. 3.1 schematisch dargestellt ist. Die jeweiligen Arbeitsschritte werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

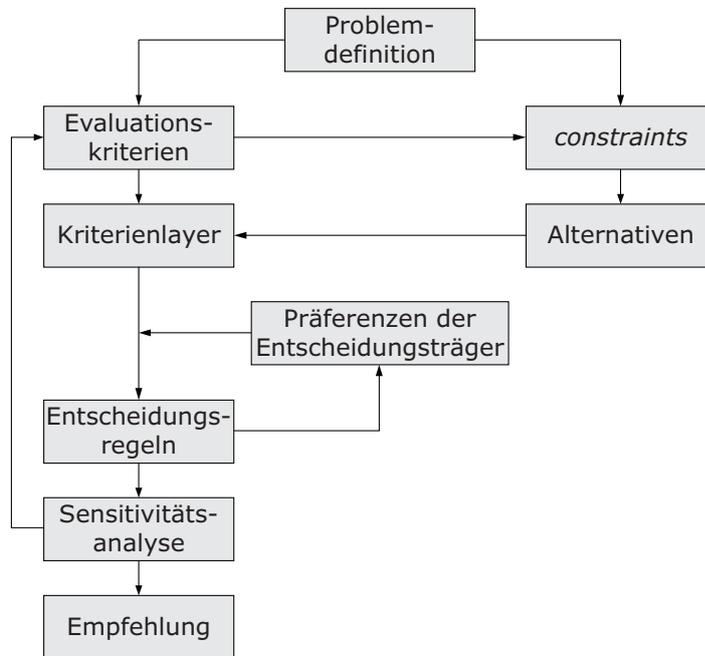


Abbildung 3.1: Vorgehen bei einer MCE nach Malczewski (1999)

### Problemdefinition

Die Problemerkennung und Problemdefinition ist der erste Schritt der Entscheidungsfindung. Das Entscheidungsproblem ist die empfundene Lücke zwischen dem gewünschten und dem existierenden Zustand eines Systems.

### Evaluationskriterien

Nach der Problemdefinition wird eine umfassende Reihe von Zielen (*objectives*) festgelegt, die alles reflektieren, was für das Entscheidungsproblem von Belang ist. Zu viele Kriterien führen zu einem unübersichtlichen Modell, zu wenige zu einer zu starken Vereinfachung der Situation. Wichtig ist ein ausgewogener Ansatz, der alle möglichen Evaluationskriterien überprüft und einen vernünftigen Mechanismus für die Kriterienwahl festlegt. Die Kriterien sollten aufgrund ihrer gewünschten Eigenschaften gewählt werden. Jedes einzelne Kriterium sollte global und messbar sein. Global bedeutet, dass es klar anzeigt, zu welchem Grad das zugehörige Ziel erreicht wird. Messbar bedeutet, dass ihm eine Zahl zugeordnet werden

bzw. es in Zahlen ausgedrückt werden kann. Das Set der verwendeten Kriterien sollte alle Aspekte des Problems abdecken und in der Analyse aussagekräftig verwendet werden können. Es sollte in kleinere Teile zerlegbar sein, um den Prozess zu vereinfachen. Weiter sollte es nicht redundant und möglichst klein sein. Für die Wahl der Kriterien bestehen keine universellen Techniken. Literaturrecherche, analytische Studien und Expertenbefragungen können Mittel dazu bieten.

Ist das Set der Evaluationskriterien definiert, können Kriterienkarten erstellt werden. Diese Karten stellen für jedes Kriterium den Grad dar, zu dem das gesetzte Ziel erreicht wird. Damit ein Kriterium verwendet werden kann, braucht es eine qualitative oder quantitative Skala, um seinen relativen Wert bzw. seine Eignung zu beschreiben. In jedem Fall wird dem Kriterium und seinen Eigenschaften ein Zahlenwert zugeordnet. Zur Erstellung von Skalen gibt es verschiedene Techniken. In dieser Arbeit wurde der deterministische Ansatz verwendet. Dies bedeutet, dass jeder Alternative in einer Kriterienkarte ein eindeutiger Wert zugewiesen wird. Jede Alternative wird also eindeutig einer Eignungsklasse zugeordnet.

#### **Alternativen und *constraints***

In einem rasterbasierten GIS ist jede Rasterzelle, welcher Entscheidungsvariablen zugeordnet sind, eine Alternative. Jede räumliche Alternative besteht aus zwei Basiselementen: der Handlung (was tun?) und dem Ort (wo handeln?). Entscheidungsvariablen ändern sich abhängig von der betrachteten Alternative. Jede Alternative wird durch die Definition des Wertes der Entscheidungsvariable vollständig definiert. Entscheidungsvariablen sind messbare Einheiten, welche durch den Entscheidungsträger kontrolliert werden können. Sie werden in drei Kategorien eingeteilt: Binär, diskret und kontinuierlich. Für diese Arbeit sind die binären Variablen wichtig, die nur die Unterscheidung handeln - nicht handeln (1 - 0) kennen und die diskreten Variablen, die eine endliche Anzahl Werte annehmen. Weiter wird für die Arbeit vorausgesetzt, dass die Variablen deterministisch sind. Ihre Werte sind nicht zufallsabhängig, sondern eindeutig bestimmbar. Eine durch eine deterministische Variable beschriebene Alternative zieht eine eindeutige Handlung nach sich. Einschränkungen (*constraints*) dienen dazu, Alternativen auszuschliessen, die eine bestimmte Eigenschaft (Kriterium) und/oder einen bestimmten Kriterienwert aufweisen. *Constraints* bestimmen die realisierbaren Alternativen, indem sie Alternativen mit bestimmten Eigenschaften und/oder Werten ausklammern. Sie können durch binäre Variablen zum Ausdruck gebracht werden.

## Kriteriengewichte und Entscheidungsregeln

Normalerweise beinhalten Entscheidungsprobleme Kriterien, die für den Entscheidungsträger von unterschiedlicher Bedeutung sind. Diese wird dadurch ausgedrückt, dass jedem Kriterium ein Gewicht zugeordnet wird. Das Gewicht repräsentiert die Bedeutung des Kriteriums relativ zu den anderen Kriterien. Je grösser der Gewichtungswert ist, desto wichtiger ist das Kriterium insgesamt. Für die abschliessende Berechnung der Eignung der Alternativen werden die bis anhin einzeln betrachteten Kriterien durch eine geeignete Entscheidungsregel (*decision rule*) aggregiert. Entscheidungsregeln legen fest, wie Alternativen am besten platziert werden oder welche Alternative einer anderen vorgezogen wird. Die Alternativen werden ihrer Eignung nach in eine Reihenfolge gebracht und die beste Alternative oder die besten Alternativen werden gewählt.

Es existieren verschiedene Methoden, um die Gewichtung der Kriterien und die Entscheidungsregeln festzulegen. In dieser Arbeit wurde dem *analytic hierarchy process* (AHP) gefolgt, der von Saaty (1980) entwickelt und von Malczewski (1999) in einen GIS-spezifischen Kontext gesetzt wurde. Der AHP dient dazu, komplexe Problemstellungen zu vereinfachen und analysierbar zu machen. Der Prozess wird im Abschnitt 3.2.3 genauer erläutert.

## Sensitivitätsanalyse

Ein GIS-Modell weist viele mögliche Unsicherheiten auf. Diese können auf fehlerhaften Daten beruhen, aber auch auf konzeptuellen Fehlern und Fehlentscheidungen der Experten. Es gibt zwei Ansätze, mit Unsicherheiten umzugehen: den direkten und den indirekten. Die Methoden des direkten Ansatzes schliessen Unsicherheiten in den Entscheidungsregeln selbst ein. Zu diesen Methoden gehört die Konsistenzprüfung der Expertengewichtung als Teil des AHP. Sie wird im nächsten Abschnitt beschrieben. Der indirekte Ansatz ist die Sensitivitätsanalyse, welche anschliessend an das Ranking der Alternativen durchgeführt wird. Nach Malczewski (1999) sind die Methoden der Sensitivitätsanalyse (1) die Fehleranalyse, welche Unsicherheiten in Kriterienkarten und Unsicherheiten in der Präferenz von Experten evaluiert und (2) die Analyse der Empfindlichkeit von Kriterienwerten entsprechend der Klassierung und Kriteriengewichtung. Die Sensitivitätsanalyse identifiziert den Einfluss von Änderungen am Input (geographische Daten und Präferenzen des Entscheidungsträgers) auf den Output (Ranking der Alternativen). Wenn die Änderungen den Output nicht signifikant beeinflussen, wird das Ranking als robust betrachtet (Malczewski 1999).

### 3.2.3 Der *analytic hierarchy process*

Der AHP basiert auf drei Prinzipien: Aufschlüsselung des Entscheidungsproblems in eine Hierarchie, welche die grundsätzlichen Elemente des Problems erfasst, vergleichende Beurteilung der Elemente innerhalb einer Hierarchieebene unter Berücksichtigung der höheren Ebenen und Synthese der Prioritäten, welche für die unterste Ebene abgeleitet wurden. Der AHP beinhaltet folglich drei Hauptschritte: (1) Entwicklung der AHP-Hierarchie, (2) paarweiser Vergleich der Evaluationskriterien und (3) Bildung der Gesamtbewertung.

#### Entwicklung der AHP-Hierarchie

In diesem Schritt wird das Entscheidungsproblem in eine Hierarchie zerlegt, welche die wichtigsten Elemente des Problems enthält. Die Spitze ist die Zielsetzung des Entscheidungsproblems, danach steigt die Hierarchie von den generellen zu den spezifischen Ebenen ab. Die unterste Ebene bilden die Alternativen, bei einer rasterbasierten Analyse folglich die Raster- bzw. Kriterienlayer. Alle Ebenen sind miteinander verbunden. Normalerweise besteht die hierarchische Struktur aus vier Ebenen: Hauptziel, Teilziele, Kriterien, Alternativen. Abb. 3.2 zeigt eine schematische Darstellung.

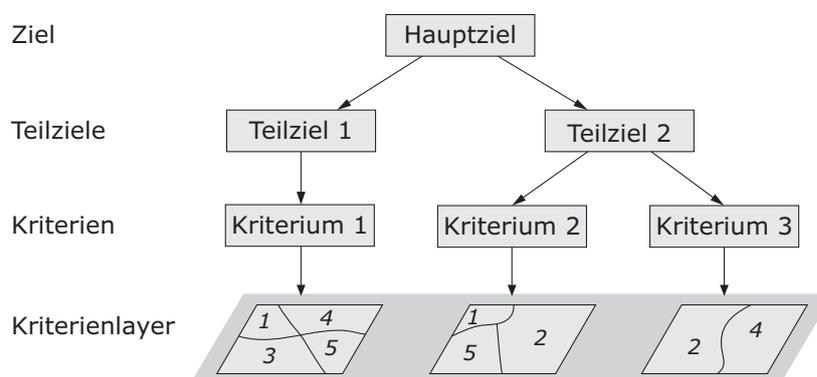


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung der AHP-Hierarchie nach Malczewski (1999)

#### Paarweiser Vergleich der Evaluationskriterien

Um die Komplexität der Gewichtung zu vermindern, werden die Evaluationskriterien jeder Ebene paarweise miteinander verglichen und relativ zueinander gewichtet. Die *pairwise comparison method* (PCM), die dazu angewendet wird, ist die grundlegende Messmethode der AHP. Die Methode wird im Abschnitt 3.2.4 genauer erläutert.

## Bildung der Gesamtbewertung

Die relativen Gewichte der einzelnen Hierarchieelemente werden aggregiert, indem die berechneten Matrizen bzw. die relativen Gewichte von der zweiten Ebene an bis zur untersten Ebene miteinander multipliziert werden. Hier ist anzumerken, dass die konkrete Berechnung der Werte in umgekehrter Reihenfolge erfolgt, wenn mit GIS gearbeitet wird: Ausgehend von der untersten Stufe, den Kriterienlayern, werden die Werte jeder Alternative mit den Werten der nächst höheren Hierarchiestufe multipliziert, bis die oberste Ebene erreicht ist. So entsteht eine Karte des Eignungspotenzials.

Oft sind an einem solchen Prozess mehrere Entscheidungsträger beteiligt, so auch in der vorliegenden Arbeit. In diesem Fall werden die Gewichtungsergebnisse aller Experten mit der *multiple comparison method* (MCM, siehe Abschnitt 3.2.5) gemittelt.

### 3.2.4 Die *pairwise comparison method*

Die PCM nach Malczewski (1999) beinhaltet drei Schritte: (1) Entwicklung einer Vergleichsmatrix (*pairwise comparison matrix*) für jede Ebene der Hierarchie, (2) Berechnung der Gewichte für jedes Element der Hierarchie und (3) Schätzen der Konsistenz.

#### Vergleichsmatrix

Für die Gewichtung der einzelnen Kriterien werden die Kriterien der gleichen Stufe jeweils paarweise miteinander verglichen. Das Mittel dafür ist eine Vergleichsmatrix. In dieser werden alle Kriterien einander gegenüber gestellt.

#### Gewichtung

Immer zwei Kriterien werden im Hinblick auf ihre relative Bedeutung zueinander bewertet. Dazu stehen Indexwerte von 1 bis 9 zur Verfügung. Ist Kriterium A genau gleich wichtig wie Kriterium B, erhält diese Beziehung den Index 1. Ist A viel wichtiger als B, lautet der Index 9. Dazwischen sind alle ganzzahligen Abstufungen möglich (Tab. 3.1).

Tab. 3.2 zeigt das Beispiel einer Kreuzmatrix mit drei Kriterien. Zuerst wird die rechte obere Hälfte der Matrix ausgefüllt, bis jedes Kriterium einmal mit jedem anderen verglichen wurde. Aus Gründen der Konsistenz wird dann die linke untere Hälfte der Matrix mit den Kehrwerten der eingefüllten Bewertungen ergänzt. Anschliessend werden die Kolonnen aufsummiert.

Die relativen Gewichte werden normalisiert, indem sie durch die Summe ihrer Kolonnen geteilt werden. Um die abschliessende Gewichtung zu berechnen, wird zeilenweise für jedes Kriterium der Mittelwert berechnet (Tab. 3.3).

Tabelle 3.1: Indexwerte für den paarweisen Vergleich der Evaluationskriterien nach Saaty (1980)

Definition	Index	Definition	Index
gleich wichtig	1	gleich wichtig	1
gleich wichtig bis leicht wichtiger	2	gleich wichtig bis leicht unwichtiger	1/2
leicht wichtiger	3	leicht unwichtiger	1/3
leicht bis viel wichtiger	4	leicht bis viel unwichtiger	1/4
viel wichtiger	5	viel unwichtiger	1/5
viel bis sehr viel wichtiger	6	viel bis sehr viel unwichtiger	1/6
sehr viel wichtiger	7	sehr viel unwichtiger	1/7
sehr viel wichtiger bis extrem	8	sehr viel unwichtiger bis extrem	1/8
viel wichtiger		viel unwichtiger	
extreme Bedeutung	9	völlig unbedeutend	1/9

Tabelle 3.2: Beispiel einer Kreuzmatrix mit drei Kriterien

	Kriterium A	Kriterium B	Kriterium C
Kriterium A	1	3	1/6
Kriterium B	1/3	1	1/9
Kriterium C	6	9	1
Summe	7.33	13.00	1.28

### Konsistenz

Betrachtet und vergleicht man die Kriterien jeweils nur paarweise, kann leicht eine Inkonsistenz in der Gewichtung entstehen. Das bedeutet, dass beispielsweise Kriterium A wichtiger gewertet wird als Kriterium B und Kriterium B wichtiger als Kriterium C, dass aber Kriterium C wichtiger gewertet wird als Kriterium A. Um solche logischen Fehler zu vermeiden, werden die Vergleichsmatrizen einer Konsistenzprüfung unterzogen. Dazu wird die *consistency ratio* der Matrix bestimmt. Die Technik ist in Malczewski (1999) genauer erläutert. Der *random inconsistency index* gibt abhängig von der Grösse der Matrix die Grenze zufälliger Inkonsistenz an. Liegen die Werte der *consistency ratio* unterhalb der

Tabelle 3.3: Berechnung der Kriteriengewichte

	Kriterium A	Kriterium B	Kriterium C	Gewicht
Kriterium A	0.14	0.23	0.13	<b>0.17</b>
Kriterium B	0.05	0.08	0.09	<b>0.07</b>
Kriterium C	0.82	0.69	0.78	<b>0.76</b>
Summe	1.00	1.00	1.00	1.00

Indexwerte, ist die Matrix konsistent ausgefüllt. Andernfalls besteht eine nicht zufällige Inkonsistenz, und die Vergleichsmatrix muss überarbeitet werden.

### 3.2.5 Die *multiple comparison method*

Die oben beschriebene Gewichtungsmethode eignet sich für Probleme, bei denen es nur einen Entscheidungsträger gibt oder bei denen alle Entscheidungsträger der gleichen Meinung sind. Was aber, wenn die Gewichtung von einer Expertengruppe vorgenommen werden soll? In diesem Fall kann die *multiple comparison method* (MCM) angewendet werden. Dazu wird für alle Kriterienpaare ausgezählt, wie viele Experten das eine Kriterium (Kolonne) dem anderen Kriterium (Zeile) vorgezogen haben. Gleich stark gewichtete Kriterien zählen jeweils auf beiden Seiten als halber Punkt. Die Summe der Kolonnen ergibt den Rang  $r$  des Kriteriums. Tab. 3.4 zeigt ein Beispiel.

Tabelle 3.4: Beispiel einer *multiple comparison* mit 10 Experten

	Kriterium A	Kriterium B	Kriterium C
Kriterium A	-	4	3
Kriterium B	6	-	5
Kriterium C	7	5	-
Rang	13	9	8

Angenommen, die Zahl der Experten  $k = 10$  und die Zahl der Kriterien  $n = 3$ , ist der *range*  $nk - k = 20$ . Mit dem *range* kann die Gewichtung der Kriterien berechnet werden. Zuerst wird jeder Rang durch den *range* dividiert. Die Resultate werden summiert und jedes Resultat wird durch die Summe geteilt. Dies ergibt die Gewichtung der Kriterien. Eine Übersicht ist in Tab. 3.5 zu sehen.

Tabelle 3.5: Gewichtung nach der *multiple comparison method*

	Rang	(Rang/ <i>range</i> )	Gewicht
Kriterium A	13	$(13/20) = 0.65$	$(0.65/1.5) = \mathbf{0.43}$
Kriterium B	9	$(9/20) = 0.45$	$(0.45/1.5) = \mathbf{0.30}$
Kriterium C	8	$(8/20) = 0.40$	$(0.40/1.5) = \mathbf{0.27}$
Summe		1.5	1.00

### 3.2.6 Diskussion der *Multicriteria Evaluation*

Nur der erste Schritt der MCE, die Problemdefinition, verläuft bei allen Analysen ähnlich. Schon bei der Parametrisierung der Kriterien gibt es verschiedene Ansätze, die verfolgt

werden können. Teilweise sehr unterschiedliche Ansätze und Methoden kommen jedoch vor allem bei der Kriteriengewichtung und der Wahl der Entscheidungsregeln zur Anwendung.

Für die Gewichtung der Evaluationskriterien existieren ausser der PCM noch weitere Methoden wie *ranking*, *rating* und *trade-off analysis*. Sie unterscheiden sich in der Präzision, Benutzerfreundlichkeit, im Verständnis auf der Seite der Entscheidungsträger und in den theoretischen Grundlagen (Malczewski 1999). Die PCM hat den Vorteil, dass sie leicht anzuwenden ist, eine hohe Zuverlässigkeit besitzt und eine recht präzise Gewichtung ermöglicht. Experten müssen nicht alle Kriterien gleichzeitig miteinander vergleichen, sondern können sich auf jeweils zwei Kriterien konzentrieren.

Die PCM ist ein integrierter Bestandteil des AHP. Nebst diesem gibt es viele weitere Möglichkeiten, Entscheidungsregeln anzuwenden. *Simple additive weighting*, *value/utility function* und *fuzzy aggregation operations* sind nur einige der möglichen Alternativen. Der AHP zeichnet sich dadurch aus, dass die Entscheidungsträger sehr stark in den Entscheidungsprozess miteinbezogen werden (Malczewski 1999). Das Entscheidungsproblem wird in Teilprobleme verschiedener Hierarchiestufen aufgeschlüsselt, die sich leichter analysieren lassen und so den Entscheidungsträgern einen detaillierteren Einblick in den Entscheidungsprozess und ein besseres Verständnis für die Auswirkungen ihrer Entscheidungen bezüglich der Gewichte der Kriterien ermöglichen.

Die abschliessende Kriteriengewichtung, mit der die Potenzialkarte modelliert wird, kann mit diesen beiden Methoden ohne zusätzlichen Software-Aufwand mit einem einfachen Tabellenkalkulationsprogramm berechnet und danach auf die GIS-Kriterienlayer übertragen werden. Die einfache Anwendbarkeit, die hohe Zuverlässigkeit und das Miteinbeziehen von Experten und Expertenwissen machen den AHP und die PCM zur favorisierten Methode.

# 4 Daten und Software

Datensätze verschiedener Organisationen und Forschungsstellen decken das Untersuchungsgebiet ab und werden kombiniert. Neben aktuellem Kartenmaterial und Tierbeobachtungsdaten werden historische Karten und Textquellen digitalisiert analysiert. Bei jeder GIS-Analyse stellt sich ausserdem die Frage nach der Datengenauigkeit, dem gewünschten Datenformat und der benötigten Software.

## 4.1 Untersuchungsgebiet

Der Lebensraum des Bartgeiers beschränkt sich auf Gebiete mit grossen Höhenunterschieden. In der Schweiz sind dies die Alpen und der Jura. Der Jura ist dicht besiedelt und wird auch touristisch intensiv genutzt. Deshalb beschränkt sich diese Arbeit auf die Analyse des Alpenraumes. Wo Daten vorhanden sind, ist das Untersuchungsgebiet (Abb. 4.1) über die Schweizer Grenzen hinaus ausgedehnt, da sich auch im nahen Grenzraum viele Bartgeier aufhalten. Die Fläche des Untersuchungsgebietes beträgt 32'251 km<sup>2</sup>.

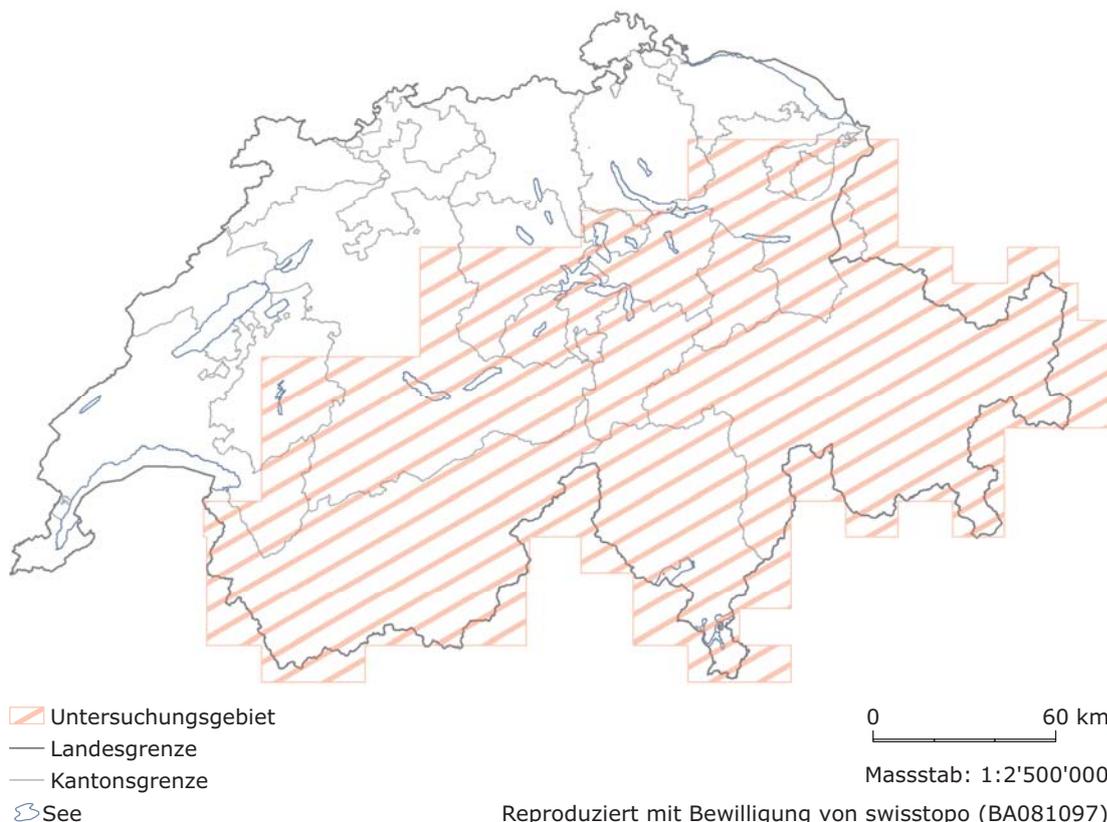


Abbildung 4.1: Untersuchungsgebiet

## 4.2 Aktuelle Datensätze

**DHM25** Das digitale Höhenmodell der Schweiz existiert in zwei Formen: Das Basismodell enthält die Höhenlinien und -knoten der Landeskarte 1:25'000, ausserdem die alpinen Hauptbruchkanten als Polylinien. Die Äquidistanz beträgt im alpinen Raum 20 m, an sehr steilen Stellen werden nur die Zählkurven (100 m Vertikaldistanz) erfasst. Das Matrixmodell, welches in der Arbeit verwendet wird, ist aus dem Basismodell interpoliert. Es hat eine Rastergrösse von 25 m. Die Höhengenaugigkeit beträgt im Schnitt 1.5 m bis 3 m ([www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)). Neben den Höhwerten werden dem DHM auch weitere Informationen wie etwa Hangneigung und Exposition entnommen. Das schräglichtschattierte DHM dient ausserdem bei der Visualisierung als Basiskarte.

**VECTOR25** Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz beruht ebenfalls auf der Landeskarte 1:25'000. Neun thematische Ebenen bilden das Pendant zur topographischen Karte. Die Lagegenauigkeit liegt entsprechend der Landeskarte bei 3 m bis 8 m ([www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)). Die Polygonebene „Primärflächen“ beschreibt flächendeckend die Bodenbedeckung der Schweiz, inklusive Siedlungsflächen und Flugzeugpisten. Die Ebenen „Einzelobjekte“ und „Übriger Verkehr“ enthalten lineare Elemente wie Hochspannungsleitungen oder Luftseilbahnen.

**SwissNames100** Alle Beschriftungen der topographischen 1:100'000er Karte der Schweiz sind im SwissNames100 enthalten, als Punktdaten georeferenziert und mit Objektinformationen versehen ([www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)). Diesem Datensatz sind unter anderem die SAC-Hütten entnommen.

**GG25** Die politischen und administrativen Grenzen der Schweiz, mit grösseren Seen als eigenständige Klassen, sind im Vektordatensatz GG25 enthalten, der wiederum auf der Landeskarte 1:25'000 basiert ([www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)). Diese Daten dienen der kartographischen Visualisierung.

**AdS** Der Atlas der Schweiz ist ein Gemeinschaftswerk des Instituts für Kartographie der ETH Zürich, des ETH-Rats, des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Landestopographie. Er enthält sehr viele thematische Informationen, darunter auch Karten über die Geologie, Lithologie und biogeographische Einteilung der Schweiz ([www.atlasderschweiz.ch](http://www.atlasderschweiz.ch)). Die Karten bestehen aus Vektor- und Rasterdatensätzen.

**Aktuelle Nistplätze** D. Jenny und F. Biollaz stellten ihre erhobenen Daten der aktuell besetzten und bebrüteten Nistplätze im Wallis, in Graubünden und im angrenzenden Italien

zur Verfügung. Darin sind Informationen zur Form, näheren Umgebung und Nutzung der Nistplätze und zu Brutaktivitäten enthalten. Die Koordinaten sind mit einer Genauigkeit von 10 m angegeben<sup>1</sup>. Anhang A fasst die wichtigsten Informationen zusammen.

**Sichtungen** Bartgeiersichtungen von Laien und Experten können dem Nationalpark und der Vogelwarte Sempach oder direkt dem internationalen Bartgeier-Monitoring gemeldet werden. Die Angaben werden mit Koordinaten und weiteren Informationen in eine GIS-Datenbank eingelesen ([www.bartgeier.ch](http://www.bartgeier.ch)). Für die vorliegende Arbeit stehen alle georeferenzierten Sichtungen im Untersuchungsgebiet von Juli 1987 bis August 2007 zur Verfügung.

### 4.3 Historisches Kartenmaterial und Textquellen

**Ornithologische Karte** Studer und Fatio veröffentlichten 1889 eine Karte der Schweiz im Massstab 1:1'400'000, in der die Verbreitung des Bartgeiers in der Schweiz in verschiedenen Zeiträumen zwischen dem 16. und 19. Jahrhundert dargestellt ist. Ebenfalls eingetragen sind einige bekannte Horste, Sichtungen und Abschüsse.

**Bartgeiervorkommen in Graubünden** In einer Heimatkundearbeit stellte Nänni (1990) eine tabellarische Übersicht aller Bartgeiernachweise des 19. Jahrhunderts im Kanton Graubünden zusammen. Zusammengefasst sind Informationen über gesichtete, gefangene und geschossene Bartgeier, ausserdem über Bartgeierhorste.

### 4.4 Datenformate und Software

**Datenformate** Vektordaten erlauben es, topologische Beziehungen herzustellen, d.h. die räumlichen Beziehungen von Objekten zueinander können definiert und für Nachbarschafts- und Distanzanalysen verwendet werden. Das Vektorformat eignet sich aber nur für diskrete Objekte und nicht für kontinuierliche Oberflächen. Da die Eigenschaften von Lebensräumen sich selten abrupt ändern und geeignete und ungeeignete Gebiete meist nicht scharf voneinander abgegrenzt werden können, werden die Rechenoperationen in dieser Arbeit grösstenteils im Rasterformat durchgeführt. Die Vektordatensätze werden rasterisiert, wobei entsprechend dem DHM25 eine Rastergrösse von 25 m beibehalten wird. Die Überlagerung mehrerer solcher Rasterlayer kann so zu einem Ergebnis mit kontinuierlicher Oberfläche führen.

---

<sup>1</sup>Um die Sicherheit der Brutpaare zu gewährleisten bzw. Störungen durch Beobachter zu vermeiden, darf die genaue Lage der Nistplätze in dieser Arbeit nicht veröffentlicht werden.

Durch die Rasterisierung wird jedoch die Datenmenge stark vergrössert, was bei den Rechenoperationen zu Problemen führen kann. Die Rechenzeit verlängert sich um ein Vielfaches. Komplexe Operationen wie Interpolationen, Buffer etc. können den Rechner an seine Leistungsgrenze bringen. Einige räumliche Analysen lassen sich mit beiden Formaten durchführen, brauchen aber je nach Format sehr unterschiedliche Rechenzeiten. So ist es bei grossen Datenmengen von zentraler Bedeutung, sich vor dem Ausführen der GIS-Arbeit darüber klar zu werden, welche Operationen nötig sind und in welcher Reihenfolge sie durchgeführt werden sollen. Dies liegt auch im Interesse der Datengenauigkeit: Wird ein Polygon rasterisiert, ändern sich sowohl Form als auch Fläche und Umfang in Abhängigkeit der für den Rasterdatensatz gewählten Zellgrösse. Je öfter ein Datensatz umformatiert wird, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass durch Generalisierungs- und Glättungsprozesse Ungenauigkeiten und Fehler auftreten.

Es stellt sich die Frage, ob für eine grossräumige Analyse eine Auflösung von 25 m überhaupt nötig ist. Obwohl Bartgeier sehr mobil sind und täglich weite Strecken zurücklegen, spielen kleinräumige Landschaftsstrukturen doch eine sehr grosse Rolle bei der Habitat- und Nistplatzwahl. Damit diese Strukturen modelliert werden können, ist es unerlässlich, eine möglichst grosse Auflösung beizubehalten.

**Software** Da zur Berechnung der Modellierungsergebnisse sowohl mit Vektor- als auch mit Rasterdaten gearbeitet wird, bietet sich das Programm ArcGIS von ESRI an, das sich für beide Formate gleichermaßen eignet. Ausserdem besitzt ArcGIS den Vorteil, ASCII-Daten lesen zu können. ASCII-Files sind Textfiles mit einem Header, die es erlauben, die enthaltenen Rasterdaten (Zellwerte) zu spezifizieren und bei Bedarf zu georeferenzieren. Dieses Format kann in Java eingelesen und dort bearbeitet werden. Mit Java können Rechenoperationen und Analysen durchgeführt werden, die mit ArcGIS nicht möglich sind. Die Resultate werden mit ArcGIS in Raster konvertiert und dort weiter bearbeitet.

## 5 Bartgeier-Experten

Verschiedene Bartgeier-Experten leisteten einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit und verdienen es, hier kurz vorgestellt zu werden. Alle Experten sind in der einen oder anderen Form am Wiederansiedlungsprojekt beteiligt.

**François Biollaz** arbeitet für das BartgeierNetzwerk Westschweiz in Salgesch. Er stellte die Koordinaten der Walliser Nistplätze zur Verfügung.

**Dr. Hans-Jörg Blankenhorn** war bis 2005 Eidgenössischer Jagdinspektor beim BAFU. Er ist im Stiftungsrat der Stiftung Pro Bartgeier. Hans-Jörg Blankenhorn nahm an der Befragung zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells teil.

**Dr. Chasper Buchli** war bis 1999 Präsident der Gesellschaft zur Wiederansiedlung des Bartgeiers (GWB) und Projektleiter. Seit der Gründung der Stiftung Pro Bartgeier ist er Geschäftsführer der Stiftung und leitet mit Jürg Paul Müller zusammen das Wiederansiedlungsprojekt in der Schweiz. Chasper Buchli ermöglichte mir die Teilnahme an verschiedenen Sitzungen und Anlässen der Stiftung und nahm an der Befragung zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells teil.

**Ruedi Haller** ist Leiter der Rauminformation des Schweizerischen Nationalparks. Er ist als GIS-Experte Mitglied in der Fachkommission der Stiftung Pro Bartgeier. Ruedi Haller stellte die Beobachtungsdaten der Bartgeier-Datenbank zur Verfügung und nahm an der Befragung zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells teil.

**Dr. Daniel Hegglin** ist Wildtierbiologe. Er arbeitet bei SWILD und am Institut für Parasitologie der Universität Zürich und ist als Experte für Satellitentelemetrie in der Fachkommission der Stiftung Pro Bartgeier zuständig für die Überwachung der ausgewilderten Jungtiere. Daniel Hegglin nahm an der Befragung zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells teil.

**Dr. David Jenny** ist Biologielehrer an der Academia Engiadina und Regionalkoordinator der Schweizerischen Vogelwarte für das Oberengadin. Er ist von der Stiftung mit dem Bartgeiermonitoring in der Ostschweiz (Paarbildung und Reproduktion) beauftragt. David Jenny stellte die Daten der Nistplätze in Graubünden und Italien zur Verfügung und

unterstützte mich bei der Kriterienwahl und Parametrisierung der Modellierungen. Weiter nahm er an den Befragungen zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells und zur Validierung der Modellierungen teil.

**Dr. Jürg Paul Müller** ist Direktor des Bündner Naturmuseums und Leiter der Fachkommission der Stiftung Pro Bartgeier. Zusammen mit Chasper Buchli leitet er das Wiederansiedlungsprojekt in der Schweiz. Jürg Paul Müller unterstützte mich beim Erarbeiten der Grundlagen für die Kriterienwahl und nahm an der Befragung für die Validierung der Modellierungen teil.

**Thomas Pachlatko** ist Wildtierbiologe und Lehrer. Er arbeitet in der Geschäftsleitung der Wildtier Schweiz. Im Bartgeierprojekt ist er in der Öffentlichkeitsarbeit involviert und als Dokumentalist tätig. Thomas Pachlatko stellte seine Sammlung historischer Texte über den Bartgeier zur Verfügung und nahm an der Befragung zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells teil.

**Dr. Klaus Robin** ist Dozent für Umwelt und Natürliche Ressourcen an der Fachhochschule Wädenswil und Leiter der Fachstelle Wildtier- und Landschaftsmanagement. Er ist Inhaber der Robin Habitat AG und Mitglied der Fachkommission der Stiftung Pro Bartgeier. Klaus Robin unterstützte mich bei der Parametrisierung der Nistplatzkriterien und nahm an der Befragung zur Kriteriengewichtung des Nistplatzmodells teil.

# 6 Nistplatzpotenzial

Im vorliegenden Kapitel wird die Modellierung des Nistplatzpotenzials vorgestellt. Die Frage, die in der Einleitung gestellt wurde, lautet:

WO GIBT ES IM SCHWEIZER ALPENRAUM GEEIGNETE NISTPLÄTZE FÜR  
BARTGEIER?

Nachfolgend werden die Methodik und die Resultate der Modellierung erläutert. Die Modellierung baut auf Literatur und Expertenwissen auf. In die Validierung fließen sowohl aktuelle als auch historische Daten ein, ebenso eine Expertenbefragung. Im Kapitel 8 wird abschliessend eine Synthese mit den Ergebnissen der Habitatmodellierung (Kapitel 7) gebildet.

## 6.1 Methodik

Auf der Basis der im Abschnitt 3.2 vorgestellten MCE wird die Modellierung des Nistplatzpotenzials vorgenommen. Abb. 6.1 zeigt schematisch das Vorgehen bei der Evaluation des Nistplatzpotenzials.

### 6.1.1 Problemdefinition

Im vorliegenden Fall deckt sich die Problemdefinition mit der Fragestellung der Diplomarbeit. Die Zielsetzung der Eignungsanalyse ist es, im Schweizer Alpenraum potenzielle Nistplätze für Bartgeier zu modellieren.

### 6.1.2 Evaluationskriterien und *constraints*

Robin et al. (2003) beschreiben sehr ausführlich die Biologie und die Lebensweise des Bartgeiers und die Anforderungen, die er an sein Habitat stellt. Diesem Buch und den Studien von Donazar et al. (1993), Haller (1996) und Hirzel et al. (2004) sind die Grundlagen für die Wahl der Evaluationskriterien entnommen.

In Zusammenarbeit mit den Bartgeierexperten D. Jenny und J. P. Müller wurden die Kriterien parametrisiert und Messskalen für jedes Kriterium bestimmt. Die Kriterien sind in fünf Klassen unterschiedlicher Eignung eingeteilt, wobei zur Klassierung keine lineare Messkala verwendet oder natürliche Klasseneinteilungen gemacht wurden. Die Einteilung ist an die spezifischen Ansprüche des Bartgeiers angepasst. Zusätzlich zu den fünf Eignungsklassen gibt es für einige Kriterien *constraints*, um gänzlich ungeeignete Alternativen auszuschliessen.

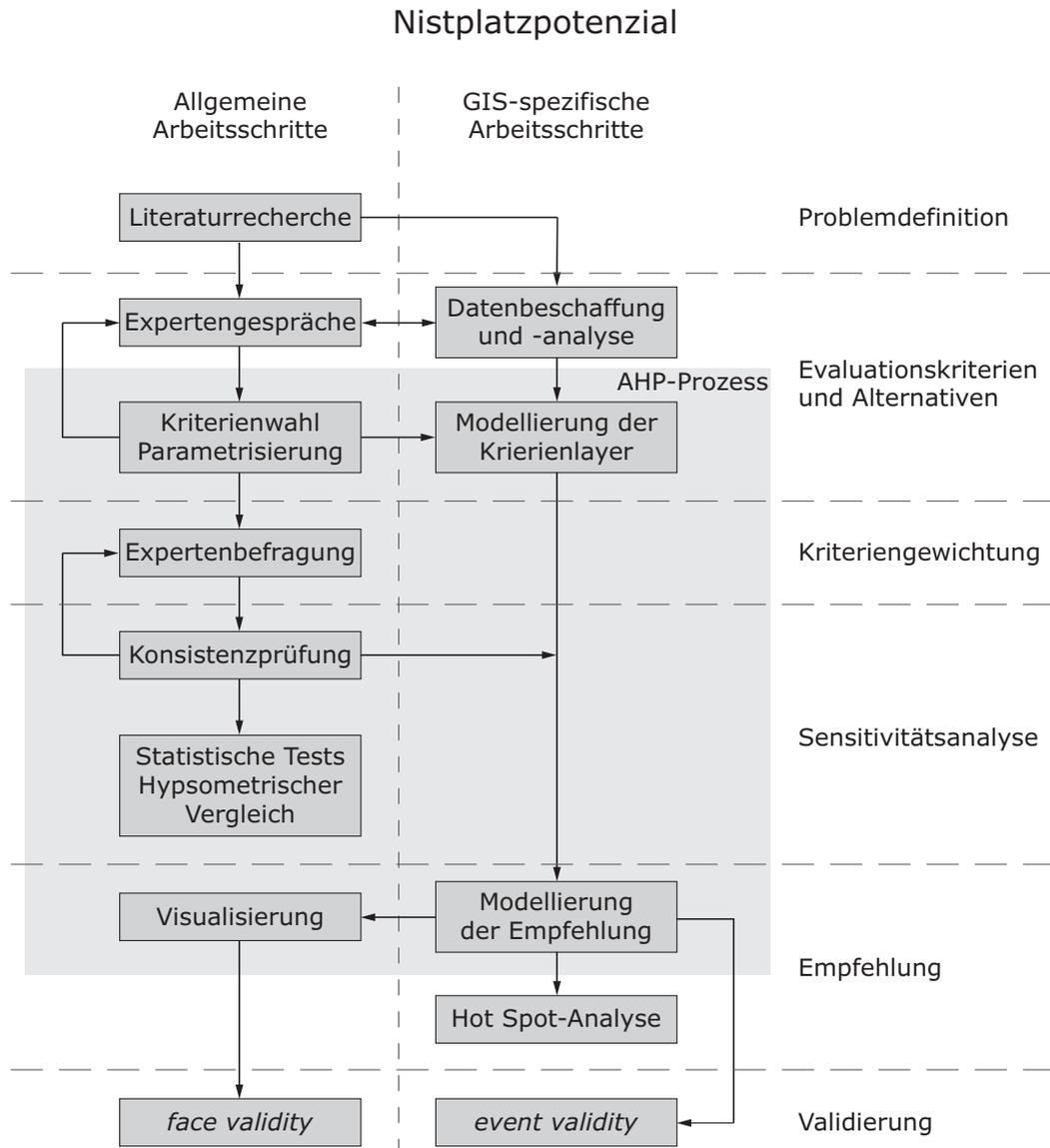


Abbildung 6.1: Vorgehen bei der Evaluation des Nistplatzpotenzials (Quelle: Eigene Darstellung)

### 6.1.3 Entscheidungsregeln

In Anlehnung an die Studien von Bögel und Eberhardt (1997) und Haller (1996) wurde das Nistplatzpotenzial aus der Kombination von positiven und negativen Einflüssen, also aus Eignungspotenzial und Störpotenzial ermittelt. Diese beiden Faktoren bilden nach der Ebene Nistplatzpotenzial die zweite Ebene der AHP-Hierarchie. Die vorgängig bestimmten Evaluationskriterien werden dieser Ebene untergeordnet. Sie beinhalten auch die unterste Ebene der Hierarchie, die Rasterlayer mit den einzelnen Alternativen, den Rasterzellen.

#### 6.1.4 Kriteriengewichtung

Um jedes Kriterium relativ zu jedem anderen Kriterium zu gewichten, werden drei Vergleichsmatrizen benötigt, eine für die zweite und zwei für die dritte Ebene der AHP-Hierarchie. 15 Mitglieder des Stiftungsrates und der Fachkommission der Stiftung Pro Bartgeier wurden gebeten, eine Expertenmeinung abzugeben. 7 Personen füllten die Vergleichsmatrizen aus. Die berechneten Gewichtungen wurden einer Konsistenzprüfung unterzogen. Wo nötig, wurde die Gewichtung mit den Experten zusammen leicht modifiziert, um die Konsistenzregeln einzuhalten. Anschliessend wurden alle Gewichtungen mit der MCM gemittelt.

#### 6.1.5 Sensitivitätsanalyse

Die Ansichten darüber, welche Kriterien für die Wahl eines Nistplatzes wichtig sind, gehen unter Experten aufgrund unterschiedlicher Blickwinkel stark auseinander. Ein Züchter, welcher seine „selbst“ ausgebrüteten und von Hand aufgezogenen Jungvögel bis zum Tag der Aussetzung begleitet, setzt andere Prioritäten als ein Wildtierbiologe, der die Tiere in freier Wildbahn beobachtet. Mit der MCM wurden die Gewichtungspräferenzen der Experten gemittelt. So sollen die Auswirkungen individueller subjektiver Präferenzen auf das Nistplatzmodell möglichst klein gehalten werden.

Um die Empfindlichkeit des Modells auf Veränderungen der Gewichtung zu testen, wurde ein repräsentativer Ausschnitt des Untersuchungsgebietes - der Nationalpark und seine Umgebung - mit der Gewichtung jedes Experten separat berechnet und statistisch analysiert. Zu Beginn wurde die Gewichtung aller Kriterien mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test (Tab. 6.1) auf Normalverteilung geprüft. Mit dem Kendall-W-Test (Tab. 6.2) wurde geprüft, ob die Gewichtungen der verschiedenen Experten der gleichen Grundgesamtheit entstammen, d. h. wie ähnlich sie sich sind. Der Kendall-W-Test ist eine Abwandlung des Friedman-Tests. Er misst den Grad der Übereinstimmung zwischen mehreren verbundenen Stichproben und wurde für die Situation entwickelt, dass mehrere Beurteiler (in diesem Falle die Experten) mehrere Beurteilte (die Kriterien) begutachten. Abschliessend wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test (Tab. 6.3) ein paarweiser Vergleich aller Gewichtungen durchgeführt. Mit diesem Test wurde bestimmt, wie ähnlich sich die Gewichtungen sind und welche Gewichtungen sich am stärksten von einander unterscheiden.

Für alle Gewichtungen und die gemittelte Gewichtung wurden hypsometrische Kurven berechnet, die den prozentualen Flächenverbrauch in Abhängigkeit der prozentualen Eignung zeigen. Es wird also gezeigt, welche Klasse der Nistplatzzeignung welchen Flächenanteil im Untersuchungsgebiet einnimmt.

Tabelle 6.1: Übersicht des Kolmogorov-Smirnov-Tests

<b>Überblick</b>	nichtparametrisch, unabhängig
<b>Ziel</b>	Prüft, ob die Gewichtung der Kriterien normalverteilt ist
$H_0$	Die Gewichtung der Kriterien folgt der Normalverteilung
$H_A$	Die Gewichtung der Kriterien folgt nicht der Normalverteilung

Tabelle 6.2: Übersicht des Kendall-W-Tests

<b>Überblick</b>	nichtparametrisch, abhängig
<b>Ziel</b>	Prüft die Übereinstimmung mehrerer Verteilungen
$H_0$	Die Experten stimmen ihrer Wahl der Kriteriengewichte überein
$H_A$	Die Experten stimmen ihrer Wahl der Kriteriengewichte nicht überein

Tabelle 6.3: Übersicht des Mann-Whitney-U-Tests

<b>Überblick</b>	nichtparametrisch, unabhängig
<b>Ziel</b>	Prüft, ob zwei Verteilungen der gleichen Grundgesamtheit entstammen
$H_0$	Die Expertengewichtungen entstammen der gleichen Grundgesamtheit
$H_A$	Die Expertengewichtungen entstammen nicht der gleichen Grundgesamtheit

### 6.1.6 Empfehlung

Die Empfehlung der MCE wird in Form einer Eignungskarte abgegeben. Die Karte zeigt die gewichtete Verschneidung aller Kriterien im Ausschnitt des Untersuchungsgebiets. Ein Häufigkeitsdiagramm zeigt, welcher Verteilung die Eignungswerte der Empfehlung folgen. Ausserdem wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test angewendet, um eine statistische Prüfung auf Normalverteilung vorzunehmen. Als visuelle Unterstützung zur Entscheidungsfindung wurde mit ArcGIS zusätzlich eine Hot Spot-Analyse (Algorithmus *Getis-Ord  $G_i^*$*  in ArcGIS) der potenziellen Nistplätze durchgeführt. Der *Getis-Ord  $G_i^*$* -Algorithmus (Getis und Ord 1992) ist eine Distanzanalyse, mit der nach dem *moving window*-Prinzip (Burrough und McDonnell 1998) für eine bestimmte Variable die räumliche Autokorrelation innerhalb einer gewissen Distanz ermittelt wird. Es werden also lokale Häufungen von sehr hohen bzw. sehr tiefen Werten bestimmt. Voraussetzung dafür ist eine Normalverteilung der Werte im gesamten Untersuchungsgebiet. Überschreiten die  $G_i^*$ -Werte das Signifikanzniveau, kann angenommen werden, dass eine lokale räumliche Autokorrelation besteht. Mit der Hot Spot-Analyse wird das Modellierungsergebnis auf Cluster mit besonders hohem Nistplatzpotenzial untersucht, basierend auf räumlicher Nähe und Eignungswert. Der Suchradius für die Bewertung der Clusterung um jeden potenziellen Nistplatz beträgt 1 km, was in etwa dem Kerngebiet eines Bartgeierterritoriums entspricht. Die Analyse soll zeigen, ob

und wo lokale Hot Spots potenzieller Nistplätze bestehen und ob die aktuellen Nistplätze in lokalen Hot Spots des modellierten Nistplatzpotenzials zu liegen kommen.

## 6.2 Resultate

Der vorliegende Abschnitt beinhaltet die Resultate der MCE. Zuerst wird ein Überblick über die Kriterien und ihre Parametrisierung gegeben, anschliessend wird auf die Gewichtung eingegangen. Die Empfehlungen sind am Ende des Abschnitts dargestellt.

### 6.2.1 Evaluationskriterien und *constraints*

Drei Annahmen werden für die Modellierung getroffen: (1) Grundsätzlich eignen sich steile Felsklippen als potenzielle Nistgebiete. Deshalb werden im Modell nur Standorte berücksichtigt, welche einen Felsuntergrund (*constraint 1*) und eine Hangneigung von mindestens  $50^\circ$  (*constraint 2*) aufweisen. (2) Kalk- und Silikatstein eignen sich gleichermaßen als Nistplatzgebiete. Verwittertes Silikatgestein weist ebenso wie Kalkstein Risse und Höhlen auf. Da der Verwitterungsgrad nicht in die Modellierung mit einbezogen werden kann, werden beide Gesteinsarten gleichwertig klassiert. (3) Der hohe Bestand an Wildtieren in der Schweiz bringt einen hohen Kadaveranfall mit sich. Als weitere Nahrungsquelle stehen ausserdem im Sommerhalbjahr Abgänge von Haustierherden zur Verfügung (Baumgart 2001). Aus diesem Grund wird die Nahrungsverfügbarkeit bei der Nistplatzwahl nicht als limitierender Faktor betrachtet.

Die wichtigsten Bedingungen bei der Nistplatzwahl sind sehr steiles Gelände und geeignete Felsnischen. Thermikbedingungen und klimatische Bedingungen sind weitere Faktoren. Während diese positiven Faktoren durch die abiotischen und biotischen Bedingungen der unmittelbaren und weiteren Umgebung beschrieben werden können, sind die Faktoren, welche sich negativ auf die Qualität von Nistplätzen auswirken, vor allem anthropogener Natur. Vier Arten von Störungen wurden klassiert: Tourismusaufkommen, Lärm, Flughindernisse (z. B. Stromkabel) und Flugobjekte (Helikopter, Segelflugzeuge etc.).

Eignungskriterien besitzen statische Eigenschaften: Felsklippen verändern ihre topographischen Eigenschaften nicht bzw. nur sehr bedingt. Auch wenn das Wetter und die Jahreszeiten sich fortlaufend ändern, sind die klimatischen Bedingungen doch über lange Zeiträume hinweg konstant und mehr oder weniger unabhängig von anthropogenen Einflüssen. Die klimatischen Bedingungen sind es denn auch, die potenzielle Nistplätze auf eine bestimmte Maximalhöhe eingrenzen. Mit abnehmender Höhe verringert sich das Nistplatzpotenzial nicht nur durch veränderte topographische Eigenschaften, sondern auch durch menschliche Aktivitäten und Störungen.

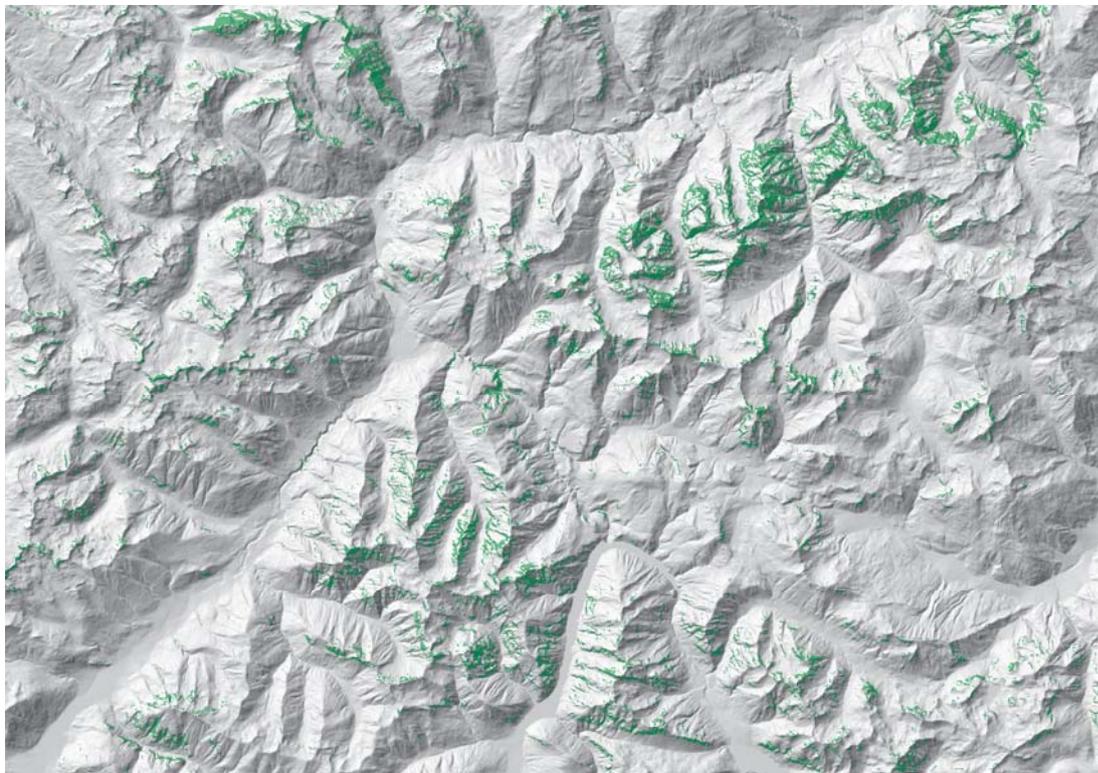
Eigenschaften von Störungen wirken anders als Eigenschaften von Eignungen. Sie sind räumlich begrenzt, aber nur im Falle von statischen Hindernissen gleichbleibend. Dynamische Störungen wirken zeitlich und räumlich unregelmässig und oft nicht vorherbestimmbar. Sie können deshalb nur ansatzweise in ein statisches Modell eingebunden werden. Kleinräumige, intensive Störungen wirken sich auf Bartgeier viel stärker aus als grossflächige, gleichmässig auftretende Störungen. Solches gilt beispielsweise für Skigebiete und statische Hindernisse. Sie besitzen Störpotenzial, welches auf gleichbleibendem, begrenztem Raum wirkt. Anders sieht es bei Störungen durch Flugobjekte aus. Helikopter und Privatflugzeuge bewegen sich nicht nur auf vorbestimmten Luftstrassen. Segelflugzeuge nutzen gleich den Bartgeiern thermische Aufwinde. Sie können den Nistplätzen sehr nahe kommen. Diese Störungen sind äusserst intensiv. Sie können Brutvögel dazu bewegen, die Eindringlinge anzugreifen und ihr Gelege zu lange zu vernachlässigen. Wanderer, Tourengänger und Eisfallkletterer bewegen sich unabhängig von Strassen und Wegen im Gelände. Diese Störungen sind kleinräumig und unregelmässig in Zeit und Intensität. Unwissen, Unvorsichtigkeit und Neugierde können auch in dieser Situation Bartgeier zum Abbruch einer Brut veranlassen.

Die Einteilung der Evaluationskriterien erfolgt in fünf Eignungsklassen. Das Kriterium „Felsklippen“ bildet eine Ausnahme, es ist ein Boole'sches Kriterium. Der Wertebereich von 1 (ungeeignet) bis 5 (sehr gut geeignet) wird bei der nachfolgenden Kriterienbeschreibung der Übersichtlichkeit halber verwendet. Die GIS-Berechnung wurde entsprechend dem HSI (U.S. Fish & Wildlife Service 1980) mit standardisierten Werten (0 bis 1) durchgeführt, um die Werte der Empfehlung bzw. der Eignungskarte zwischen 0 und 1 zu halten.

Eine Übersicht aller Kriterien und *constraints*, ihrer Parametrisierung und Operationalisierung wird in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 6.4 bis Tab. 6.12) gegeben. Zuerst erfolgen die Beschreibung und die Parametrisierung des Kriteriums. Weiter ist jeweils ein Kartenausschnitt des Nationalparks und seiner Umgebung dargestellt. Die Einfärbung des Kriterienlayers erfolgt entsprechend der gewählten Klassierung. Gebiete, die unter einen *constraint* fallen, sind nicht eingefärbt. Sämtliche Kriterienlayer sind im ArcReader-Format auf der Daten-CD enthalten.

Tabelle 6.4: Beschreibung des Kriteriums „Felsklippen“

<b>Kriterium</b>	Felsklippen
<b>Masseinheit</b>	Kategorial, Grad Hangneigung
<b>Datengrundlage</b>	VECTOR25 (Primärflächen: Z_Fels), DHM25 (Hangneigung)
<b>Beschreibung</b>	„Felsklippen“ beschreibt die grundlegenden Bedingungen, welche ein potenzieller Nistplatz erfüllen muss.
<b>Constraint</b>	Geeignet sind nur Felsgebiete mit mindestens 50° Hangneigung.
<b>Algorithmus</b>	<i>Maximum Downward Gradient</i> (Java), Code siehe Anhang B. Für die Hangneigung in $x$ -Richtung am Punkt $j$ , $j$ gilt: $[\delta z / \delta x]_{ij} = \max [(z_{i+l_j} - z_{i-l_j}) / 2] / dx,$ wobei $\delta x$ die Distanz zwischen den Zellmittelpunkten darstellt (Burrough und McDonnell 1998).



■ Felsklippen

0 10 km

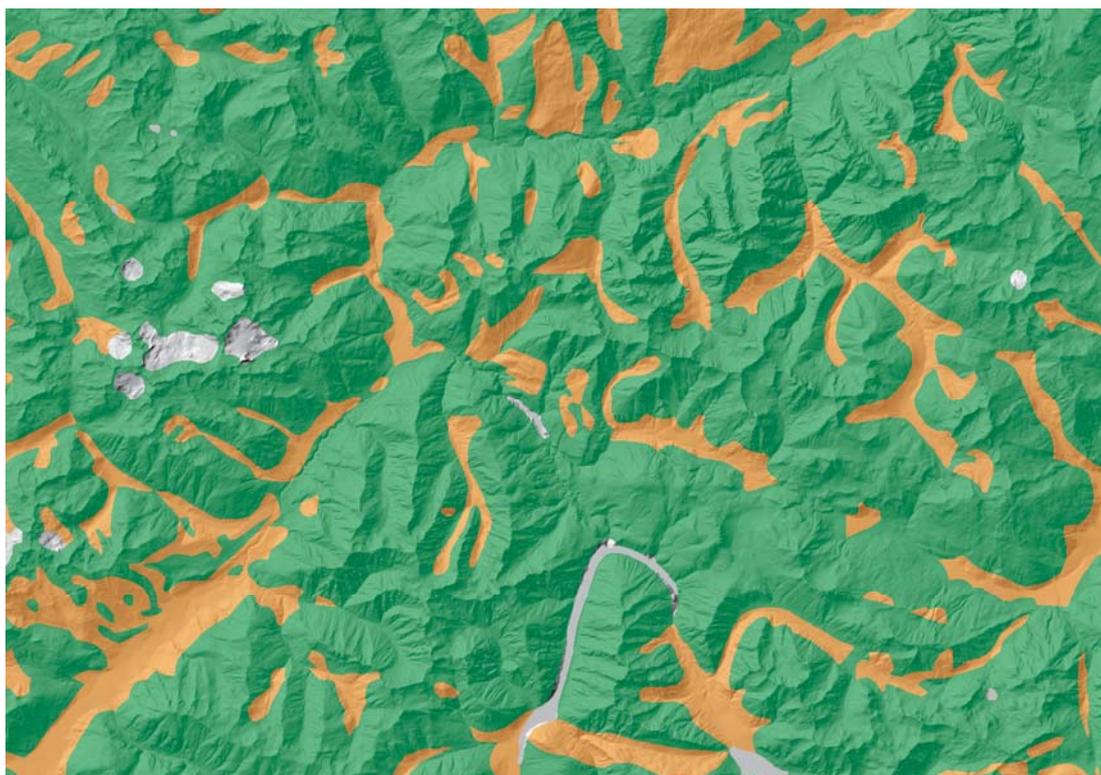
Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Masstab: 1:300'000

<b>Kommentar</b>	Es zeigte sich, dass steile Hangpartien mit dem ArcGIS-Standardalgorithmus zur Berechnung der Hangneigung nur mangelhaft abgebildet werden konnten. Der gewählte Algorithmus besitzt den Nachteil, dass lokale Fehler im DHM sich relativ stark auf die Hangneigung auswirken (Burrough und McDonnell 1998). Der grosse Vorteil liegt darin, dass steile Hangpartien viel deutlicher zu Tage treten.
------------------	--

Tabelle 6.5: Beschreibung des Kriteriums „Gestein“

<b>Kriterium</b>	Gestein				
<b>Masseinheit</b>	Kategorial				
<b>Datengrundlage</b>	AdS Shapefile (Lithologie)				
<b>Beschreibung</b>	„Gestein“ beschreibt das Potenzial für Felsnischen.				
<b>Constraint</b>	Gewässer, Gletscher und Firn sind ausgeschlossen.				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	-	Lockergestein	-	-	Kalk; Silikat



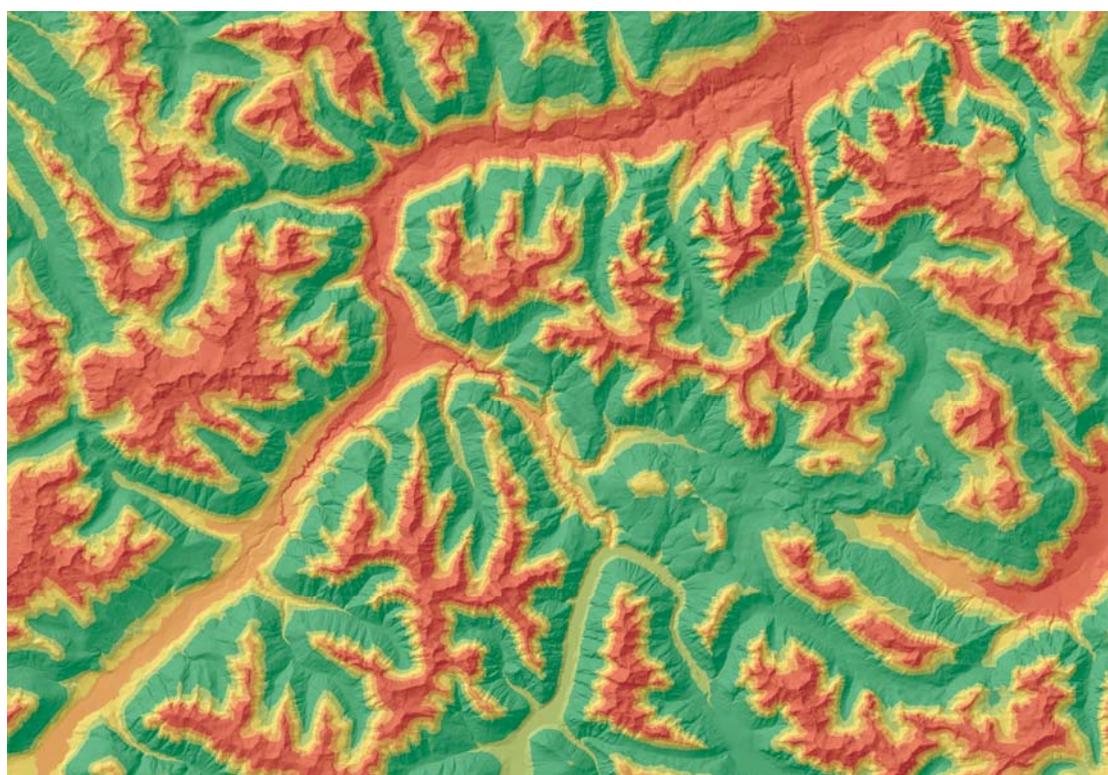
- 1 - ungeeignet
- 2
- 3
- 4
- 5 - sehr gut geeignet

0 10 km  
 Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Tabelle 6.6: Beschreibung des Kriteriums „Höhe“

<b>Kriterium</b>	Höhe				
<b>Masseinheit</b>	Meter über Meer				
<b>Datengrundlage</b>	DHM25, AdS Shapefile (biogeographische Grossregionen)				
<b>Beschreibung</b>	„Höhe“ beschreibt die klimatischen Bedingungen aufgrund der Höhenlage, unterteilt nach Nordalpen und Zentralalpen.				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Nordalpen	-1200; 2200+	1200-1300; 2100-2200	1300-1400; 2000-2100	1400-1500; 1900-2000	1500-1900
Zentralalpen	-1600; 2700+	1600-1700; 2600-2700	1700-1800; 2500-2600	1800-1900; 2400-2500	1900-2400



1 - ungeeignet

2

3

4

5 - sehr gut geeignet

0 10 km

Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

<b>Kommentar</b>	Die Nordalpen und die Zentralalpen unterscheiden sich in Lagen gleicher Höhe deutlich. Da die Zentralalpen weiter südlich liegen und ein milderes Klima aufweisen als die Nordalpen, verschieben sich die Grenzen der Höhenstufen in den Zentralalpen nach oben. Dies wirkt sich auf die Vegetation und die Besiedlung aus und beeinflusst dadurch auch die Lebensräume des Bartgeiers.
------------------	---

Tabelle 6.7: Beschreibung des Kriteriums „Exposition“

<b>Kriterium</b>	Exposition				
<b>Masseinheit</b>	Grad				
<b>Datengrundlage</b>	DHM25				
<b>Beschreibung</b>	„Exposition“ beschreibt die Südausrichtung, welche für die Thermikentwicklung im Nistplatzbereich eine wichtige Rolle spielt.				
<b>Algorithmus</b>	<i>Aspect</i> (ArcGIS) nach Horn (1981)				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	0-22.5; 337.5-360	22.5-67.5; 292.5-337.5	67.5-112.5; 247.5-292.5	112.5-157.5; 202.5-247.5	157.5-202.5



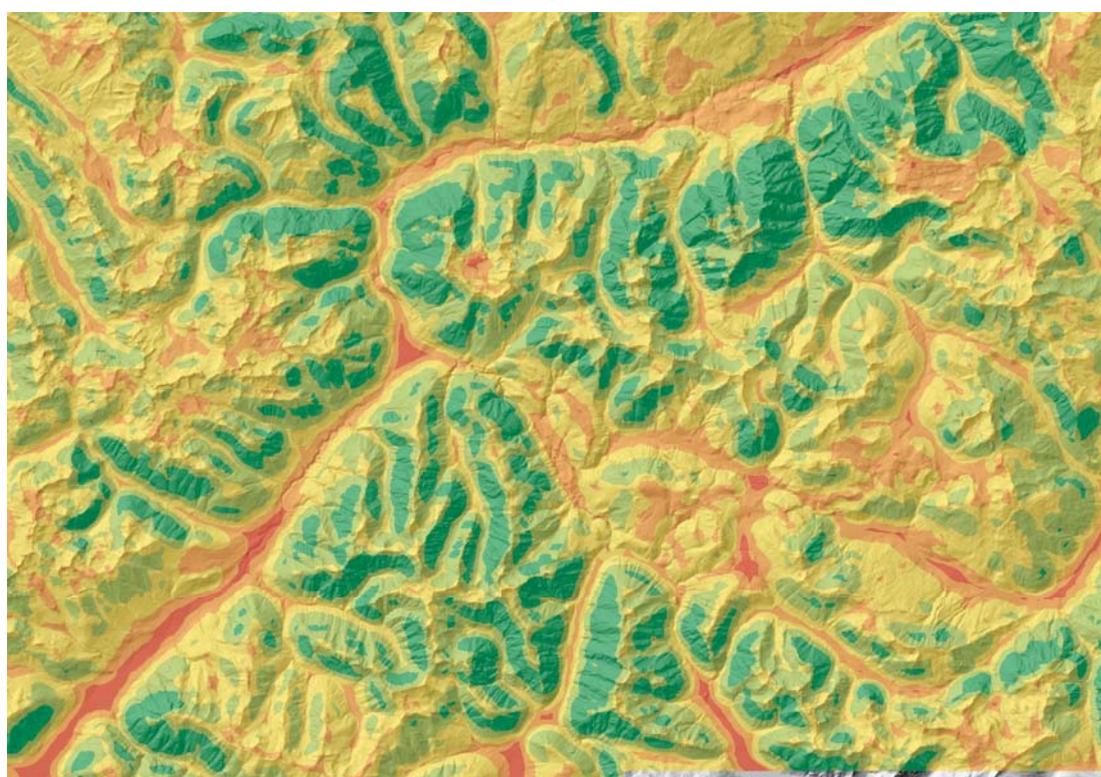
- 1 - ungeeignet
- 2
- 3
- 4
- 5 - sehr gut geeignet

0  10 km  
 Masstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Tabelle 6.8: Beschreibung des Kriteriums „Reliefenergie“

<b>Kriterium</b>	Reliefenergie				
<b>Masseinheit</b>	Meter				
<b>Datengrundlage</b>	DHM25				
<b>Beschreibung</b>	„Reliefenergie“ beschreibt die relativen Höhenunterschiede im Umkreis von 500 m um den Nistplatz, welche für die Thermikentwicklung im Nistplatzbereich eine wichtige Rolle spielen.				
<b>Algorithmus</b>	<i>Reliefenergie</i> (Java), entwickelt in Zusammenarbeit mit David Caduff, GIUZ. Code siehe Anhang C.				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	0-150	150-300	300-450	450-600	600+



1 - ungeeignet

2

3

4

5 - sehr gut geeignet

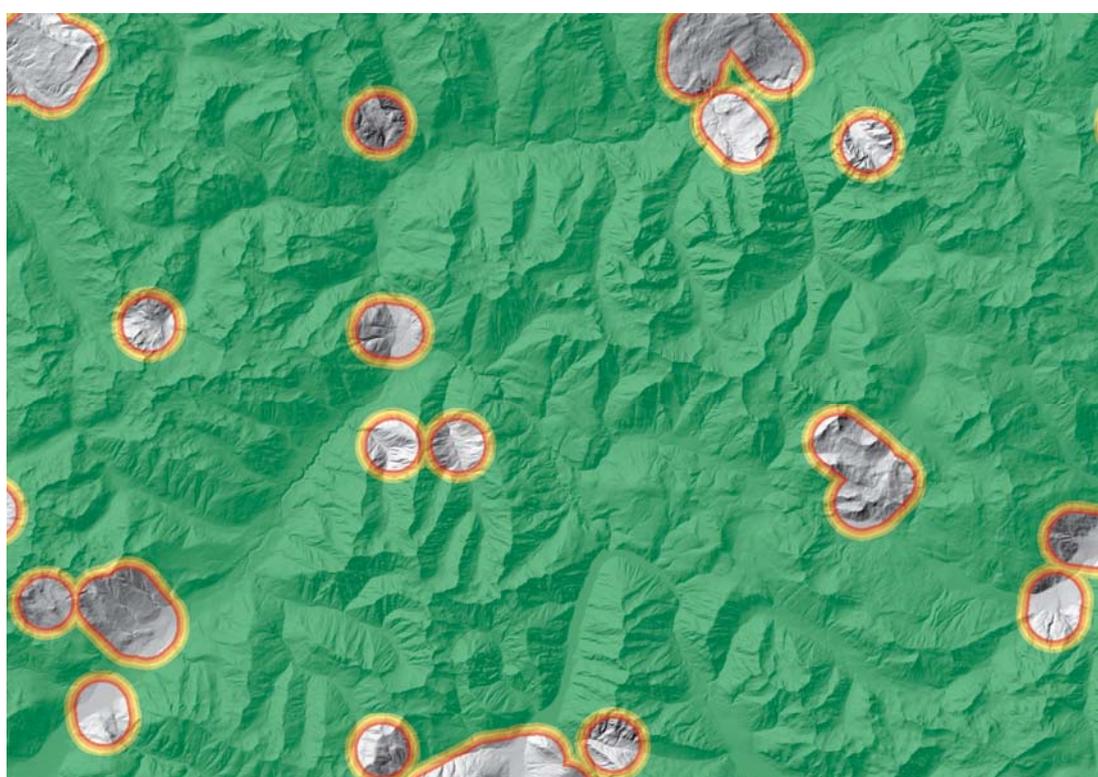
0 10 km

Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Tabelle 6.9: Beschreibung des Kriteriums „Tourismus“

<b>Kriterium</b>	Tourismus				
<b>Masseinheit</b>	Meter				
<b>Datengrundlage</b>	SwissNames100 (Huette), VECTOR25 (Übriger Verkehr: LS_Bahn, Skilift)				
<b>Beschreibung</b>	„Tourismus“ beschreibt den Störeinfluss durch touristische Nutzungen, abhängig von der Distanz zu touristisch intensiv genutzten Gebieten um SAC-Hütten, Skilifte und Luftseilbahnen.				
<b>Constraint</b>	Im Umkreis von 1000 m um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.				
<b>Algorithmus</b>	<i>Multiple Ring Buffer</i> (ArcGIS)				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	1000-1125	1125-1250	1250-1375	1375-1500	1500+



- 1 - ungeeignet
- 2
- 3
- 4
- 5 - sehr gut geeignet

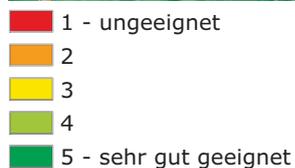
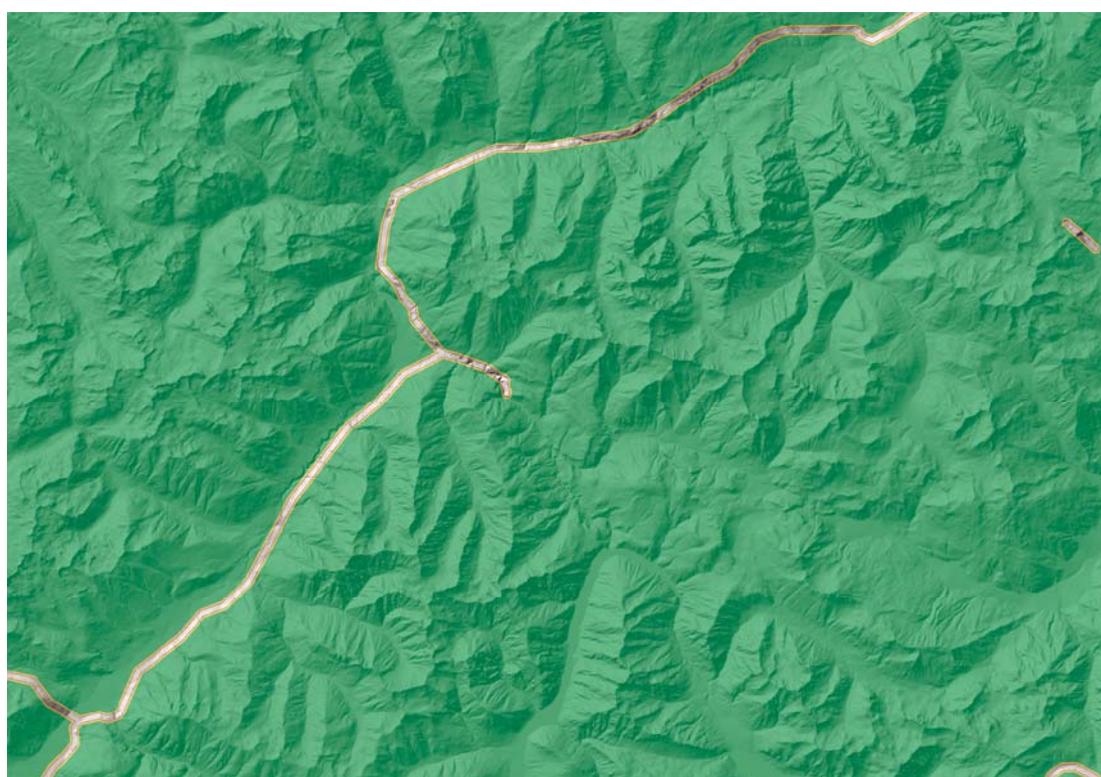
0 10 km

Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Tabelle 6.10: Beschreibung des Kriteriums „Anlagen“

<b>Kriterium</b>	Anlagen				
<b>Masseinheit</b>	Meter				
<b>Datengrundlage</b>	VECTOR25 (Übriger Verkehr: Mat_Bahn, Einzelobjekte: HSP_Ltg)				
<b>Beschreibung</b>	„Anlagen“ beschreibt den Störeinfluss durch festinstallierte, schlecht sichtbare Flughindernisse (Hochspannungsleitungen und Materialbahnen).				
<b>Constraint</b>	Im Umkreis von 100 m um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.				
<b>Algorithmus</b>	<i>Multiple Ring Buffer</i> (ArcGIS)				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	100-125	125-150	150-175	175-200	200+



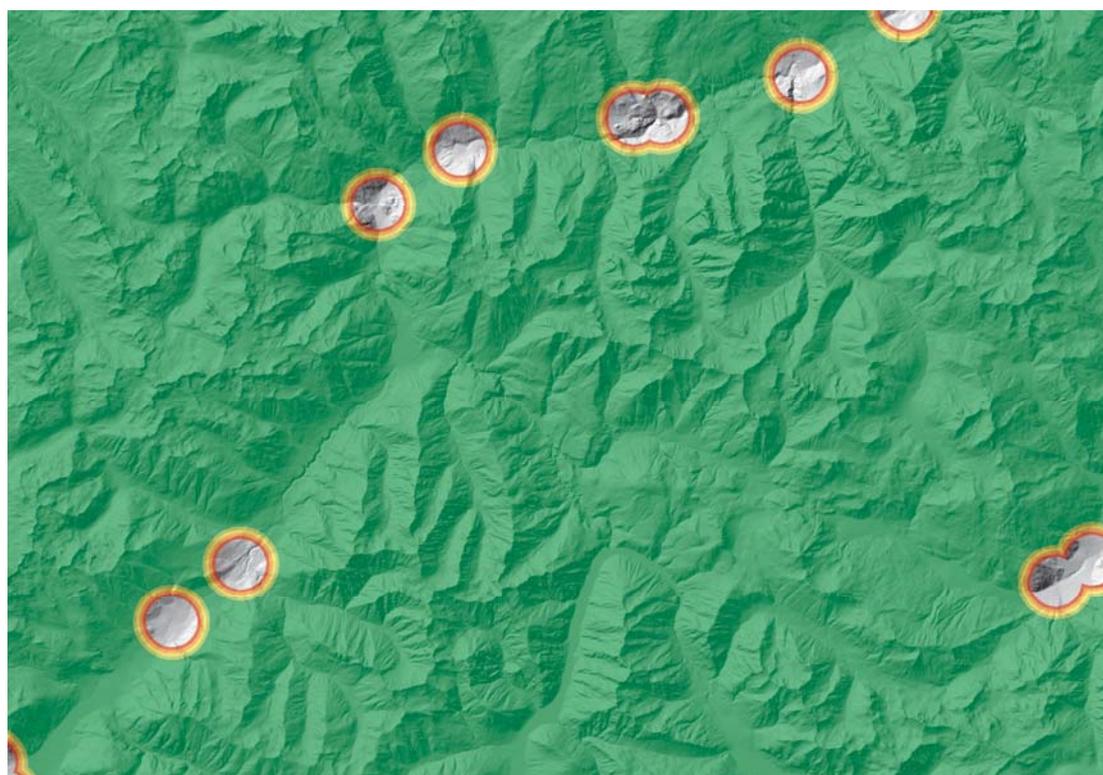
0 10 km

Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Tabelle 6.11: Beschreibung des Kriteriums „Lärm“

<b>Kriterium</b>	Lärm				
<b>Masseinheit</b>	Meter				
<b>Datengrundlage</b>	VECTOR25 (Gebäude: Z_Schiessstand)				
<b>Beschreibung</b>	„Lärm“ beschreibt den Störeinfluss durch Lärm, welcher bei der Nutzung von Schiessständen entsteht.				
<b>Constraint</b>	Im Umkreis von 1000 m um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.				
<b>Algorithmus</b>	<i>Multiple Ring Buffer</i> (ArcGIS)				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	1000-1125	1125-1250	1250-1375	1375-1500	1500+



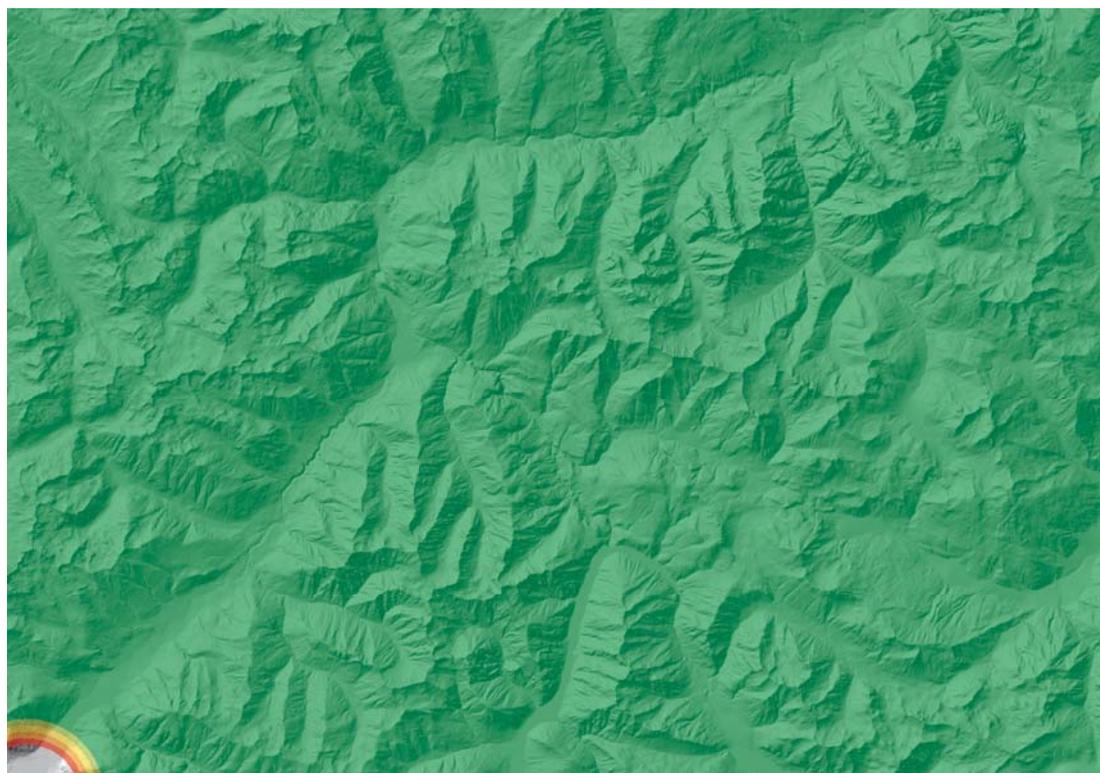
- 1 - ungeeignet
- 2
- 3
- 4
- 5 - sehr gut geeignet

0  10 km  
 Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Tabelle 6.12: Beschreibung des Kriteriums „Flugverkehr“

<b>Kriterium</b>	Flugverkehr				
<b>Masseinheit</b>	Meter				
<b>Datengrundlage</b>	VECTOR25 (Primärflächen: Z_FIArea)				
<b>Beschreibung</b>	„Flugverkehr“ beschreibt den Störeinfluss, welcher durch tief fliegende Flugzeuge und Helikopter in der Nähe von Flughäfen entsteht.				
<b>Constraint</b>	Im Umkreis von 2000 m um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.				
<b>Algorithmus</b>	<i>Multiple Ring Buffer</i> (ArcGIS)				
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	2000-2250	2250-2500	2500-2750	2750-3000	3000+



1 - ungeeignet

2

3

4

5 - sehr gut geeignet

0 10 km

Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

**Kommentar** Der abgebildete Ausschnitt ist nur ganz im Südwesten, in der Umgebung von Samedan, von Störungen durch Flugverkehr betroffen. Deshalb ist der grösste Teil des abgebildeten Gebietes grün eingefärbt.

### 6.2.2 Entscheidungsregeln

Die Faktoren, die bei der Nistplatzwahl eine Rolle spielen, lassen sich in die Klassen „Eignung“ und „Störung“ einteilen. Die Kriterien und ihre Eigenschaften wurden vorgängig vorgestellt. In Abb. 6.2 ist nun das ganze AHP-Modell schematisch abgebildet.

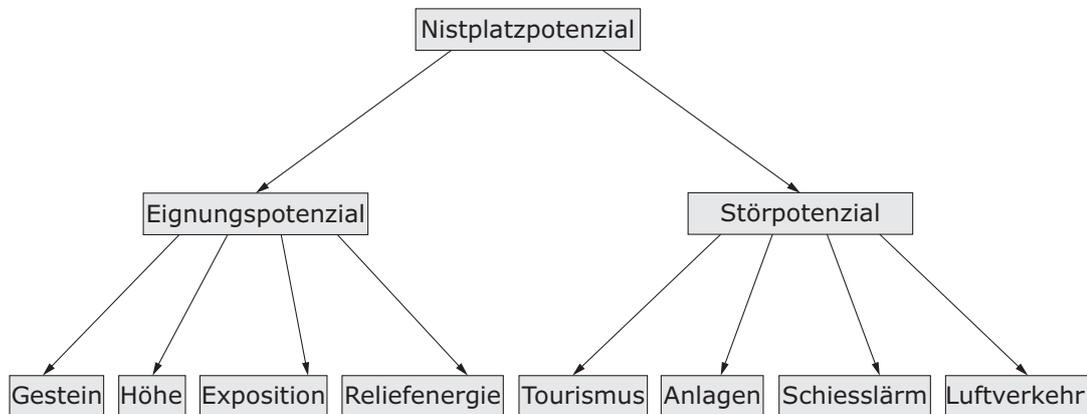


Abbildung 6.2: Schematische Darstellung des Nistplatzmodells (Quelle: Eigene Darstellung)

### 6.2.3 Kriteriengewichtung

Im Folgenden werden die mit der MCM über alle Matrizen gemittelten Resultate der Gewichtung vorgestellt. Die Gewichtungswerte bewegen sich zwischen 0 und 1. Tab. 6.13 zeigt die relative Gewichtung der zweiten Ebene der Kriterienhierarchie. Das Eignungspotenzial wird mit 0.64 etwa doppelt so stark gewichtet wie das Störpotenzial (0.36).

Tabelle 6.13: Gewichtung des Nistplatzpotenzials

	Eignungspotenzial	Störpotenzial	Gewicht
Eignungspotenzial	-	2.5	<b>0.643</b>
Störpotenzial	4.5	-	<b>0.357</b>

Die Gewichtung der Kriterien, welche das Eignungspotenzial eines Nistplatzes bestimmen, ist in Tab. 6.14 abgebildet. Das wichtigste Kriterium ist die Reliefenergie (0.37), gefolgt von der Exposition (0.24). Den Schlussrang nimmt nach dem Gestein (0.20) die Höhe (0.19) ein. In Tab. 6.15 ist die Gewichtung der Störfaktoren dargestellt. Am stärksten gestört werden potenzielle Nistplätze durch Luftverkehr (0.32), weniger stark durch Tourismus (0.27) und Schiesslärm (0.23). Am wenigsten stark fällt die Störung durch Anlagen (0.18) aus.

Tabelle 6.14: Gewichtung des Eignungspotenzials

	Gestein	Höhe	Exposition	Reliefenergie	Gewicht
Gestein	-	3.5	4	5	<b>0.202</b>
Höhe	3.5	-	3.5	6	<b>0.190</b>
Exposition	3	3.5	-	4.5	<b>0.238</b>
Reliefenergie	2	1	2.5	-	<b>0.369</b>

Tabelle 6.15: Gewichtung des Störpotenzials

	Tourismus	Anlagen	Schiesslärm	Luftverkehr	Gewicht
Tourismus	-	2.5	3	4	<b>0.274</b>
Anlagen	4.5	-	4	5	<b>0.179</b>
Schiesslärm	4	3	-	4.5	<b>0.226</b>
Luftverkehr	3	2	2.5	-	<b>0.321</b>

Abb. 6.3 zeigt eine schematische Darstellung der Kriterienhierarchie und der Gewichte aller Kriterien und Ebenen. Die einzelne Nistplatzalternative wird ausgehend von den Werten der Kriterienlayer berechnet. Die abschliessende, über alle Ebenen multiplizierte Kriteriengewichtung ist in Tab. 6.16 dargestellt. Sie zeigt die gemittelte Gewichtung aller Kriterien, aber auch die Gewichtung der einzelnen Experten. Die vollständigen Matrizen aller Experten sind im Anhang B zu finden. In der abschliessenden, gemittelten Gewichtung sticht die Reliefenergie mit einem Gewicht von 0.24 hervor. Sie wird mit Abstand als wichtigster Faktor betrachtet. Der nächstwichtigste Faktor ist die Exposition (0.15). Den Schlussplatz nimmt das Kriterium Anlagen mit einem Gewicht von 0.06 ein. Es fällt auf, dass die Eignungsfaktoren stärker gewichtet wurden als die Störfaktoren.

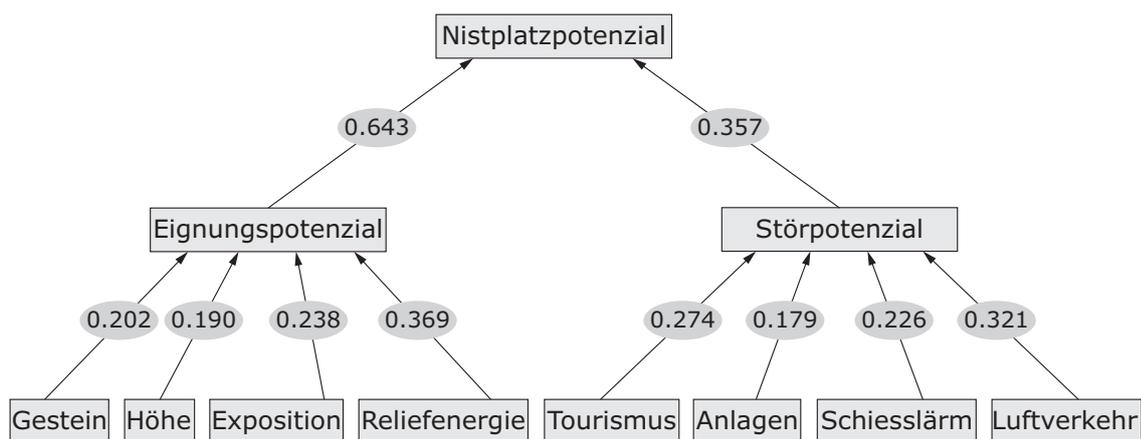


Abbildung 6.3: Hierarchie und Gewichtung der Nistplatzkriterien (Quelle: Eigene Darstellung)

Tabelle 6.16: Kriteriengewichtung aller Experten und gemittelte Gewichtung

Experte	Gestein	Höhe	Expos.	Relief.	Tour.	Anlag.	Schiessl.	Luftv.
Experte 1	0.24	0.14	0.10	0.31	0.01	0.02	0.11	0.06
Experte 2	0.20	0.20	0.05	0.06	0.16	0.16	0.03	0.16
Experte 3	0.37	0.05	0.11	0.30	0.02	0.02	0.06	0.06
Experte 4	0.21	0.07	0.23	0.38	0.05	0.01	0.01	0.04
Experte 5	0.01	0.01	0.04	0.08	0.08	0.17	0.05	0.56
Experte 6	0.10	0.01	0.03	0.02	0.20	0.06	0.52	0.06
Experte 7	0.06	0.08	0.39	0.30	0.09	0.04	0.01	0.03
<b>gemittelt</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.15</b>	<b>0.24</b>	<b>0.10</b>	<b>0.06</b>	<b>0.08</b>	<b>0.11</b>

### 6.2.4 Sensitivitätsanalyse

Dieser Abschnitt beinhaltet die Resultate der statistischen Analyse und der hypsometrischen Kurven. Tab. 6.17 zeigt die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests. Wie den  $P$ -Werten zu entnehmen ist, kann  $H_0$  (die Kriteriengewichtung folgt der Normalverteilung) für alle Kriterien angenommen werden. Die Grundgesamtheit ist jedoch mit nur sieben Werten pro Kriterium sehr klein. Aus diesem Grund werden auch die folgenden Tests mit nichtparametrischen Verfahren durchgeführt.

Tabelle 6.17: Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung der Kriteriengewichtung

	Gest.	Höhe	Expo.	Reli.	Tour.	Anl.	Lärm	Luftv.
N	7	7	7	7	7	7	7	7
Mean	0.171	0.080	0.135	0.209	0.087	0.066	0.115	0.137
Std.	0.123	0.069	0.130	0.149	0.069	0.067	0.183	0.190
Abs. Diff	0.158	0.237	0.300	0.308	0.208	0.272	0.364	0.367
K.-S.-Z	0.418	0.628	0.795	0.816	0.549	0.720	0.962	0.971
<b>p (2-tailed)</b>	<b>0.995</b>	<b>0.825</b>	<b>0.553</b>	<b>0.518</b>	<b>0.923</b>	<b>0.677</b>	<b>0.313</b>	<b>0.302</b>

Die Ergebnisse des Kendall-W-Tests (Tab. 6.18) zeigen, dass  $H_0$  (die Experten stimmen in der Wahl der Kriteriengewichtung überein) nicht abgelehnt wird, dass aber die Übereinstimmung zwischen den Experten mit 0.123 sehr klein ist.

Tabelle 6.18: Kendall-W-Test auf gleiche Grundgesamtheit

Test Statistics		Mean Rank			
N	7	<b>Gest.</b>	5.71	<b>Tour.</b>	4.36
<b>Kendall's W</b>	0.123	<b>Höhe</b>	4.14	<b>Anl.</b>	3.43
<b>Chi-Square</b>	6.009	<b>Expo.</b>	4.71	<b>Lärm</b>	3.64
<b>df</b>	7	<b>Reli.</b>	5.71	<b>Luftv.</b>	4.29
<b>p</b>	<b>0.539</b>				

Der paarweise Vergleich aller Gewichtungen durch den Mann-Whitney-U-Test (Tab. 6.19) zeigt sehr unterschiedliche Übereinstimmungen. Die grösste Differenz besteht zwischen Experte 2 und den Experten 5 und 6 (beide 0.38). Beinahe vollständig stimmen die Experten 1/3, 4/5 und 4/6 überein (alle 0.96). Der gemittelten Gewichtung am nächsten liegen die Experten 1 und 2 (0.8), während Experte 6 kaum eine Übereinstimmung mit der gemittelten Gewichtung aufweist (0.16).

Tabelle 6.19: Paarweiser Vergleich der Gewichtungen durch den Mann-Whitney-U-Test

	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	gem.
<b>Experte 1</b>	0.72	0.96	0.65	0.44	0.57	0.72	0.80
<b>Experte 2</b>	-	0.65	0.88	0.38	0.38	0.57	0.80
<b>Experte 3</b>	-	-	0.80	0.80	0.65	0.88	0.28
<b>Experte 4</b>	-	-	-	0.96	0.96	0.88	0.38
<b>Experte 5</b>	-	-	-	-	0.88	0.88	0.20
<b>Experte 6</b>	-	-	-	-	-	0.80	0.16
<b>Experte 7</b>	-	-	-	-	-	-	0.23

Die hypsometrische Darstellung der Nistplatzzeignung und des Flächenverbrauchs (Abb. 6.4 visualisiert die Resultate des Mann-Whitney-U-Tests. Für diese Darstellung wurden zuerst alle berechneten Eignungswerte in aufsteigender Reihenfolge aufgelistet. Jeder Eignungswert bedeutet (aufgrund der Grösse der Rasterzellen) einen Flächenverbrauch von 125 m<sup>2</sup>. Die hypsometrische Kurve zeigt, welcher prozentuale Anteil der gesamten Nistplatzfläche bis zum Erreichen eines bestimmten Eignungswertes verbraucht wird. Neben der gemittelten Gewichtung und der ungewichteten Modellierung sind in Abb. 6.4 die Gewichtungen aller Experten abgebildet. Aus den Summenhäufigkeitskurven wird sichtbar, dass Experte 6 die Störeinflüsse äusserst schwach gewichtet hat, während sie bei Experte 7 sehr stark berücksichtigt werden.

### 6.2.5 Empfehlung

Wie in der Methodik erwähnt, wird die Empfehlung in Form einer Eignungskarte abgegeben. Hierbei ist die Visualisierung entscheidend für die Wahl geeigneter Alternativen, denn die Klassierung der Ergebniswerte prägt das Bild der räumlichen Verteilung und Qualität der potenziellen Nistplätze. Bei der Wahl der Klassengrenzen kann ein Histogramm der Ergebniswerte als Unterstützung dienen. Abb. 6.5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Nistplatzzeignung im gesamten Untersuchungsgebiet. Bei einer Klassierung in Schritten von 0.5 erinnert die Form der Verteilung an eine Normalverteilung. Mit dieser Klassierung wurde auch der Kolmogorov-Smirnov-Test (Tab. 6.20) durchgeführt.  $P = 0.469$  zeigt, dass die Eignungswerte normalverteilt sind.

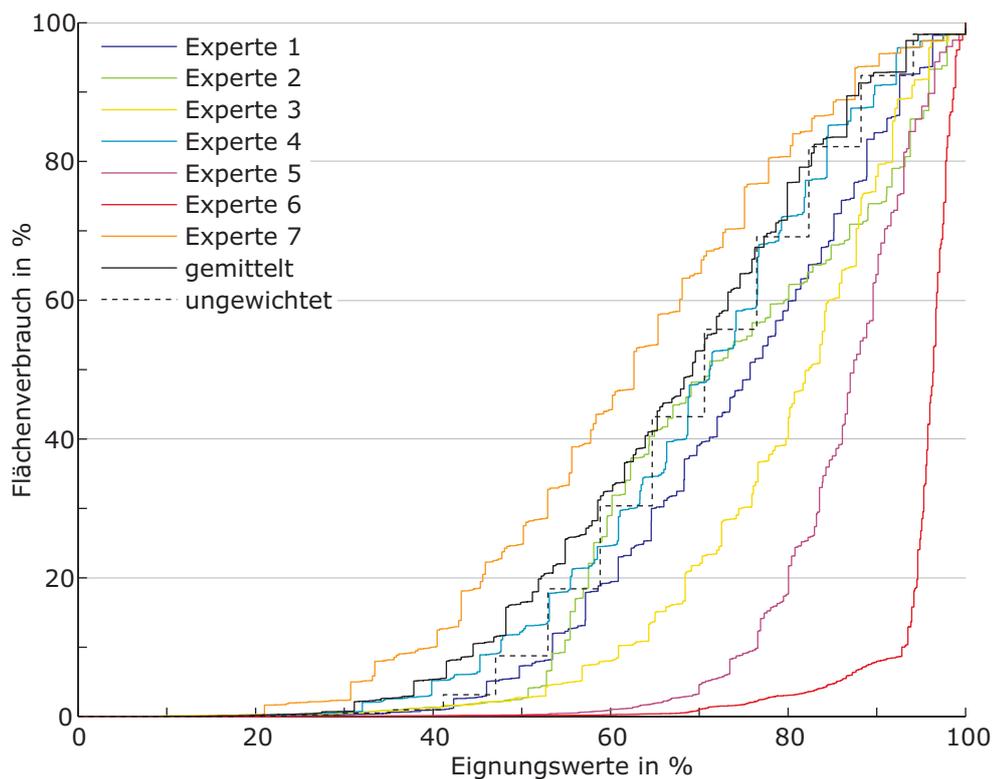


Abbildung 6.4: Hypsometrische Darstellung der Expertengewichtungen: Vergleich zwischen Flächenverbrauch und Eignungswert. Experte 6 erreicht schon mit einem geringen Flächenverbrauch einen Eignungswert von über 90%, im Gegensatz zu Experte 7, der für das Erreichen der 90%-Marke etwa 95% der Fläche benötigt (Quelle: Eigene Darstellung).

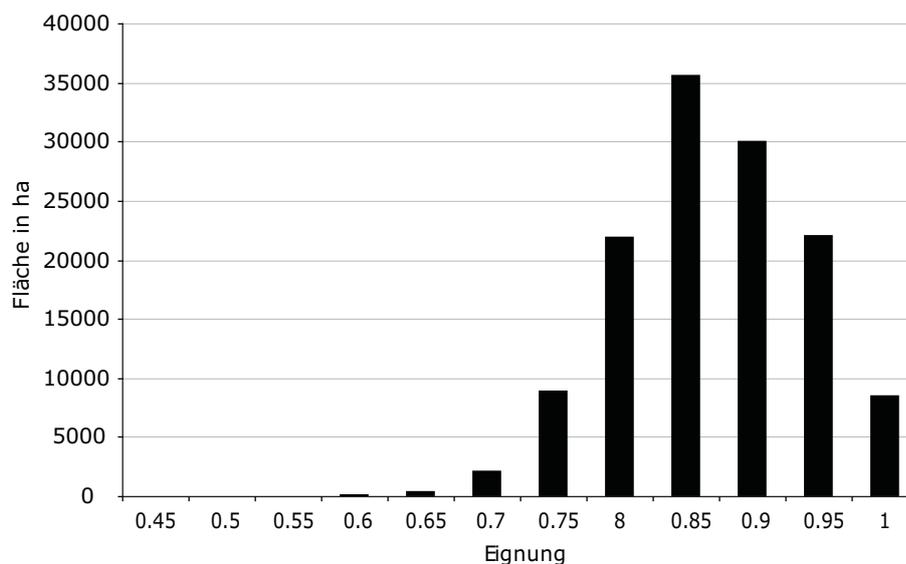


Abbildung 6.5: Werteverteilung des Nistplatzpotenzials (Quelle: Eigene Darstellung)

Tabelle 6.20: Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung des Nistplatzpotenzials

<b>Nistplatzpotenzial</b>	
<b>N</b>	12
<b>Mean</b>	10813.292
<b>Std.</b>	13121.558
<b>Abs. Diff</b>	0.245
<b>K.-S.-Z</b>	0.848
<b>p (2-tailed)</b>	<b>0.469</b>

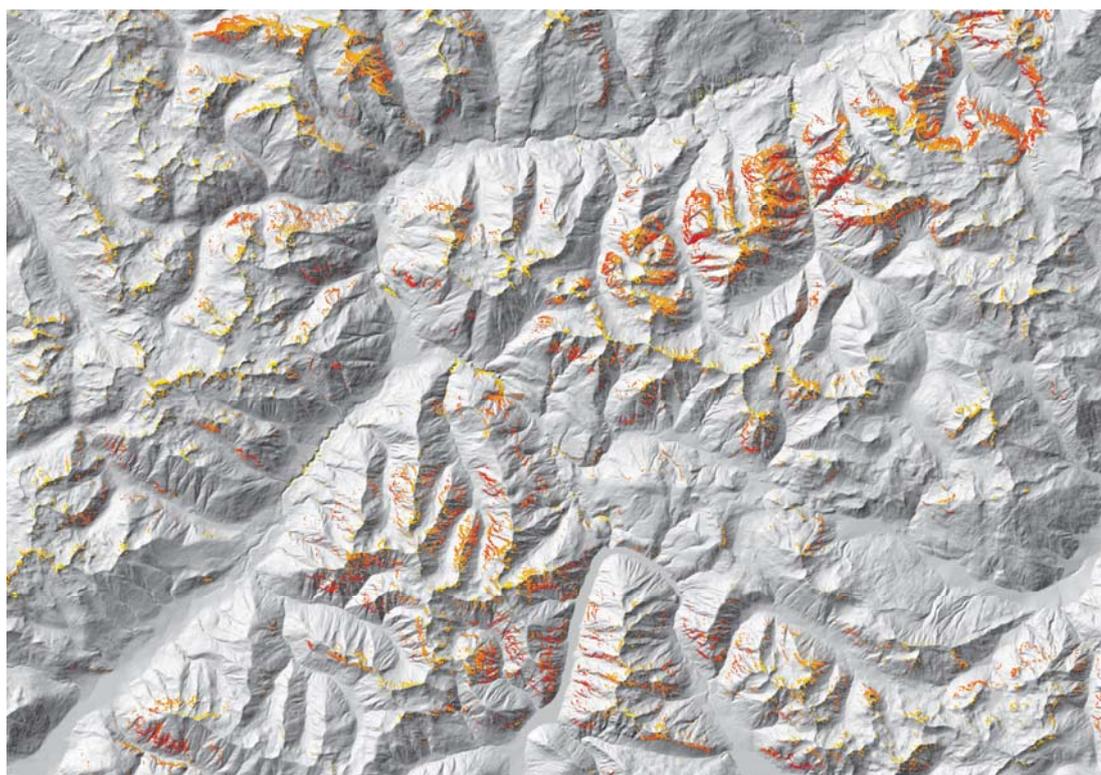
Die Werte des berechneten Nistplatzpotenzials bewegen sich zwischen 0.4 und 1. Bei der im Histogramm verwendeten Klassierung ergibt dies 12 Klassen. Vom graphischen Aspekt her macht es jedoch keinen Sinn, so viele Klassen beizubehalten oder gar eine kontinuierliche Farbgebung zu verwenden. Da die Fläche einzelner Alternativen sehr klein ist, können so viele Klassen nicht von Auge unterschieden werden. Auch ist die Aussagekraft der Werte nicht genügend gross, um 12 Klassen zu rechtfertigen. So fiel die Wahl für die Potenzialkarte auf drei Klassen. Diese können graphisch so dargestellt werden, dass sie von Auge gut unterschieden werden können und besitzen genügend Aussagekraft, um zwischen Alternativen mit geringem, mittlerem und hohem Potenzial zu unterscheiden. Die Klassengrenzen liegen bei 0.8 und bei 0.9 (Tab. 6.21). Mit dieser Einteilung bilden die Alternativen mittlerer Eignung die grösste Klasse, während die stark gestreuten Alternativen geringerer Eignung zusammengefasst und die Alternativen mit dem höchsten Potenzial hervorgehoben werden.

Tabelle 6.21: Klassierung der Eignungswerte des Nistplatzpotenzials

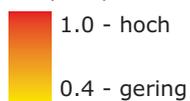
<b>Potenzial</b>	<b>Fläche in km<sup>2</sup></b>	<b>Fläche in %</b>	<b>Eignungswert</b>
<b>gering</b>	448.5	34.64	<b>0.4-0.8</b>
<b>mittel</b>	632.24	48.83	<b>0.8-0.9</b>
<b>hoch</b>	214	16.53	<b>0.9-1</b>

In Abb. 6.6 ist das Nistplatzpotenzial des Bartgeiers in der Umgebung des Nationalparks dargestellt. Die Klassierung erfolgt wie oben erwähnt, wobei rot eingefärbte Flächen hohes, gelb eingefärbte Flächen geringes Potenzial bedeuten. Die GIS-Layer des Nistplatzpotenzials sowie des Eignungs- und des Störpotenzials sind im ArcReader-Format auf der Daten-CD enthalten.

Die Hot Spot-Analyse (Abb. 6.7) zur visuellen Unterstützung der Entscheidungsfindung zeigt für jeden potenziellen Nistplatz, ob in seiner Umgebung (1 km Radius) eher hohes oder eher geringes Nistplatzpotenzial besteht. Auf der Karte zeigen sich also Nistplatzcluster mit speziell hoher oder geringer Eignung. Mit einbezogen sind die Stärke der Clusterung (d. h. die Grösse der Cluster) sowie die Eignung der im Cluster enthaltenen Nistplätze



Nistplatzpotenzial



0 10 km

Masstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Abbildung 6.6: Kartenausschnitt des Nistplatzpotenzials

im Vergleich zum erwarteten Durchschnittswert (0.681, bei einer Standardabweichung von  $\sigma=4.574$ ). Verhältnismässig gute Eignung (zwei Standardabweichungen über dem Durchschnitt) wird durch rote, verhältnismässig schlechte Eignung (zwei Standardabweichungen unter dem Durchschnitt) durch blaue Einfärbung ausgedrückt.

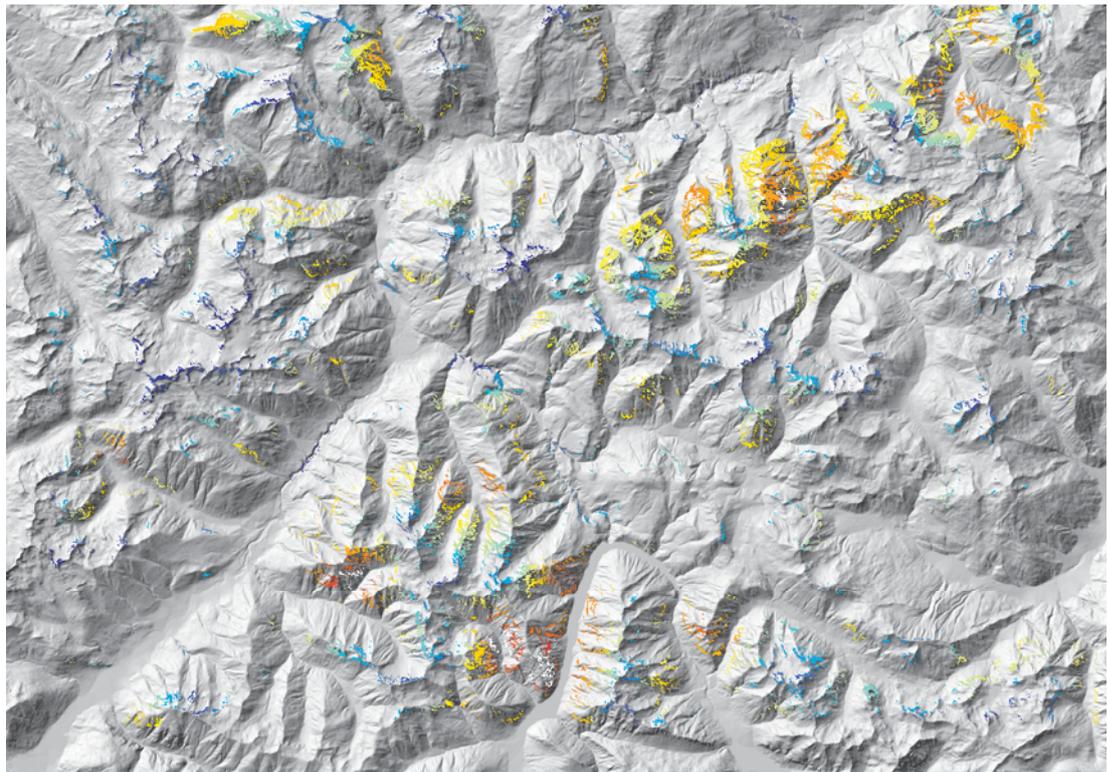


Abbildung 6.7: Hot Spot-Analyse des Nistplatzpotenzials

### 6.3 Validierung

Das Ziel dieses Abschnittes ist es, das Nistplatzmodell operationell zu validieren, d. h. zu zeigen, dass die Modellergebnisse den Anforderungen an das Modell gerecht werden. In der Literatur herrscht Unklarheit über das Konzept der Validierung (Rykiel 1996), weshalb der Begriff an dieser Stelle kurz definiert wird. Rykiel (1996) versteht unter Validierung „*a demonstration that a model within its domain of applicability possesses a satisfactory range of accuracy consistent with the intended application of the model*“ im Unterschied zur Verifikation, die er als „*a demonstration that the modeling formalism is correct*“ definiert (Rykiel 1996).

In der Schweiz gibt es zur Zeit erst wenige Brutpaare und Nistplätze. Auch sind die bekannten historischen Nistplätze grösstenteils nur ungenau lokalisiert. Dies erschwert die Validierung des Nistplatzmodells beträchtlich. Rykiel (1996) listet eine Reihe von Methoden zur Validierung auf. Zwei davon kommen in dieser Arbeit zur Anwendung, die *event validity* und die *face validity*. Bei der ersten Methode werden die Modellierungsergebnisse

mit der Realität verglichen. Bei der zweiten Methode wird die Gültigkeit des Modells durch Experten beurteilt. Beide Methoden kommen bei der Validierung des Nistplatzmodells und des Habitatmodells (Kapitel 7) zum Zug.

### 6.3.1 *Event validity*

Die Technik der *event validity* wird angewendet, um zu überprüfen, ob die *events* des Modells (potenzielle Nistplätze) den *events* der Realität (aktuelle und historische Nistplätze) entsprechen (Rykiel 1996).

#### Vergleich mit aktuellen Nistplätzen

Die zwölf aktuellen Nistplätze wurden mit den Modellierungsergebnissen verglichen. Abb. 6.8 zeigt (nummeriert von 1-12) die Nistplätze und das modellierte Nistplatzpotenzial im Umkreis von 500 m. Es ist ersichtlich, dass alle Nistplätze innerhalb von oder unmittelbar neben modellierten Nistplatzzellen liegen. Dabei ist anzumerken, dass die Nistplätze Nr. 8/9 und Nr. 11/12 relativ nahe beieinander liegen. Auffällig ist, dass das Nistplatzpotenzial in der Umgebung der Bündner Nistplätze (Nr. 1-9) höher ausfällt, als in der Umgebung der Walliser Nistplätze (Nr. 10-12). Ein Grund dafür ist, dass die Walliser Nistplätze auf vergleichsweise geringer Höhe liegen und deshalb im Gegensatz zu den Bündner Nistplätzen in eine tiefe Eignungsklasse des Kriteriums „Höhe“ fallen.

Um auszuschliessen, dass die Lage der Nistplätze nur zufälligerweise den Modellierungsergebnissen entspricht, wurden mit *create random points* (ArcGIS) zwölf Zufallspunkte (Nr. 13-24) generiert (siehe Abb. 6.9). Von den Zufallspunkten liegen nur zwei in unmittelbarer Nähe von modellierten Nistplätzen, acht Zufallspunkte weisen in ihrer Umgebung gar kein Nistplatzpotenzial auf.

Insgesamt ist das modellierte Nistplatzpotenzial im Untersuchungsgebiet rein flächenmässig betrachtet relativ hoch. Die aktuellen Nistplätze liegen nicht nur in oder sehr nahe bei Rasterzellen mit Nistplatzpotenzial, auch ihre Umgebung weist Geländestrukturen mit Nistplatzpotenzial auf. Beim Betrachten der Umgebung der zufällig gewählten Punkte zeigt sich ein anderes Bild. Abb. 6.9 lässt erkennen, dass nur ein Zufallspunkt in einer Zone mit grossem Nistplatzpotenzial liegt. Alle anderen Zonen weisen kaum oder gar kein Potenzial auf. Abb. 6.8 und 6.9 zeigen, dass das Nistplatzpotenzial in der Umgebung der zufällig gewählten Punkte flächenmässig sehr viel geringer ist als in der Umgebung der aktuellen Nistplätze.

Abb. 6.10 zeigt ergänzend die Ergebnisse der Hot Spot-Analyse in der Umgebung der aktuellen Nistplätze. Der Vergleich zwischen Abb. 6.8 und Abb. 6.10 verdeutlicht, was mit der Hot Spot-Analyse untersucht wird. Besser geeignete Nistplätze (Ausschnitt um Nistplatz

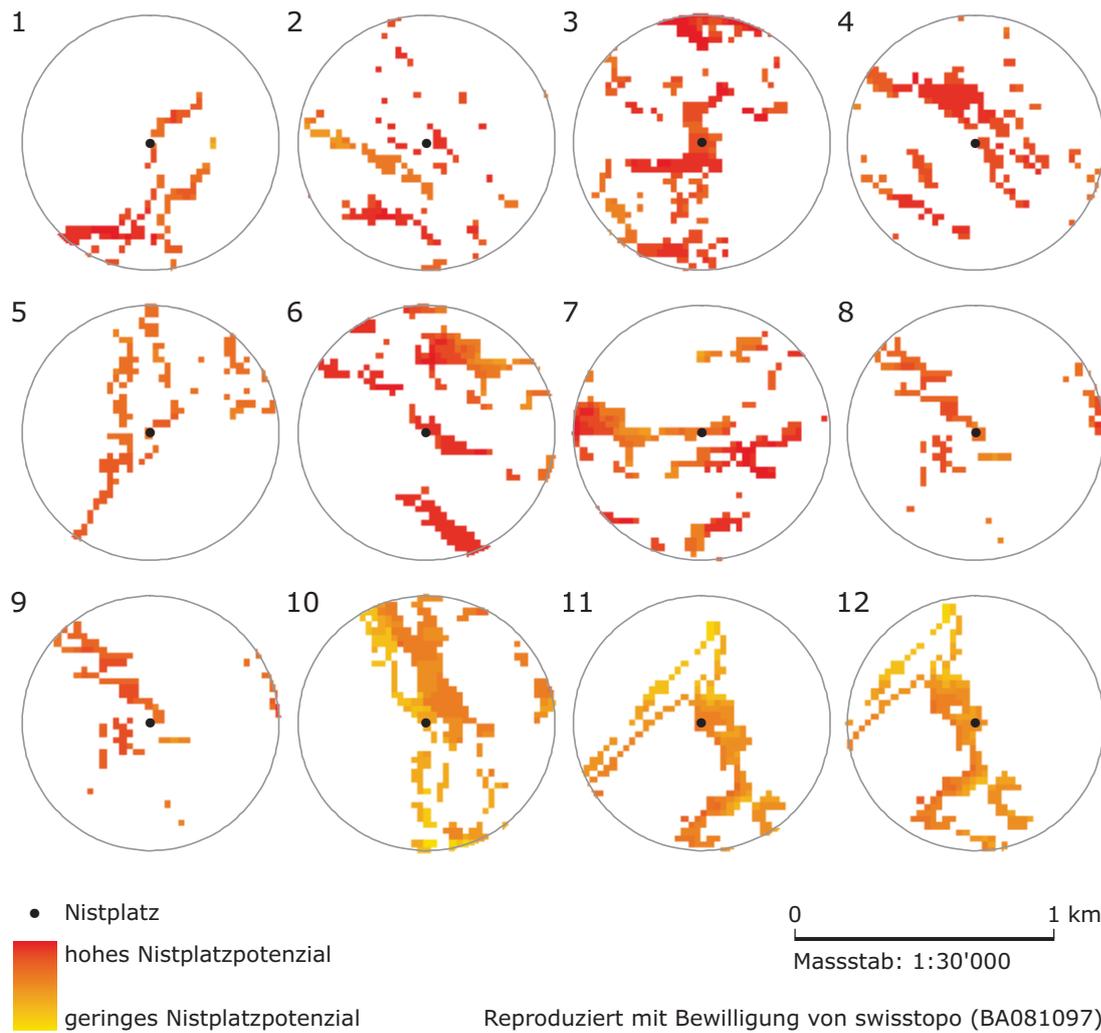


Abbildung 6.8: Aktuelle Nistplätze und modelliertes Nistplatzpotenzial im Umkreis von 500 m

Nr. 6 oben), die in ihrer Umgebung kein hohes Nistplatzpotenzial aufweisen, werden in der Hot Spot-Analyse unter Umständen geringer eingestuft als Nistplätze geringerer Eignung (Ausschnitt um Nistplatz Nr. 6 unten), in deren Umgebung hohes Nistplatzpotenzial vorhanden ist. Wiederum zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Bündner und den Walliser Nistplätzen. Während die Bündner Nistplätze (Nr. 1-9) alle in Gebieten mit eher hohem bis sehr hohem Nistplatzpotenzial liegen, weisen die Walliser Nistplätze (Nr. 10-12) in ihrer Umgebung unterdurchschnittliches Nistplatzpotenzial auf.

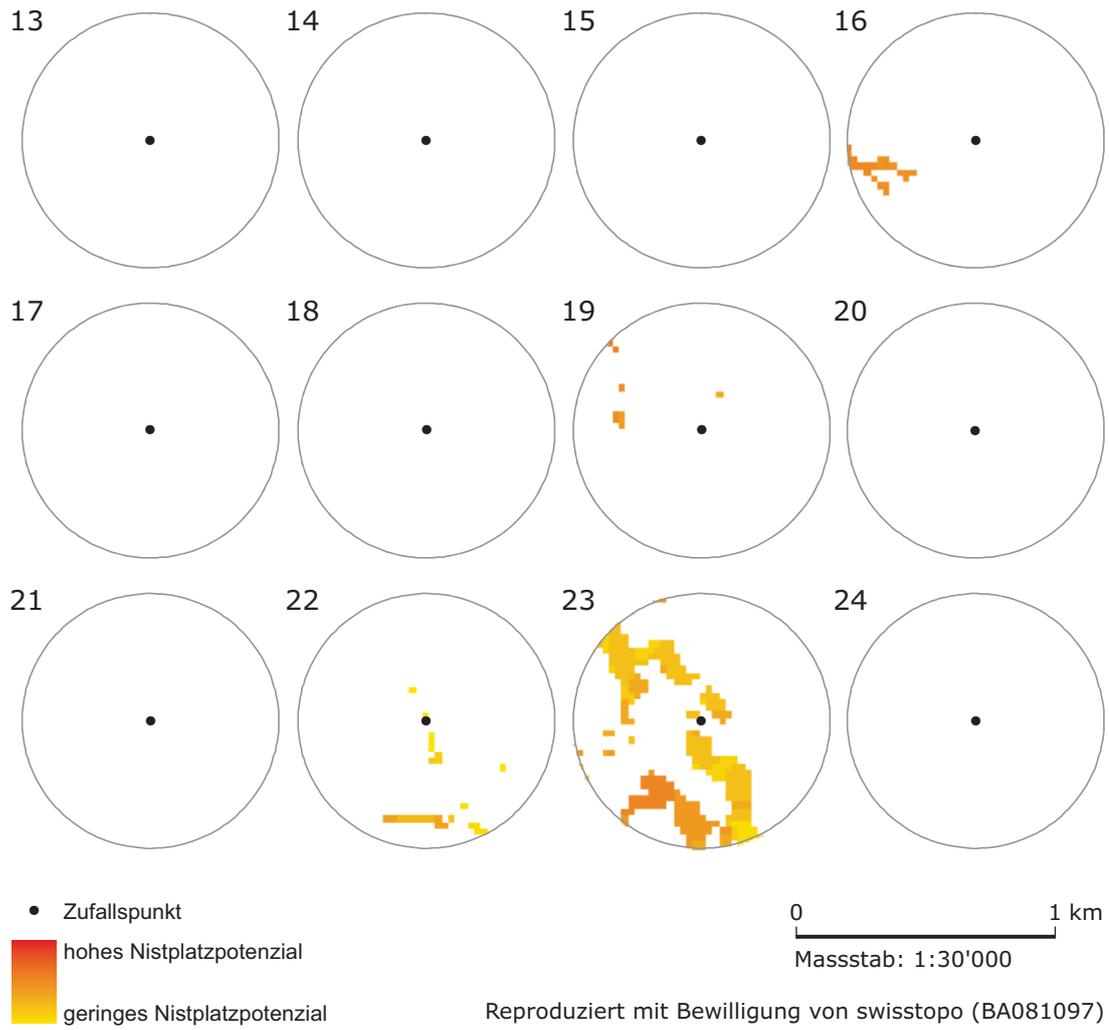


Abbildung 6.9: Zufallspunkte und modelliertes Nistplatzpotenzial im Umkreis von 500 m

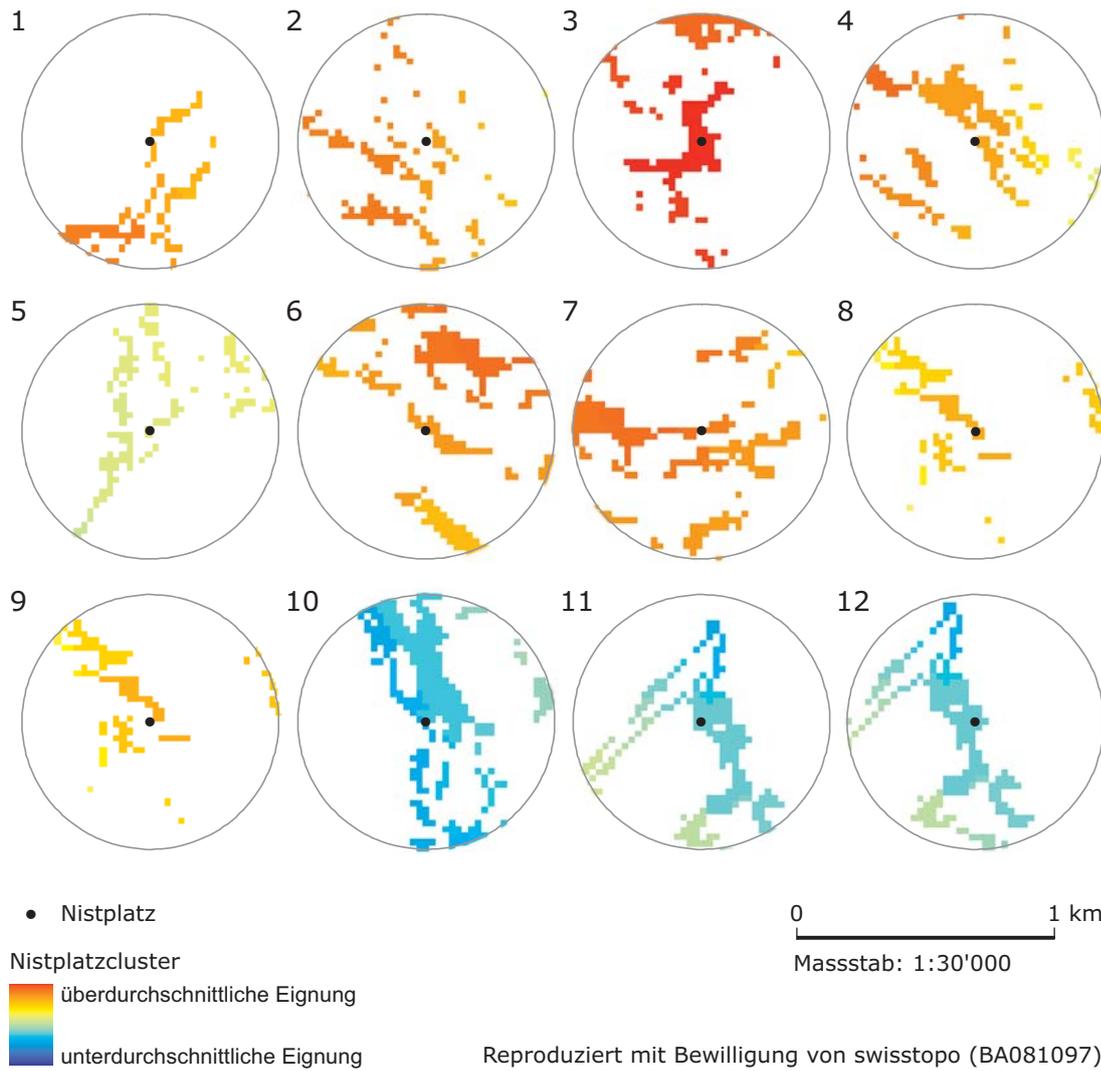


Abbildung 6.10: Aktuelle Nistplätze und Hot Spot-Potenzial im Umkreis von 500 m

### Vergleich mit historischen Nistplätzen

Nänni verfasste 1990 eine Zusammenstellung der bekannten historischen Bartgeiernistplätze, Sichtungen, Abschüsse und anderer Bartgeierfunde im 19. Jh. im Kanton Graubünden mit Ortsangaben auf der Ebene von Flur- und Gemeindennamen. Die Nistplätze sind in Abb. 6.11 entsprechend der Namensplatzierung im SwissNames100 rot eingezeichnet. Deshalb kommen auch viele Nistplätze im Talgrund zu liegen. Eine exakte Platzierung war nicht möglich, da die genaue Lokalisierung der historischen Nistplätze aufgrund der vorhandenen Textquellen nicht nachvollziehbar ist.

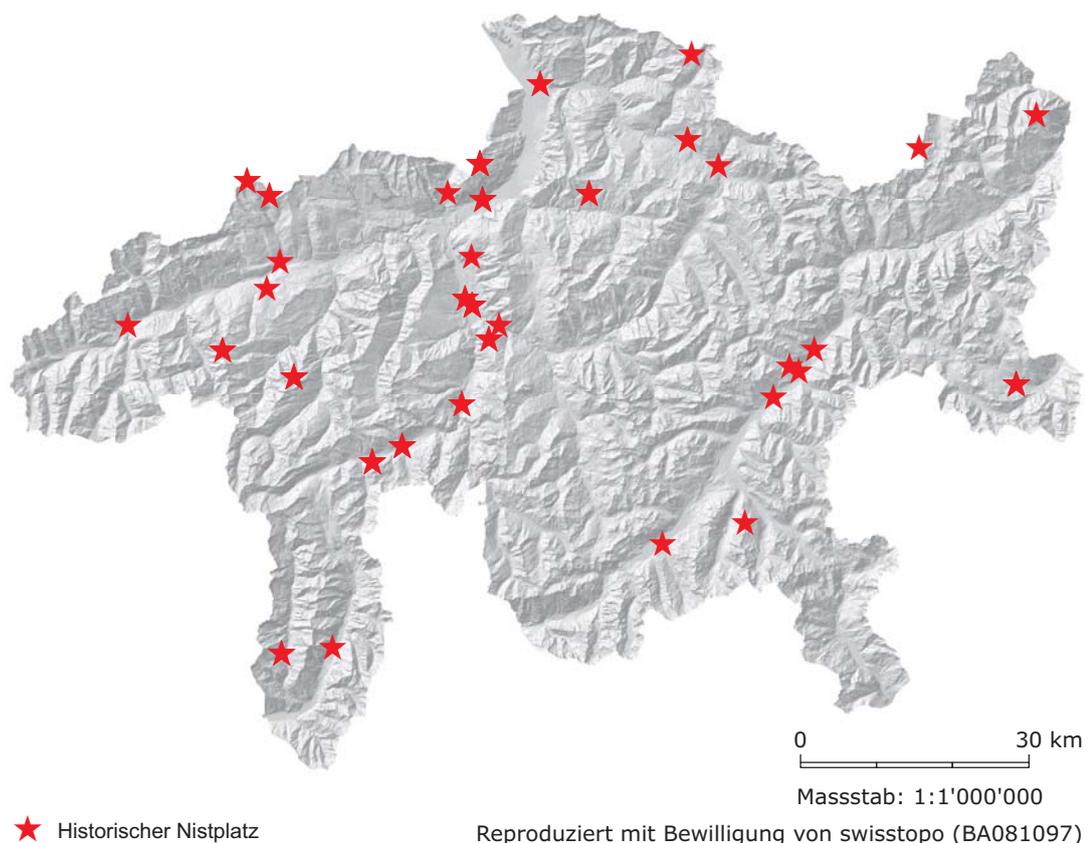


Abbildung 6.11: Historische Bartgeiernistplätze des 19. Jh. im Kanton Graubünden nach Nänni (1990)

### Interpretation

Der Vergleich zufälliger Punkte und aktueller Nistplätze hat gezeigt, dass ein signifikanter Unterschied im Nistplatzpotenzial der nahen Umgebung besteht. Diese Unterschiede lassen den Schluss zu, dass die Zonen um die aktuellen Nistplätze nicht nur zufälligerweise ein hohes Nistplatzpotenzial aufweisen. Die Ergebnisse der Modellierung stimmen zwar nicht immer zellengenau mit der Realität überein. Betrachtet man jedoch die Ergebnisse im Sinne

zusammenhängender Flächen- bzw. Felskomplexe, kann man erkennen, dass das Modell Gebiete mit Nistplatzpotenzial wiedergeben kann. Wichtig als Entscheidungsgrundlage für die Empfehlung sind folglich nicht einzelne Zellen, sondern Gebiete, welche grosse Flächen oder klippenartige Strukturen mit Nistplatzpotenzial aufweisen.

Den kleinräumigen Abweichungen der Modellierungsergebnisse von den aktuellen Nistplätzen können konzeptuelle Fehler, aber auch Unsicherheiten in den Daten zu Grunde liegen. Anfällig auf Unsicherheiten sind vor allem die Faktoren Untergrund, Hangneigung und Exposition. Die Lage der aktuellen Nistplätze ist auf 10 m genau angegeben. Die Koordinaten sind der Landeskarte 1:25'000 entnommen, entsprechen also der Genauigkeit des VECTOR25-Datensatzes. Die Lagegenauigkeit der Vektordaten beträgt zwischen 3 m und 8 m. Durch die Rasterisierung des VECTOR25 entstehen zusätzliche Abweichungen bei der Lagegenauigkeit der Primärflächen. Deshalb kann es theoretisch vorkommen, dass ein aktueller Nistplatz im VECTOR25 ausserhalb von Felsgebiet liegt. Weiter ist die Höhen Genauigkeit des DHM25 an sehr steilen Stellen, also explizit bei potenziellen Nistplätzen, reduziert. Dies wirkt sich auf die Genauigkeit abgeleiteter Parameter wie Exposition und Hangneigung aus. So wird vor allem die Hauptexposition einer Felswand abgebildet. Feinstrukturen im Gelände wie Felsvorsprünge und -einschnitte können nicht berechnet werden und gehen verloren. Dadurch ist es möglich, dass sich die berechnete Exposition eines Nistplatzes stark von der durch den Experten bestimmten Exposition unterscheidet. Auch diese Einschränkungen führen dazu, dass das Nistplatzpotenzial nicht anhand einzelner Zellen betrachtet werden kann, sondern in Form von Felskomplexen wiedergegeben wird.

Der Vergleich der Potenzialwerte mit den Hot Spot-Werten zeigt, dass eine Hot Spot-Analyse hilfreich sein kann, um grössere Gebiete mit hohem Potenzial zu finden. Der Parameterwahl kommt hierbei grosse Bedeutung zu. Dass die Walliser Nistplätze ein unterdurchschnittliches Potenzial aufweisen, ist darauf zurückzuführen, dass die nächsten grösseren Felskomplexe einige Kilometer entfernt liegen. Sie liegen jedoch immer noch im Bereich des Kerngebiets. Dies zeigt, dass eine Vergrösserung des Suchradius (im vorliegenden Fall 1 km) auf ca. 5 km angebracht wäre. Die Hot Spot-Analyse kann dann jeweils nur in einem kleinen Gebiet durchgeführt werden, da sich die Rechenzeit mit zunehmendem Suchradius sehr stark erhöht.

Die Zusammenstellung der historischen Nistplätze von Nänni (1990) könnte zusätzlich zu den aktuellen Nistplätzen dazu dienen, das Modell zu validieren. Leider sind die Angaben aus den historischen Texten sehr ungenau. So ist es nicht möglich, die Nistplätze genauer als auf der Ebene von Gemeinde- oder Flurnamen zu lokalisieren. Dies reicht nicht für einen direkten Vergleich mit den Modellierungsergebnissen. Eine Validierung anhand historischer Nistplätze kann somit nicht vorgenommen werden. Abb. 6.11 zeigt aber, dass Bartgeier früher im ganzen Kanton Graubünden verbreitet waren.

### 6.3.2 *Face validity*

Mit der *face validity* wird überprüft, ob das Modell von Experten akzeptiert wird. Mit diesem Test wird gezeigt, ob die Logik des Modells und die Input-Output-Beziehungen für den Zweck des Modells vernünftig erscheinen (Rykiel 1996).

D. Jenny und J. P. Müller wurden gebeten, für die Modellvalidierung jeweils einen Ausschnitt des Modells (Kanton Graubünden) zu begutachten. Drei Fragen wurden zum Nistplatzpotenzial gestellt:

WIRD DAS NISTPLATZPOTENZIAL DURCH DAS MODELL ERFASST?

WELCHE FAKTOREN WERDEN GUT, WELCHE SCHLECHT ABGEBILDET?

GIBT ES FAKTOREN, DIE GAR NICHT BERÜCKSICHTIGT WURDEN?

Die Antworten der Experten sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst. Die exakten, hauptsächlich in Stichworten gehaltenen Antworten sind in Anhang E wiedergegeben.

**David Jenny** „Das Nistplatzpotenzial des Bartgeiers wird grundsätzlich gut erfasst.“ Gut abgebildet werden nach D. Jenny die Ansprüche an den Brutfelsen, d. h. Höhe, Wandhöhe, Exposition und Reliefenergie. Schlaf- und Brutplätze sollten nicht über eine Höhe von 3200 m hinaus gehen. Auch sollten sie sich nicht direkt am Grat von Felsklippen befinden, sondern mindestens 80 m tiefer liegen. Gänzlich fehlende Faktoren sind laut D. Jenny das Nahrungsangebot, welches die Einstände von Steinwild und Gämsen und die Sömmungsgebiete von Schafen umfasst. Weiter fehlen die Verbreitung und die Brutplätze von Steinadlern, welche die Bartgeier konkurrenzieren. D. Jenny schlägt ausserdem vor, das Nistplatzpotenzial alternativ in „potenzielle Brutplätze“ (hohe Werte) und „Angebot für Schlafplätze und Sitzwarten“ (tiefe Werte) zu unterteilen.

**Jürg Paul Müller** Das Nistplatzpotenzial wird laut J. P. Müller grundsätzlich erfasst. Er erachtet das Modell als eher konservativ und denkt, dass nur die optimalsten Orte angezeigt werden. Die historischen Brutplätze werden, so J. P. Müller, nicht besonders gut wiedergegeben. Einen spezifischen Grund dafür kann er jedoch nicht erkennen. Ein fehlender Faktor ist der Niederschlag.

#### **Interpretation**

Durch die Antworten der Experten wird sichtbar, dass nicht immer Einigkeit herrscht über die Bedingungen, welche ein potenzieller Nistplatz erfüllen muss, um als geeignet zu gelten. Unklar ist vor allem, wie stark der Einfluss anthropogener Störungen ist und welche

Störungen sich überhaupt als solche bemerkbar machen. Die gegensätzlichen Ansichten (eher zu grosszügig vs. eher konservativ) können aber als Zeichen genommen werden, dass bei der Modellierung des Nistplatzpotenzials ein gutes Mittelmass im generellen Verhältnis Eignung/Störung gefunden wurde. Auch hier kann interpretiert werden, dass das Nistplatzpotenzial nicht zellengenau wiedergegeben wird, sondern in grösseren Zusammenhängen zu Tage tritt. Die fehlenden Faktoren (Nahrungsangebot und Niederschlag) wurden im Verlaufe der Arbeit mehrmals diskutiert und analysiert. Aufgrund fehlender Datensätze konnten sie jedoch leider nicht in die Modellierung mit einbezogen werden.

## 6.4 Diskussion

In den folgenden Abschnitten werden die Resultate der MCE interpretiert und diskutiert. Die Bildung der Entscheidungsregeln und die Kriteriengewichtung erfolgten mit der AHP-Methode, welche beide Arbeitsschritte kombiniert. Deshalb werden die Ergebnisse dieser beiden Schritte gemeinsam diskutiert.

### 6.4.1 Evaluationskriterien und *constraints*

Eine Auswahl an Kriterien zu treffen und deren Klassierung vorzunehmen ist eine komplexe Aufgabe. Im vorliegenden Fall war eine Anlehnung an die statistische Beschreibung der Brutplätze von Donazar et al. (1993) zwar möglich, es gelang aber nicht, die dort beschriebenen Kriterien direkt mit GIS umzusetzen. Dazu sind einerseits die topographischen und klimatischen Begebenheiten zu verschieden, andererseits stehen die verwendeten Daten nicht in der benötigten Form zur Verfügung oder können nicht flächendeckend analysiert werden. Die Kriterien, welche letzten Endes in die Analyse miteinbezogen wurden, sind ein Kompromiss aus Literatur- und Expertenwissen und aus den Möglichkeiten, welche die vorhandenen Daten bieten.

Bei den Eignungskriterien fehlt eindeutig der Einbezug der Nahrungsverfügbarkeit. Diese ist ein äusserst wichtiger Faktor bei der Nistplatzwahl. Da aber keine schweizweiten Daten über die verschiedenen Nahrungsquellen des Bartgeiers vorhanden sind bzw. kein Zugang zu diesen Daten erreicht werden konnte, wird das Nahrungspotenzial nur indirekt und über das Habitatmodell modelliert. Das Nistplatzpotenzial gründet folglich auf Topographie und Klima, nicht aber auf dem Potenzial für Nahrung. Einerseits ist das eine grosse Einbusse bei der Realitätsnähe des Modells, andererseits kann diese Einbusse wieder relativiert werden: Das Nahrungsangebot ist in der Schweiz unterschiedlich gross, es wirkt jedoch nicht als limitierender Faktor.

Donazar et al. (1993) und Gavashelishvili und McGrady (2006) fanden in ihren Studien einen Zusammenhang zwischen der Nistplatzwahl und der Distanz zu Strassen bzw. der

Dichte von Strassennetzen in der Umgebung. Dieser Faktor kann einen Indikator für die Erschliessung eines Gebietes darstellen. Er wird jedoch in der vorliegenden Modellierung nicht berücksichtigt, denn das Vorhandensein einer Strasse in der Nähe eines Nistplatzes bedeutet nicht zwingend eine Störung. Im Livignotal gibt es oberhalb der vielbefahrenen Autostrasse einen Nistplatz, welcher seit Jahren erfolgreich bebrütet wird. Das Brutpaar hat sich an den Verkehrsfluss gewöhnt und fühlt sich dadurch nicht gestört. Erfahrungen zeigen, dass kleine Wanderwege mit nicht an den Weg gebundenen Fussgängern ein grösseres Störpotenzial besitzen (D. Jenny 2007, mdl. Information).

Solche dynamischen Störungen durch Tourismus und Flugverkehr für das ganze Untersuchungsgebiet zu modellieren, ist sehr schwierig bis unmöglich. So wurde die Annahme getroffen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Störung durch Flugobjekte und Tourismus von Zentren aus abnimmt, wobei die Zentren hier durch Flughäfen, SAC-Hütten und andere Berghütten dargestellt werden. Auch diese Kriterienwahl bietet nur eine Annäherung an die Realität. Sie eignet sich nur bedingt für die Analyse eines kleinen Gebietes, kann aber durchaus als Grundlage der Potenzialanalyse in einem grösseren Untersuchungsgebiet dienen.

Ebenso wichtig wie die Wahl der Kriterien ist die Einteilung derselben in Klassen unterschiedlicher Eignung und das Setzen von *constraints*. Ändert man die Eignung eines Kriteriums kann eine Alternative von geeignet zu ungeeignet wechseln. Die Schwierigkeit besteht darin, abstrakten, teilweise indirekten Zusammenhängen konkrete Werte zuzuweisen. Die Grenzen zwischen verschiedenen Klassen sind immer fliegend. Ihnen könnte man durch *fuzzy logic* (Jiang und Eastman 2000) besser gerecht werden, was aber auch grösseren Rechenaufwand und erhöhte Modellkomplexität mit sich bringen würde.

Jeder Experte hat seine eigenen Ansichten, welche Klassierung eines Kriteriums die beste ist. In einigen Fällen gehen diese Ansichten weit auseinander, in anderen Fällen sind sie beinahe deckungsgleich. Letzten Endes ist die Wahl und Klassierung von Kriterien immer eine von der persönlichen Meinung abhängige, mit Unsicherheiten behaftete Angelegenheit. Dies gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, es soll jedoch nicht davon abhalten, Entscheidungen zu fällen und die Modellierung durchzuführen.

### 6.4.2 Entscheidungsregeln und Kriteriengewichtung

Experten tun sich oft schwer damit, ihre Meinung in Zahlen zu fassen. Das AHP-Modell bietet eine gute Alternative, bei der jeweils nur zwei Kriterien miteinander verglichen werden müssen. Mit den gewählten Ebenen lassen sich die Kriterien zueinander in ein Verhältnis setzen, das weder zu komplex noch zu stark vereinfacht ist. Es liesse sich diskutieren, ob man die Kriterien „Exposition“ und „Reliefenergie“ durch das Kriterium „Thermik“ ersetzen

könnte, welches die beiden vorher genannten Kriterien in einer weiteren Ebene beinhaltet. Darauf wurde verzichtet, um die Komplexität des Modells gering zu halten.

Auch wenn jeweils nur zwei Kriterien miteinander verglichen werden, sollte der Experte ein *overall ranking* der Kriterien im Hinterkopf behalten, um sich beim Bestimmen der relativen Gewichte nicht zu sehr in den einzelnen Kriterien zu verlieren. Bei der Befragung zeigte sich, dass 9 relative Vergleichsstufen zu viel sind. Experten, welche den Spielraum aller Varianten ausschöpften, neigten eher dazu, inkonsistente Gewichtungen vorzunehmen. Eine Einteilung in 5 mögliche relative Gewichtungen würde den Anforderungen genügen.

Die Gewichtungen der sieben Experten unterscheiden sich teilweise deutlich. Vor allem lässt sich eine Tendenz erkennen zwischen Experten, welche die Eignungsfaktoren stärker gewichten als die Störfaktoren und umgekehrt. Weiter wurde ersichtlich, dass die Gewichtung sehr stark von der Interpretation der Kriterien durch die Experten abhängt. Gerade wenn die Zeit fehlt, sich mit jedem Experten persönlich die Bedeutung und die Aussage der Kriterien zu vergegenwärtigen, ist eine einfache, klare Modellstruktur und eine gute Beschreibung der Kriterien und ihrer Aussage für das Modell unumgänglich, um Missverständnisse zu vermeiden.

### 6.4.3 Sensitivitätsanalyse

Die hypsometrische Darstellung zeigt, dass sich unterschiedliche Gewichtungen in einer Änderung der Ergebnisse niederschlagen. Die Kurven der Experten 2 und 6 zeigen die grösste Differenz. Ein Blick auf Tab. 6.16 zeigt, dass Experte 6 die Störfaktoren mit 0.84 deutlich stärker gewichtet hat als Experte 2 mit 0.51. Eine Änderung in der Faktorgewichtung macht sich im Endergebnis bemerkbar. Das Modell ist somit empfindlich gegenüber unterschiedlichen Präferenzen. Eine Mittelung der Präferenzen macht Sinn. Es zeigt sich allerdings, dass sich die gemittelte und die ungewichtete Gewichtung nicht gross voneinander unterscheiden. Die gemittelte Gewichtung weist einen etwas grösseren Flächenanteil an ungeeigneten Gebieten auf. Beide Summenhäufigkeiten erinnern an eine Normalverteilung. Die Frage, ob es denn überhaupt Sinn macht, Experten eine Gewichtung vornehmen zu lassen, kann dennoch mit ja beantwortet werden: Wichtig ist nicht nur die Eignung der Modellierung als Ganzes, sondern vor allem auch die Eignung der einzelnen Flächen und kleinräumigen Strukturen.

### 6.4.4 Empfehlung

Die räumliche Ausdehnung des Nistplatzpotenzials wird durch die *constraints* bestimmt. Mit einer veränderten Gewichtung ändert sich die Eignung, aber nicht die räumliche Verteilung und Fläche der Alternativen. Neben der Brutnische selbst braucht ein guter Nistplatz

aber auch Sitzwarten und Schlafplätze für die Brutvögel. Nach D. Jenny (2007, mdl. Information) können Alternativen mit geringem Nistplatzpotenzial durchaus als Sitzwarte oder Schlafplatz dienen. Für die Empfehlung bedeutet das, dass das Nistplatzpotenzial nicht durch einzelne, optimale Alternativen aufgezeigt wird, sondern durch zusammenhängende Komplexe von Alternativen mit guter Eignung. Besonders deutlich zeigen sich diese Eigenschaften in der Hot Spot-Analyse. Hier werden Regionen mit gutem Nistplatzpotenzial positiv hervorgehoben, auch wenn sie keine grossen zusammenhängenden Flächen aufweisen. Regionen mit geringem Nistplatzpotenzial werden negativ dargestellt. Auch einzelne sehr gut geeignete Alternativen erhalten tiefe Werte, wenn in ihrer Umgebung kein weiteres Potenzial besteht.

Die MCE hat sich insgesamt als gute Wahl erwiesen, um mit den grossen Unsicherheiten umzugehen. Die Kombination von Literatur und Expertenwissen ermöglicht es, auch ohne den Einbezug von Systemdaten (aktuelle Nistplätze) ein akzeptables Modell zu entwickeln. Der Einbezug von Experten setzt allerdings deren Bereitschaft zur intensiven Mitarbeit voraus. Evaluation, Korrekturen und Re-Evaluation fordern eine interaktive Zusammenarbeit zwischen Experten und Modellentwickler.

Es ist gelungen, trotz Unsicherheiten in den Daten und in der Operationalisierung das Nistplatzpotenzial im Schweizer Alpenraum grossflächig und mit einer grossen Auflösung zu modellieren. Das Nistplatzmodell genügt der Anforderung, in der Diskussion um neue Aussetzungsstandorte als Entscheidungshilfe zu dienen und erfüllt somit seinen Zweck.

# 7 Habitatpotenzial

Im vorliegenden Kapitel wird, analog zum Nistplatzmodell im vorhergehenden Kapitel, das Habitatmodell vorgestellt. Die Frage, die es in diesem Kapitel zu beantworten gilt, lautet:

WO GIBT ES IM SCHWEIZER ALPENRAUM GEEIGNETE HABITATE FÜR BART-  
GEIER?

Die Modellierung baut wie das Nistplatzmodell auf Literatur und Expertenwissen auf. In die Validierung fließen aktuelle und historische Daten sowie eine Expertenbefragung ein. Im Kapitel 8 wird abschliessend eine Synthese mit den Ergebnissen der Nistplatzmodellierung (Kapitel 6) gebildet.

## 7.1 Methodik

Das Habitatmodell ist weniger komplex aufgebaut als das Nistplatzmodell. Obwohl auch dieses Modell das Potenzial durch die Kombination verschiedener Faktoren ermittelt, wurde auf die Durchführung einer MCE streng nach Malczewski (1999) verzichtet. Der Grund dafür ist, dass für zu viele Faktoren keine Datensätze beschafft werden konnten. Diese Faktoren werden deshalb nur indirekt über andere Kriterien berücksichtigt. Eine schematische Darstellung des Arbeitsablaufs ist in Abb. 7.1 zu sehen.

Das Modell wurde in Zusammenarbeit mit D. Jenny und J. P. Müller entwickelt, die das artspezifische Wissen für die Parametrisierung und die Klassierung der Modellfaktoren beitrugen. Es analysiert den Untersuchungsraum flächendeckend und ist in drei Eignungsklassen mit geringem, mittlerem und hohem Potenzial eingeteilt. Ausserdem werden wiederum *constraints* gesetzt. Die Daten, welche in das Habitatmodell miteinbezogen wurden, sind das DHM25 (Höhe und Hangneigung) und die Primärflächen (Bodenbedeckung) des VECTOR25.

Bei der Modellierung wurde das Hauptaugenmerk auf geeignete Gebiete für potenzielle Nahrungsquellen gelegt. Die Grundlage hierfür bilden die Kriterien Bodenbedeckung und Hangneigung, welche einen Indikator für die Einsehbarkeit des Untergrundes darstellen. Weiter wurden durch den Einbezug der Höhenlage die klimatischen Bedingungen und die Intensität anthropogener Nutzung berücksichtigt. Wie im Nistplatzmodell wurde die Höhe nach Nordalpen und Zentralalpen unterschieden. Der Layer „Primärflächen“ des VECTOR25 beinhaltet die Bodenbedeckung. Er bildet die Grundlage für die Modellierung. Da der Layer nur 28 Klassen aufweist, konnten diese individuell in Kombination mit der Hangneigung und der Höhenlage in die drei Eignungsklassen eingeteilt werden.

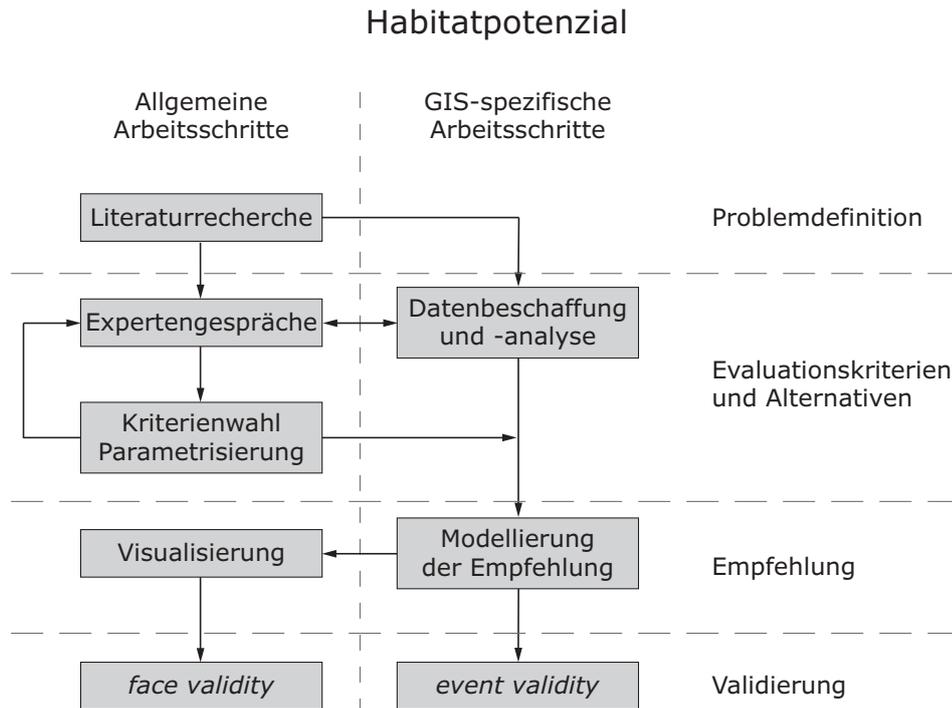


Abbildung 7.1: Vorgehen bei der Evaluation des Habitatpotenzials (Quelle: Eigene Darstellung)

## 7.2 Resultate

Eine grundlegende Bedingung für geeignete Habitats ist neben abiotischen Faktoren wie Topographie und Thermik die Wasser- und Nahrungsverfügbarkeit (Robin et al. 2003). Die unregelmässige Topographie der Schweizer Alpen wirkt sich positiv auf die Entstehung von thermischen Aufwinden aus. Die Reliefenergie ist in allen alpinen Gebieten sehr gross, im Umkreis von drei Kilometern um einen bestimmten Punkt untersteigt sie kaum je 1000 m. Die Wasserverfügbarkeit ist in der Schweiz im Verhältnis zu anderen Gebieten sehr gross, auch an Nahrung mangelt es nicht. Obwohl der Faktor Nahrung nicht limitierend ist, beeinflusst er die Habitatwahl doch sehr stark. Baumlose Weiden oberhalb der Waldgrenze und Bachläufe im bewaldeten Bereich, in denen sich häufig Knochen verendeter Tiere sammeln, machen den überwiegenden Teil an Gebieten für die Nahrungssuche aus (Robin et al. 2003). Auch Geröllhalden und steile, felsige Berghänge sind ergiebige Nahrungsgründe, vor allem im Frühling. Dort lassen sich immer wieder abgestürzte und von Lawinen mitgerissene Steinböcke und Gämsern finden.

Die Klassen des Primärflächenlayers können in drei Hauptgruppen zusammengefasst werden: Nahrungsgebiet, übrige Natur- und Kulturgebiete und Siedlungsgebiet. Diese drei Hauptgruppen beinhalten sieben weitere Gruppen, welchen die einzelnen Primärflächen-

klassen zugeteilt sind. Tab. 7.1, 7.2 und 7.3 zeigen die drei Hauptgruppen, die ihnen zugeordneten Klassen und deren Parametrisierung.

Der Gruppe „Nahrungsgebiet“ sind Flächen zugeteilt, welche sich durch hohes Nahrungspotenzial und geringe anthropogene Nutzung auszeichnen. Einen Spezialfall stellt die Klasse „übriges Gebiet“ dar, welche alle Flächen beinhaltet, die keiner anderen Kategorie zugeteilt werden können. Dazu gehören sowohl intensiv bewirtschaftete Acker- und Weideflächen wie auch Alpweiden und offenes Grasland. Flächen, die unter die Kategorie „übrige Natur- und Kulturgebiete“ fallen, weisen kein oder nur sehr geringes Nahrungspotenzial auf. Gewässer und Siedlungen weisen kein Nahrungspotenzial auf und fallen deshalb unter den *constraint* „gänzlich ungeeignete Gebiete“.

Tabelle 7.1: Beschreibung der Gruppe „Nahrungsgebiet“

<b>Primärflächenklassen</b>	Fels, Geröll		
<b>Masseinheiten</b>	Meter über Meer		
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Nordalpen	-800	-	800+
Zentralalpen	-1200	-	1200+
<b>Primärflächenklassen</b>	Geröll mit Gebüsch, Geröll in offenem Wald, offener Wald		
<b>Masseinheiten</b>	Meter über Meer/Grad Hangneigung		
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Nordalpen	-800	800+/0-30	800+/30+
Zentralalpen	-1200	1200+/0-30	1200+/30+
<b>Primärflächenklassen</b>	Sumpf, Sumpf und Gebüsch, Sumpf in offenem Wald		
<b>Masseinheiten</b>	Meter über Meer		
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Nordalpen	-800	800+	-
Zentralalpen	-1200	1200+	-
<b>Primärflächenklassen</b>	Übriges Gebiet		
<b>Masseinheiten</b>	Meter über Meer		
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Nordalpen	-1100	1100-1600	1600+
Zentralalpen	-1500	1500-2000	2000+

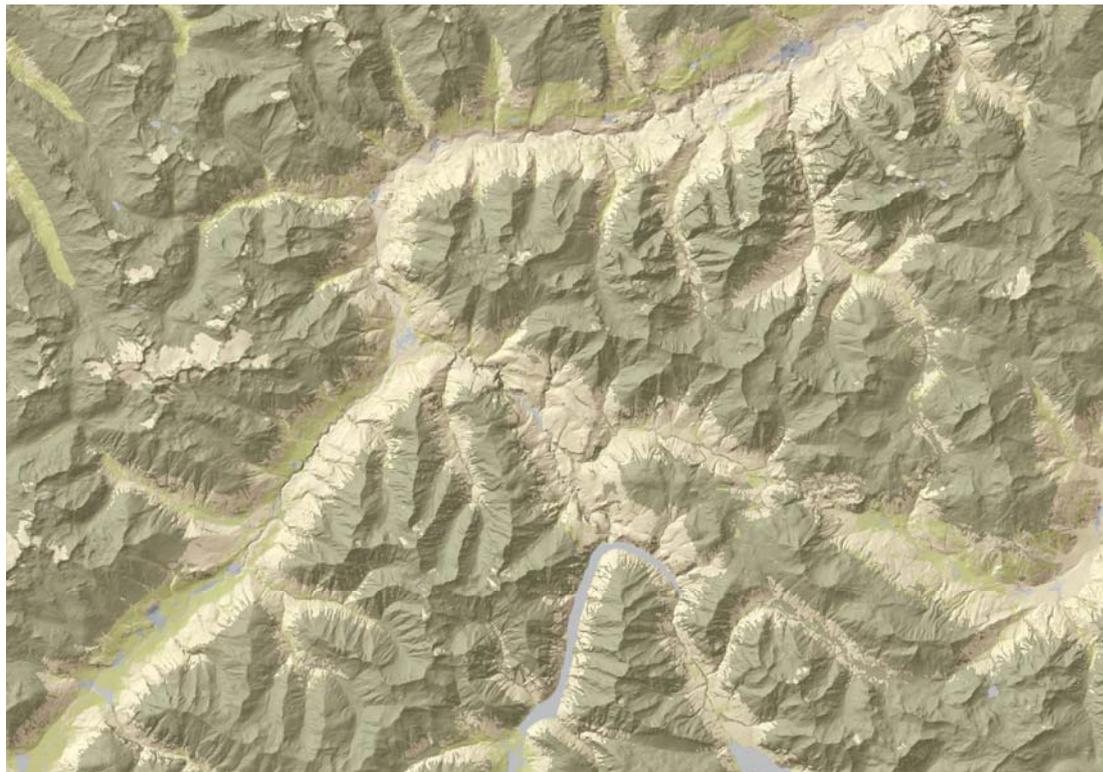
Tabelle 7.2: Beschreibung der Gruppe „Übrige Natur- und Kulturgebiete“

<b>Primärflächenklassen</b>	Geröll auf Gletscher, Gletscher, Wald, Gebüsch, Sumpf in Wald, Geröll in Wald, Staumauer, Staudamm, Baumschule, Reben, Obstanlage, Kiesgrube, Lehmgrube, Steinbruch		
<b>Masseinheiten</b>	Kategorial		
<b>Klassierung</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Nordalpen	überall		
Zentralalpen	überall		
<b>Primärflächenklassen</b>	Fluss, See		
<b>Masseinheiten</b>	Kategorial		
<b>Klassierung</b>	Diese Gebiete besitzen kein Habitatpotenzial. Sie fallen unter den <i>constraint</i> „gänzlich ungeeignet“.		

Tabelle 7.3: Beschreibung der Gruppe „Siedlungsgebiet“

<b>Primärflächenklassen</b>	Siedlung, Graspiste, Piste mit Hartbelag		
<b>Masseinheiten</b>	Kategorial		
<b>Klassierung</b>	Diese Gebiete besitzen kein Habitatpotenzial. Sie fallen unter den <i>constraint</i> „gänzlich ungeeignet“.		

Das resultierende Habitatmodell wird in einer Eignungskarte dargestellt. Abb. 7.2 zeigt einen Ausschnitt des Modells. Hell eingefärbte Flächen bedeuten geringe, dunkel eingefärbte Flächen bedeuten hohe Eignung. Siedlungen und Gewässer sind nicht eingefärbt. Der ganze Perimeter ist im ArcReader-Format auf der Daten-CD zu enthalten.



Habitatpotenzial

gering

mittel

hoch

0 10 km

Massstab: 1:300'000

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097)

Abbildung 7.2: Kartenausschnitt des Habitatpotenzials

## 7.3 Validierung

Die Validierung erfolgt durch den Vergleich der Modellierungsergebnisse mit aktuellen Beobachtungsdaten der Bartgeier-Datenbank und mit einer historischen Verbreitungskarte. Zudem wird das Modell durch Experten begutachtet.

### 7.3.1 *Event validity*

Der Vergleich der Modellierungsergebnisse mit der Realität wird wiederum mit aktuellen und historischen Daten durchgeführt. Die aktuellen Daten beinhalten alle gemeldeten, georeferenzierten Bartgeiersichtungen zwischen 1987 und 2007. Die historischen Daten entstammen der Karte von Studer und Fatio (1889).

#### Vergleich mit aktuellen Beobachtungsdaten

Mit den aktuellen Beobachtungsdaten wird untersucht, wie oft Bartgeier über geeignetem Lebensraum gesichtet wurden. Berücksichtigt ist jeweils nur die Rasterzelle, auf welcher

die Punktbeobachtung zu liegen kommt. Tab. 7.4 zeigt, dass Bartgeier in 68% aller Fälle über geeignetem Gebiet gesichtet wurden, welches einen Flächenanteil von 40% einnimmt. Über den 45% ungeeigneter Fläche erfolgten 24% der Sichtungen. Die restlichen 8% der Sichtungen erfolgten über bedingt geeignetem oder gänzlich ungeeignetem Gebiet.

Tabelle 7.4: Habitateignung der gemeldeten Bartgeiersichtungen

<b>Untergrund</b>	<b>Fläche in km<sup>2</sup></b>	<b>Fläche in %</b>	<b>Sichtungen</b>	<b>Sichtungen in %</b>
<b>Geringe Eignung</b>	14600.5	45.27	1506	23.58
<b>Mittlere Eignung</b>	3248.8	10.07	481	7.53
<b>Hohe Eignung</b>	12787.7	39.65	4319	67.61
<b>See</b>	720.2	2.23	36	0.56
<b>Gletscher</b>	893.8	2.77	46	0.72
<b>Summe</b>	32251	100	6388	100

### Vergleich mit historischen Habitaten

Für den Vergleich mit historischen Habitaten wurde die historische Karte von Studer und Fatio (1889) eingescannt und mit Hilfe des VECTOR25 und des GG25 in ArcGIS georeferenziert (Abb. 7.3). Sie zeigt die ursprüngliche Verbreitung des Bartgeiers in der Schweiz zwischen dem 16. und 18. Jh. und den zunehmenden Rückzug der Tierart zwischen 1800 und 1860, bis hin zu ihrer Ausrottung Ende des 19. Jh. Die verschiedenen Verbreitungs- bzw. Rückzugsstadien wurden digitalisiert. Sie sind in Abb. 7.4 dargestellt. Sowohl die Karte (ESRI Grid) als auch die digitalisierten Verbreitungsstadien (ESRI Shapefile) sind auf der Daten-CD enthalten.

### Interpretation

Die Analyse der aktuellen Daten zeigt, dass Sichtungen über geeignetem Gebiet überproportional vertreten sind. Allerdings ist zu bedenken, dass die meisten Vögel in der Luft gesichtet wurden. Es ist nicht einfach, einen Punkt in der Luft am Boden genau zu lokalisieren, vor allem wenn dieser Punkt weit vom Beobachter entfernt ist. Die gemeldeten Ortsangaben sind deshalb mit Vorsicht zu betrachten. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Lokalisierung ungenau ist, ist relativ gross. Jedoch darf man annehmen, dass sich diese Beobachtungsfehler über die gesamten 6388 Sichtungen wieder ausgleichen, vor allem wenn man berücksichtigt, dass die modellierten Eignungsklassen recht grossflächig sind. Ungenauigkeiten fallen so weniger ins Gewicht. Weiter ist auch die Tatsache von Belang, dass Bartgeier nicht dort am häufigsten gesichtet werden, wo sie sich am liebsten aufhalten. Sie werden eher an Standorten gesichtet, welche Beobachtern gut zugänglich sind. Die Zahl der Beobachter ist in erschlossenen und bewirtschafteten Gebieten sehr viel höher als in

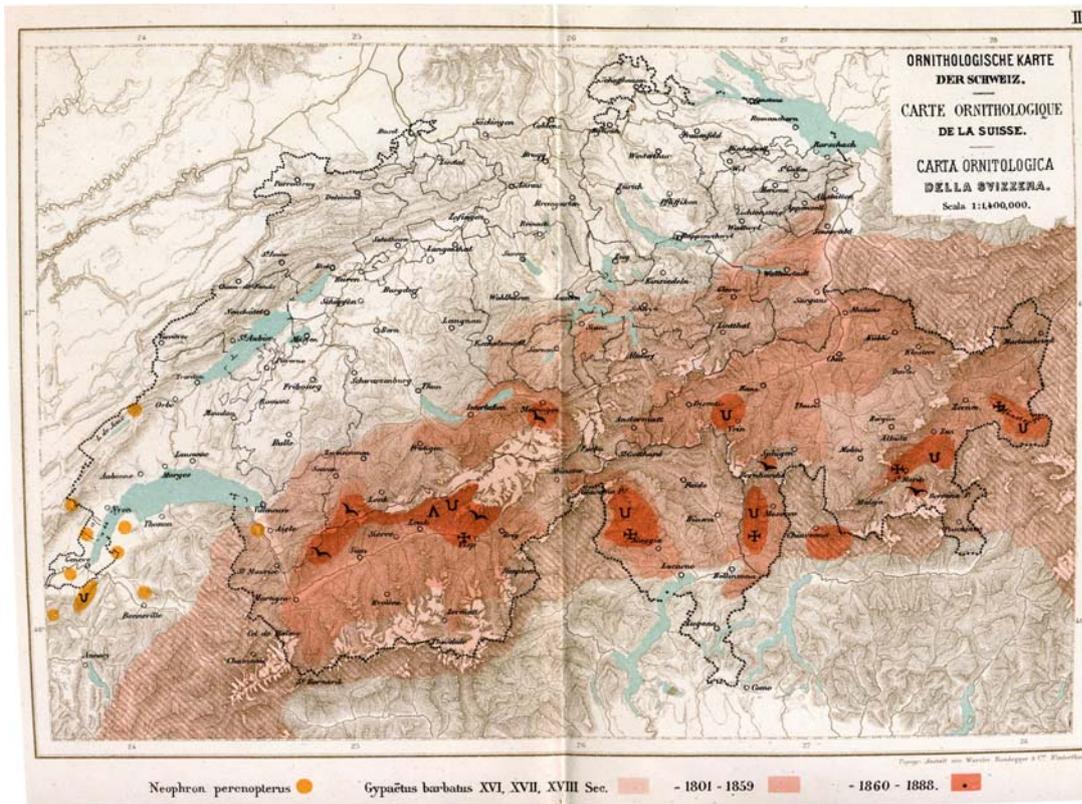


Abbildung 7.3: Georeferenzierte historische Karte der Bartgeierverbreitung im 16. bis 19. Jh. nach Studer und Fatio (1889). Die Krümmung des Bildes entsteht durch die Georeferenzierung.

unzugänglichen und weglosen Gebieten, welche von Bartgeiern favorisiert werden. Auch dies verzerrt die Statistik der Sichtungen, denn der Anteil von Beobachtungen über ungeeignetem Gebiet wird dadurch stark erhöht. Die Analyse von Tab. 7.4 zeigt, dass über geeignetem Gebiet mit einem Flächenanteil von 40% beinahe dreimal so viele Beobachtungen stattfanden wie über ungeeignetem Gebiet mit einem Flächenanteil von 45%. Über der kleinen Fläche mit bedingt geeigneter Klassierung wurden proportional mehr Sichtungen gemeldet als über ungeeigneten Gebieten, aber weniger als über optimalen Gebieten. Ein Zusammenhang zwischen Habitateignung und Beobachtung kann bestätigt werden.

Die historische Karte von Studer und Fatio (1889) zeigt, dass der Bartgeier bis Ende 18. Jh. im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet war. Die Kartierung ist aber zu großflächig für eine quantitative Analyse, da sie ganze Talschaften und Regionen umfasst. Ausserdem dürfen Rückzugsgebiete nicht mit idealen Habitaten verwechselt werden. Sie sind nicht unbedingt optimale Lebensräume, sondern vor allem für den Menschen unzugängliche und lange unerschlossen gebliebene Gebiete.

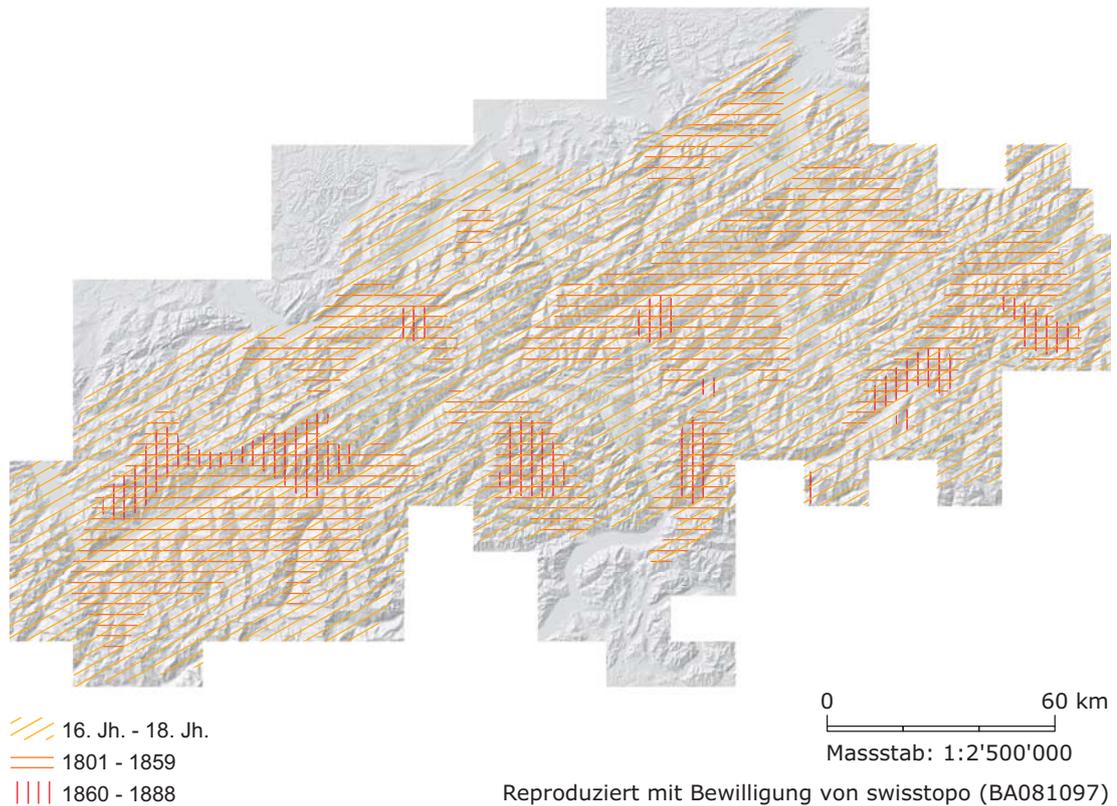


Abbildung 7.4: Rückzugsstadien des Bartgeiers nach Studer und Fatio (1889)

### 7.3.2 *Face validity*

Analog zum Nistplatzmodell wurden den Experten D. Jenny und J. P. Müller drei Fragen zum Habitatmodell gestellt, wiederum in Bezug auf den Ausschnitt Graubünden:

WIRD DAS HABITATPOTENZIAL DURCH DAS MODELL ERFASST?

WELCHE FAKTOREN WERDEN GUT, WELCHE SCHLECHT ABGEBILDET?

GIBT ES FAKTOREN, DIE GAR NICHT BERÜCKSICHTIGT WURDEN?

In den folgenden Abschnitten sind die Antworten der Experten wiedergegeben. Die exakten Antworten sind in Anhang E zu finden.

**David Jenny** Das Habitatpotenzial wird grundsätzlich erfasst. Gut modelliert werden die alpinen Zonen, schlecht hingegen die Talbodenbereiche. Sie weisen durch ihre Nähe zu Siedlungen, die Thermikverhältnisse und intensive Störungen kein Habitatpotenzial auf, auch wenn sie über 1600 m ü. M. liegen. Der Wald ist laut D. Jenny kein potenzielles Nahrungsgebiet. Der Waldgrenzenbereich wird aber trotzdem oft befliegen, denn Bäume bieten sich als Sitzwarten an. Ausserdem ist das Landen im Bereich von Lichtungen und

Lawinenzügen für Bartgeier kein Problem. Ein Faktor, welcher bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurde, sind die Schafalpen.

**Jürg Paul Müller** Das Habitatangebot ist breit vorhanden, was den Erwartungen von J. P. Müller entspricht. Im Raum Rheintal werden tiefe Lagen eher als zu unbedeutend dargestellt. Faktoren, welche besonders gut oder schlecht abgebildet werden und Faktoren, welche gänzlich vernachlässigt wurden, sind nicht erkennbar.

### Interpretation

Die Antworten von D. Jenny und J. P. Müller zeigen, dass das Habitatpotenzial im allgemeinen gut dargestellt wird. Wie beim Nistplatzpotenzial treten auch hier unterschiedliche Ansichten über die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten zu Tage. Die Berücksichtigung von Waldrandgebieten und Lichtungen könnte das Modell aufwerten. Ihre Strukturen sind jedoch meist zu kleinräumig, um sie in grossflächige Analysen zu integrieren bzw. mit der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Auflösung von 25 m sichtbar zu machen.

## 7.4 Diskussion

Um das Habitatpotenzial zu modellieren, wurde keine MCE im klassischen Sinne durchgeführt. Der Hauptgrund dafür ist das Fehlen wichtiger Daten. Die Nahrungsverfügbarkeit, namentlich das Vorhandensein von Steinbockkolonien und Schafalpen, ist ein zentraler Faktor bei der Habitatwahl. Im Falle der Schafalpen konnten keine Datensätze beschafft werden, im Falle der Steinbockkolonien erst nach Abschluss der Modellierungsphase. So reduzierten sich die vorhandenen Daten auf zwei Datensätze, das DHM25 und die Primärflächen des VECTOR25. Damit kann zwar das Nahrungspotenzial modelliert werden, die tatsächliche Nahrungsverfügbarkeit kann jedoch stark vom Potenzial abweichen. Weiter wurde durch D. Jenny angemerkt, dass auch hochgelegene Talbodenbereiche keine Habitateignung aufweisen. Dies nicht nur aufgrund anthropogener Störungen, sondern auch aufgrund ihrer thermischen Eigenschaften.

Dennoch ist es gelungen, das Habitatpotenzial insgesamt gut zu erfassen. Auch hier gilt der Grundsatz, dass die Potenzialkarte vor allem auf regionaler und überregionaler Ebene Auskunft gibt. Für lokale Analysen sind Abklärungen vor Ort nötig, vor allem was das Nahrungspotenzial betrifft. Auch positiv wirkende Schutzgebiete und noch nicht berücksichtigte, intensive bzw. grossflächige Störungen sollten dann einbezogen werden.

Ein offener Diskussionspunkt ist nach wie vor die Rolle, welche Kalkgebiete bei der Habitatwahl spielen. Da die Experten sich über diesen Punkt nicht einig sind, wurde der Faktor bei der Modellierung des Habitatpotenzials nicht berücksichtigt. Die beiden heutigen Po-

pulationskerne der Schweiz befinden sich in Kalkgebieten. Die weitere Ausbreitung wird zeigen, welche Präferenzen Bartgeier bezüglich ihrer Habitate haben.

## 8 Synthese

In diesem Kapitel wird eine Synthese aus dem Nistplatzmodell und dem Habitatmodell gebildet. Die beiden Modelle werden kombiniert, analysiert und in einer Potenzialkarte visualisiert. Die Ergebnisse der Synthese werden wiederum durch Experten beurteilt. Weiter wird die Region Nordtessin genauer betrachtet, um eine Erklärung für die fehlenden Beobachtungen zu finden. Die Visualisierung der Resultate bildet den Abschluss der Synthese und wird im letzten Abschnitt des Kapitels beschrieben.

### 8.1 Kombination

Haller (1996) betont in seiner Diplomarbeit, dass in einem Bartgeier-Lebensraum vor allem das „Nebeneinander“ geeigneter Faktoren wichtig sei. Dass eine räumliche Einheit (Alternative) alle Bedingungen ideal erfüllt, sei nicht notwendig. Die Unterscheidung zwischen Nistplatzpotenzial und Habitatpotenzial ermöglicht eine getrennte Betrachtung dieses Nebeneinanders. Auf diese Weise können die Ansprüche eines Bartgeiers modelliert werden, ohne Nachbarschaftsbeziehungen zu berücksichtigen. Jedoch ist ein Nistplatz, welcher in ungeeignetem Gebiet zu liegen kommt, nutzlos. Umgekehrt wird auch ein gutes Habitat nicht besiedelt, solange es keine guten Nistplätze aufweist. So zeigt erst die Kombination beider Modelle die für Bartgeier wirklich geeigneten Lebensräume auf.

Die Überlagerung von Nistplatzmodell und Habitatmodell lässt sich anhand eines Beispiels auch in einer 3D-Darstellung visualisieren und mit der Realität vergleichen. Abb. 8.1 und 8.2 zeigen die Ergebnisse der Modellierung im Gebiet des Mürtschenstocks beim Kerenzerberg (GL). Zum Vergleich ist das Gebiet in Abb. 8.3 fotografisch dargestellt. Die Fotografie zeigt, dass die Flächen, welche sich als Nahrungsgebiet oder als Nistplatz eignen, durch die Modelle erfasst werden.

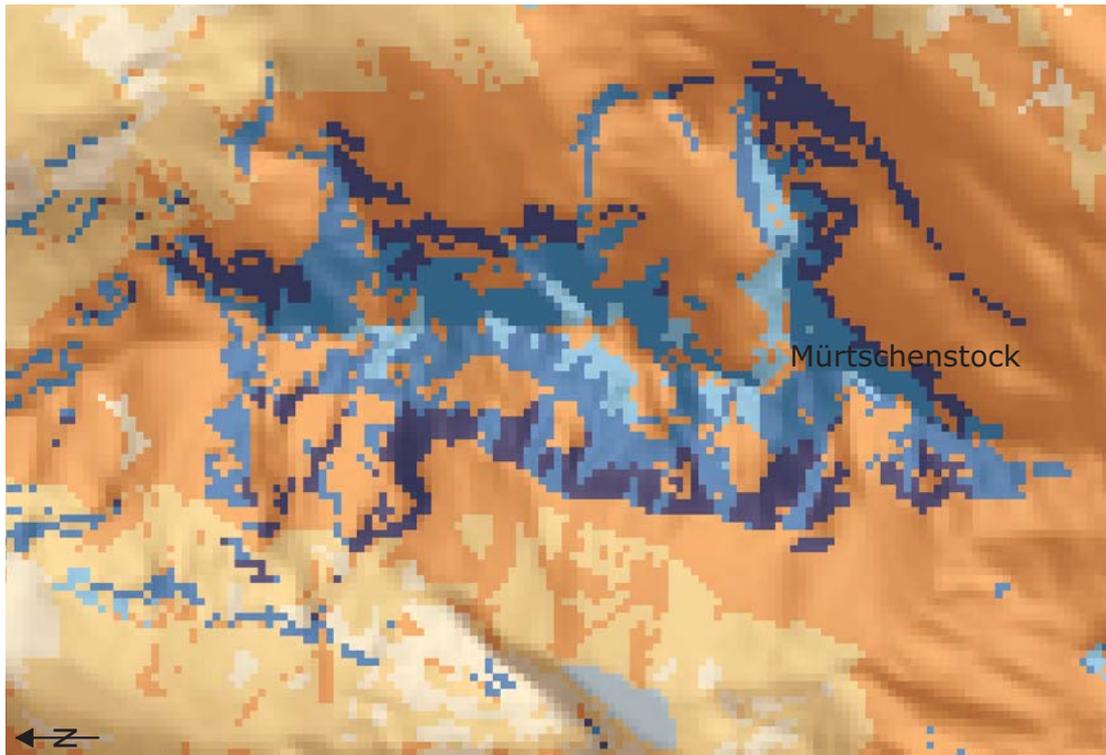


Abbildung 8.1: Modelliertes Nistplatz- und Habitatpotenzial am Mürtschenstock. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097).

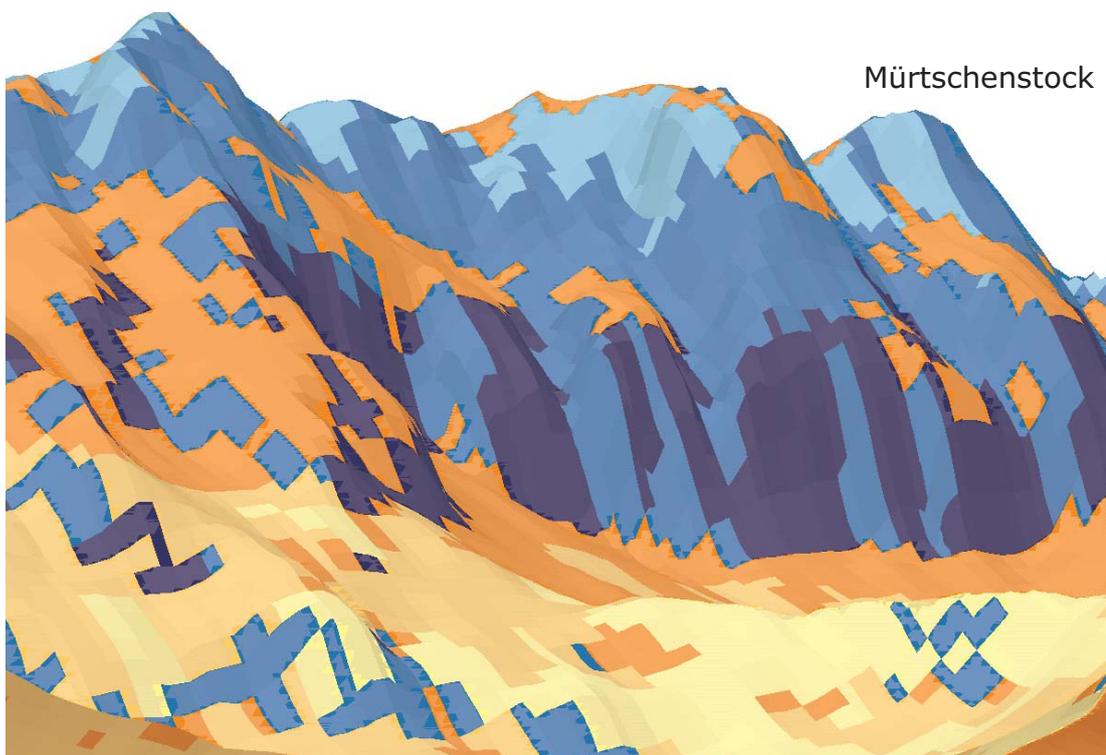


Abbildung 8.2: 3D-Darstellung des modellierten Nistplatz- und Habitatpotenzials am Mürtschenstock. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081097).



Abbildung 8.3: Blick auf die Westwand des Mürtschenstocks. Transparent eingerahmt ist der Ausschnitt, der in Abb. 8.2 dargestellt ist (Bild: Andrea Ryffel).

## 8.2 Analyse

Die Verschneidung von Nistplätzen und Habitataignung zeigt, dass alle Nistplätze entweder in sehr gut oder in wenig geeigneten Habitatflächen liegen (Tab. 8.1). Bei genauerer Betrachtung wird ersichtlich, dass dies an der Klassierung der Habitatfaktoren (siehe Tab. 7.1, S. 69) liegt, denn Felsflächen gelten als optimales Habitat, sofern sie eine bestimmte Höhenlage nicht unterschreiten. Die Nistplätze, die in ungeeignetem Gebiet liegen, sind nicht zum Bebrüten geeignet, auch wenn sie sonst alle Anforderungen ideal erfüllen. Sie besitzen aber zumindest Sitzwartenpotenzial und dürfen deshalb nicht einfach aus dem Modell ausgeschlossen werden. Da nur 4% der Nistplätze in ungeeignetem Gebiet liegen, fällt dieser Widerspruch insgesamt kaum ins Gewicht.

Tabelle 8.1: Habitataignung der Nistplatzzellen

<b>Eignung</b>	<b>Fläche in km<sup>2</sup></b>	<b>Fläche in %</b>
<b>Gering</b>	57.05	4
<b>Hoch</b>	1240.55	96
<b>Summe</b>	1297.60	100

### **Beispiel Nordtessin: Modelliertes Lebensraumpotenzial und tatsächliche Verbreitung im Vergleich**

Im Abschnitt 2.3 wurde die Frage aufgeworfen, aus welchem Grund Bartgeiersichtungen im Tessin heute beinahe gänzlich fehlen. Man könnte nun die Diskussion um Kalk und Granit wieder aufgreifen und das Beobachtungsloch dadurch erklären, dass der Untergrund in diesem Gebiet hauptsächlich aus Granit und Gneis besteht. Dagegen spricht jedoch, dass laut Girtanner (1870) dort früher Bartgeier siedelten. Auch die Karte von Studer (Abb. 7.3, S. 73) zeigt, dass Bartgeier früher im Tessin weit verbreitet waren.

In Abb. 8.4 ist ein Ausschnitt der modellierten Potenzialkarte zu sehen, dazu die historische südliche Verbreitungsgrenze des Bartgeiers und die gemeldeten Beobachtungen der Bartgeier-Datenbank. Die Potenzialkarte zeigt, dass sowohl im Nordwesttessin (im Gebiet zwischen Val Bedretto, Valle Leventina, oberer Val Verzasca, oberer Valle Maggia und Valle di Campo) als auch im Nordosttessin (im Gebiet zwischen Biasca und Val Calanca) noch immer ausgeprägtes Nistplatzpotenzial besteht. Im Gegensatz dazu ist das Habitatpotenzial an den meisten Orten nur sehr gering. Ausser im Cristallinagebiet existieren keine grösseren zusammenhängenden Räume, die sich als Habitat eignen.

Eine Begründung für diesen Sachverhalt kann beim Betrachten der Vegetation gefunden werden. In früheren Jahrhunderten wurden im Tessin intensiv Alpwirtschaft und Waldnutzung betrieben (J. P. Müller 2007, mdl. Information). Dadurch entstanden offene Flächen und Alpweiden in den Regionen unterhalb der potenziell-natürlichen Baumgrenze. Weit verbreitet war die Haltung von Ziegenherden, die durch ihr Fressverhalten die Waldränder zurückdrängen und Weiden und Lichtungen offen halten. Mit dem gesellschaftlichen Wandel und zunehmenden Wohlstand der letzten Jahrzehnte verschwand die „Kuh des armen Mannes“ jedoch sukzessive aus dem Landschaftsbild (Baur et al. 2006). Dies wirkte sich für den Bartgeier doppelt negativ aus: Mit den fehlenden natürlichen Abgängen aus Ziegenherden wurde er einer wichtigen Nahrungsgrundlage beraubt (Baumgart 2001). Ausserdem wachsen Weiden ohne stetige Bewirtschaftung wieder zu, und offene Wälder schliessen sich (Baur et al. 2006). Abb. 8.4 zeigt, dass heute grosse Teile des Tessins dicht bewaldet sind und dadurch für den Bartgeier keine Nahrungsgrundlage mehr bieten.



Abbildung 8.4: Aktuelles Verbreitungspotenzial und historische südliche Verbreitungsgrenze im Nordtessin

### 8.3 Validierung

Die Kombination aus beiden Modellen kann nicht anhand von aktuellen oder historischen Daten validiert werden. Jedoch können auch hier Experten nach ihrer Meinung befragt werden. So wurden den Bartgeier-Experten D. Jenny und J. P. Müller auch über die Synthese beider Modelle Fragen gestellt:

WERDEN DIE GEBIETE, DIE SICH FÜR BARTGEIER ALS LEBENSÄRÄUME EIGNEN, ABGEBILDET?

### KANN DAS MODELL IM ENTSCHEIDUNG UM DIE WAHL NEUER AUSSETZUNGS- STANDORTE ALS UNTERSTÜTZUNG DIENEN?

Die Antworten von D. Jenny und J. P. Müller sind im Folgenden zusammengefasst. Die exakten Antworten befinden sich in Anhang E.

**David Jenny** Die geeigneten Bartgeier-Lebensräume werden laut D. Jenny im Grossen und Ganzen gut abgebildet. Das Modell kann als eine ergänzende Grundlage zur Wahl geeigneter Aussetzungsorte dienen. Zur Beurteilung sollen dann aber zusätzlich das Nahrungsangebot (Gämsen, Steinböcke, Rothirsche, Schafe) und die Verteilung der nächstliegenden Steinadler-Kernbereiche mit einbezogen werden.

**Jürg Paul Müller** Die geeigneten Bartgeier-Lebensräume werden mit dem Modell erfasst. Nach J. P. Müller ist dieses eine sinnvolle Entscheidungshilfe, kann aber, wie alle Modelle, nicht die „absolute Wahrheit“ für sich beanspruchen.

#### Interpretation

Die Meinungen der Experten decken sich, das Modell wird positiv beurteilt und als brauchbar angesehen. Es kann als Unterstützung bei der Wahl möglicher neuer Aussetzungsplätze dienen. Die von den Experten genannten Schwächen decken sich mit Erkenntnissen der Modellierung: Für genaue, lokale Analysen des Lebensraumpotenzials werden weitere Daten benötigt, welche für die vorliegende Arbeit nicht zur Verfügung standen.

## 8.4 Visualisierung

Die Ergebnisse beider Modellierungen werden einander überlagert und in einer grossformatigen Wandkarte im Massstab 1:250'000 visualisiert. Die Karte dient als Übersichts- und Arbeitskarte für die Potenzialanalyse. Sie kommt in der Diskussion neuer Aussetzungsstandorte zur Anwendung. Deshalb besteht die Anforderung, bei einem mittleren Massstab eine möglichst grosse Auflösung beizubehalten. Diese wird auch im digitalen Datensatz benötigt, welcher es ermöglicht, Ausschnitte der Karte vergrössert zu analysieren und auszudrucken.

Die Visualisierung zweier flächenhaften Themen in einer Karte gestaltet sich recht komplex. Normalerweise wird nur ein Thema mit einer Flächenfarbe dargestellt. Das zweite Thema wird durch ein transparentes Muster (z. B. Schraffur) visualisiert. Der aktuelle Fall wird dadurch kompliziert, dass in der grossformatigen Karte sehr kleine und unzusammenhängende oder komplexe Flächen enthalten sind und die Karte deshalb eine hohe Auflösung aufweisen muss. Das Nistplatzpotenzial soll auf der Ebene der Rasterzellen erkennbar sein,

einzelne Alternativen dürfen nicht verloren gehen. Da jedoch diese Einzelzellen, aber auch grössere Flächen mit langer, schmaler Form nicht schraffiert werden können, entsteht hier ein Konflikt zwischen kartographischen und modellierungsorientierten Ansprüchen. Wie vorgängig erwähnt wurde, liegen 96% der Nistplätze in optimalem Habitatgebiet. Die anderen Nistplätze liegen aufgrund ihrer Höhenlage in ungeeignetem Gebiet und sind auch von solchem umgeben. Da sich aus der Umgebung klar erkennen lässt, in welcher Habitatklasse sich ein potenzieller Nistplatz befindet, werden die Nistplätze ebenfalls mit einer Flächenfarbe dargestellt. Dies ist kartographisch zwar nicht ganz korrekt, bietet aber eine passable Lösung für den Konflikt zwischen kleinem Kartenmassstab und grosser Auflösung.

Durch die Methodik der Modellierung ergeben sich beim Habitatpotenzial drei Eignungsklassen: geringes, mittleres und hohes Potenzial. Gebiete mit geringer Habitateignung werden nicht eingefärbt, da sie kaum Nahrungspotenzial aufweisen und bei der Habitatwahl nicht ins Gewicht fallen. So werden für die Visualisierung des Habitatpotenzials zwei Farbstufen benötigt.

Bei der Nistplatzmodellierung ergeben sich Resultate mit rationalen Zahlenwerten. Grundsätzlich böte sich hier für die Visualisierung ein kontinuierlicher Farbverlauf an. Bei sehr kleinen und weit gestreuten Flächen erfüllt ein solcher Farbverlauf aber seinen Zweck nicht, denn Farbunterscheidungen sind so von Auge nicht mehr möglich. Deshalb kommt nur eine klassierte Darstellung des Nistplatzpotenzials in Frage. Eine Klassierung vorzunehmen, ist schwierig. Erfolgt die Einteilung analog zur Klassierung der Evaluationskriterien, entstehen fünf Eignungsklassen mit einer sehr unterschiedlichen Anzahl Werte. Wird die Werteverteilung berücksichtigt, kann die Anzahl Klassen frei bestimmt werden, eine konkrete Begründung für die Wahl der Klassenzahl und der Klassengrenzen ist aber nur schwer abzugeben. Die Entscheidung für drei Klassen fällt hier aufgrund der Grenzen, die der graphischen Gestaltung gesetzt sind. Einzelne Nistplatzzellen sind auf der gedruckten Karte kaum erkennbar. Das Potenzial zeigt sich deshalb erst bei grösseren Felskomplexen deutlich. Die geringe Grösse und die feinen Strukturen lassen aber auch bei zusammenhängenden Flächen nicht mehr als drei Klassen bzw. Farbstufen zu. Die beiden Klassengrenzen werden aufgrund der Werteverteilung bei 0.8 und 0.9 gesetzt. Dadurch entfällt die grösste Zahl der Werte auf die mittlere Eignungsklasse. Die beiden anderen Klassen enthalten zusammen etwa gleich viele Werte. Da Felsen, auch wenn sie sich nicht als Nistplätze eignen, immer noch als Sitzwarte oder Schlafplatz dienen können, werden alle drei Klassen des Nistplatzpotenzials dargestellt.

Zusätzlich zum Nistplatz- und Habitatpotenzial werden zur Orientierung Siedlungen und Gewässer dargestellt, weiter auch die Landesgrenzen. Als Basiskarte dient die schräglichtschattierte Darstellung des DHM25 (ArcGIS *hillshade*). Durch die leichte Transparenz der überlagerten Modellierungsergebnisse kommen Felsbänder und Klippen mit Nistplatzpo-

tenzial sehr deutlich zur Geltung. In Abb. 8.5 ist ein Ausschnitt der Potenzialkarte dargestellt. Die vollständige Karte ist als PDF auf der Daten-CD enthalten. Eine verkleinerte Darstellung der Karte (Format DIN A3, Massstab 1:750'000) ist in Anhang G abgebildet.

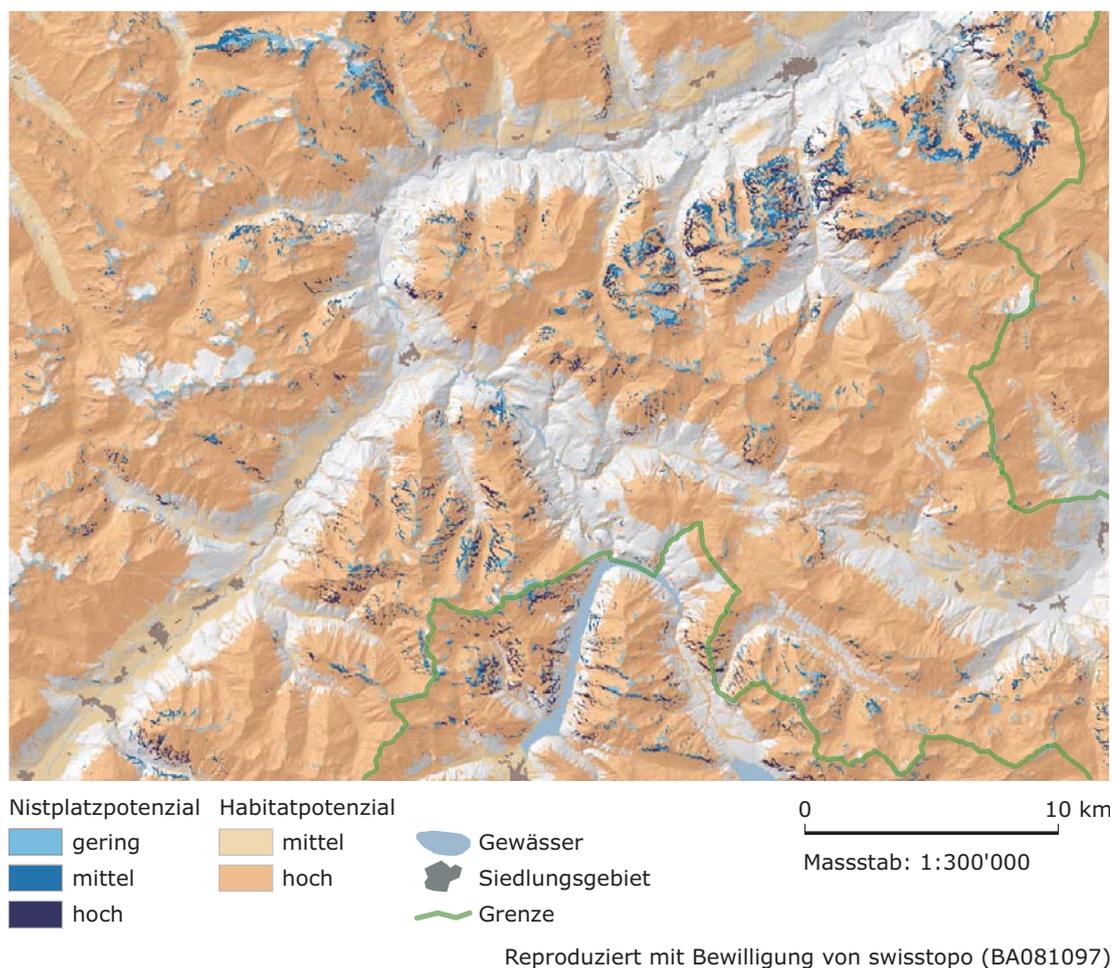


Abbildung 8.5: Ausschnitt der Potenzialkarte

## 8.5 Diskussion

In bisherigen Studien wurden das Nistplatzpotenzial und das Habitatpotenzial nicht bewusst getrennt analysiert. Wie Haller (1996) vermutete, macht es die Trennung möglich, eine aussagekräftige rasterbasierte Evaluation durchzuführen. Die visuelle Analyse wird durch die Unterscheidung von Nistplatz- und Habitatpotenzial erleichtert. Hohes Nistplatzpotenzial in geeigneten Habitaten ist leicht erkennbar. Die Karte des Tessins zeigt weiter, dass es auch Nistplätze gibt, die nicht von geeigneten Habitaten umgeben sind. Diese Nistplätze sind für Bartgeier nicht reizvoll, denn sie bieten keine Möglichkeit, in der nahen Umgebung Nahrung zu finden.

Die Antworten der befragten Experten in den Abschnitten 6.3.2, 7.3.2 und 8.3 zeigen aber, dass bei der Analyse der Modelle nicht immer eindeutig zwischen Nistplatz und Habitat unterschieden wurde. Das betrifft vor allem das Nahrungsangebot. Die Nahrungsverfügbarkeit wird durch das Habitatpotenzial in die Modellierung miteinbezogen, spielt jedoch auch bei der Nistplatzwahl eine zentrale Rolle. Die Untersuchung der räumlichen Beziehungen beider Modelle könnte diesem Problem entgegenwirken. Eine mathematische Analyse der Beziehungen gestaltet sich jedoch schwierig, da Rasterdaten keine Topologie aufweisen. Eine Möglichkeit besteht darin, das Habitatpotenzial als zusätzliches Kriterium in die MCE des Nistplatzpotenzials einzubeziehen. Dazu muss zuerst für jede Nistplatzalternative die Eignung der umgebenden Habitatfläche bestimmt werden, was immensen Rechenaufwand bedeutet. Hinzu kommt die Schwierigkeit, die Form der Habitatfläche zu definieren. Diese passt sich der Geländeform und den anthropogenen Einflüssen an und kann gerade in stark gekammerten Gebieten wie den Alpen sehr vielfältige Formen annehmen. Das so klassierte Kriterium „Habitatpotenzial“ kann in die MCE eingebaut werden. Allerdings müssen dann auch die Struktur der MCE und die Kriteriengewichtung neu bestimmt werden.



## 9 Fazit und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war, Bartgeier-Lebensräume im Schweizer Alpenraum zu charakterisieren und zu modellieren. Für das Nistplatz- und das Habitatpotenzial wurden basierend auf Literatur und Expertenwissen zwei GIS-Modelle entwickelt. Die Modellierungsergebnisse wurden mit aktuellen Daten, historischen Daten und Expertenbefragungen validiert. Aus der Synthese beider Modelle wurde eine grossformatige Potenzialkarte erstellt. In den nachfolgenden Abschnitten wird detailliert darauf eingegangen, welche Ziele im Rahmen dieser Arbeit erreicht wurden, welche Erkenntnisse daraus gezogen werden können und wo sich mögliche zukünftige Forschungsfelder befinden.

### 9.1 Erreichtes

- Die Anforderungen, welche ein Bartgeier an seinen Lebensraum stellt, wurden in Zusammenarbeit mit Experten charakterisiert und parametrisiert. Nistplätze und Habitate wurden dabei separat betrachtet.
- Erstmals wurde das Potenzial des Bartgeiers im Schweizer Alpenraum flächendeckend mit GIS analysiert. Das Nistplatzpotenzial wurde mit einer MCE basierend auf Literatur und Expertenwissen modelliert. Die Kriteriengewichtung erfolgte durch eine Expertenbefragung. Das Habitatpotenzial ebenfalls basierend auf Literatur und Expertenwissen modelliert.
- Historische Daten über frühere Nistplätze und Habitate wurden digitalisiert, georeferenziert und visuell analysiert. Sie konnten aufgrund ihrer positionalen Ungenauigkeit nicht wie geplant für eine Validierung im eigentlichen Sinne verwendet werden.
- Durch den Vergleich mit aktuellen Daten und durch Expertenbefragungen konnten sowohl das Nistplatzmodell als auch das Habitatmodell validiert werden.
- Die Ergebnisse beider Modellierungen wurden in einer Synthese zusammengeführt und als Eignungskarte im DIN A0-Format (Massstab 1:250'000) visualisiert. Diese Karte wird in der Diskussion um einen neuen Aussetzungsplatz als unterstützende Entscheidungsgrundlage dienen.
- Einer genaueren Betrachtung wurde die Region Nordtessin unterzogen. Die fehlenden Beobachtungen, die im Gegensatz zur früheren Verbreitung im Tessin stehen, konnten durch die Analyse der landwirtschaftlichen Situation früher und heute zumindest teilweise erklärt werden.

- Ungeklärt bleibt nach wie vor die Rolle, welche das Vorhandensein von Kalkstein bei der Wahl von Habitaten und Nistplätzen spielt. In der Literatur finden sich gegensätzliche Aussagen und Hypothesen. Ob und wie schnell sich Bartgeier wieder in Silikatgebieten ansiedeln werden, bleibt abzuwarten.

### 9.2 Erkenntnisse

**Modell von Donazar et al. (1993)** Die Studie von Donazar et al. aus dem Jahr 1993 liefert wichtige Hinweise für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Modellierung, was die Bedeutung einzelner Faktoren für die Nistplatzwahl angeht. Eine auf den Schweizer Alpenraum angepasste Übertragung des Modells in ein GIS führte trotz intensiver Bemühungen zu keinen befriedigenden Ergebnissen. Ein Grund dafür ist unter anderem die ungenaue statistische Beschreibung der verwendeten Faktoren in der Studie von Donazar et al. (1993), die auch von der angegebenen Kontaktperson selbst nicht näher erläutert werden konnten. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Pyrenäen und die Schweizer Alpen in einigen Bereichen wie Höhenlage, Klima und Nahrungsangebot stark unterscheiden.

**Multicriteria Evaluation** Die MCE hat sich als gute Wahl erwiesen, um mit grossen Unsicherheiten umzugehen. Die Kombination von Literatur und Expertenwissen ermöglicht es, auch ohne den Einbezug von Systemdaten akzeptable Modelle zu entwickeln. Je nach Datenlage kann die Modellierung komplex oder einfach gehalten werden.

Die Wahl der Kriterien und ihre Parametrisierung erfordert aber in jedem Fall Finger-spitzengefühl und gute Kenntnisse der Thematik. Der Einbezug von Experten setzt deren Bereitschaft zur Mitarbeit voraus. Evaluation, Korrekturen und Re-Evaluation erfordern eine intensive Zusammenarbeit zwischen Experten und Modellentwickler. Ebenso schwierig wie die Kriterienwahl gestalten sich Interpretation und Klassierung der Resultate. Sie entscheiden schliesslich, welche Alternativen akzeptiert und welche verworfen werden.

**Nistplatzpotenzial** Bei der Durchführung der MCE zeigten sich die sehr unterschiedlichen Präferenzen der Experten bezüglich Kriteriengewichtung. Solche Differenzen können unter anderem auch mit einer unterschiedlichen Interpretation der Bedeutung der Kriterien begründet werden. Die Gewichtung wurde erschwert durch die bezüglich der Anzahl vorhandener Nistplätze nicht optimale Datenlage. Weiter traten auch Differenzen bezüglich der Kriterien, welche bei der Nistplatzwahl überhaupt eine Rolle spielen, zu Tage. Mit den gewählten Faktoren und der gemittelten Gewichtung wurde ein gutes Mass gefunden, welches die meisten Ansprüche berücksichtigt, soweit es die Datenlage zulies. Insgesamt wird das Nistplatzpotenzial gut erfasst, das Modell wird von Experten als brauchbar angesehen.

**Habitatpotenzial** Die Nahrungsverfügbarkeit bestimmt zu einem grossen Teil über die Eignung eines Gebietes als Habitat. Auch wenn das Nahrungsangebot in der Schweiz kein limitierender Faktor ist, werden Gebiete mit einem grossen Angebot anderen Gebieten vorgezogen. Für diese Arbeit standen keine Daten über die räumliche Verbreitung der Arten zur Verfügung, die dem Bartgeier als Nahrungsgrundlage dienen. Das Nahrungspotenzial konnte nur indirekt über die Höhenlage und die Vegetation modelliert werden. Trotzdem ist es gelungen, das Habitatpotenzial für Bartgeier im Allgemeinen gut zu erfassen.

**Synthese** Die hohe Auflösung der geographischen Grundlagendaten erlaubt es, feine Geländestrukturen und anthropogene Einflüsse differenziert zu modellieren. Durch die getrennte Betrachtung von Nistplatz und Habitat wird eine aussagekräftige rasterbasierte Analyse ermöglicht. Allerdings zeigt erst die Kombination beider Modelle die in beiden Belangen geeigneten Lebensräume auf. So kommt der Synthese eine grosse Bedeutung zu. Das Überlagern beider Modelle ermöglicht eine visuelle Analyse der räumlichen Beziehungen. Die Integration des Habitatpotenzials als Kriterium in das Nistplatzmodell stellt eine interessante, aber aufwändige Möglichkeit dar, die beiden Modelle auch formal zu kombinieren. Dadurch könnte die Aussagekraft der Modellierung noch erhöht werden.

**Tessin** Bei der genaueren Betrachtung des Nordtessins zeigt sich, dass es dort Gebiete gibt, welche ausgeprägtes Nistplatzpotenzial besitzen. Der Umstand, dass dort heute im Gegensatz zu früher kaum noch Bartgeier gesichtet werden, lässt sich dadurch erklären, dass heute viele Regionen aufgrund der veränderten Landnutzungspraktiken wieder bis weit hinauf bewaldet sind. So entfallen die Hauptnahrungsgründe des Bartgeiers und das Tessin verliert für die Tiere an Reiz.

**Nahrungsangebot** Im Rahmen dieser Arbeit konnte nicht auf die tatsächliche Nahrungsverfügbarkeit eingegangen werden. Da, so die Annahme aufgrund des guten Ernährungszustandes aller beobachteten Vögel, der Faktor Nahrungsverfügbarkeit in der Schweiz keine limitierende Wirkung besitzt, konnten trotzdem aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Bei der Expertenbefragung wurde ausserdem ersichtlich, dass der Nahrungsverfügbarkeit eine spezielle Bedeutung zukommt. Ein gutes Habitat zeichnet sich unter anderem durch ein grosses Nahrungsangebot aus. Die Distanz zu verfügbarer Nahrung spielt jedoch auch bei der Wahl des Nistplatzes eine wichtige Rolle. Bei einer Erweiterung der Modelle um den Faktor Nahrung müsste diese Tatsache gebührend berücksichtigt werden.

Abschliessend lässt sich sagen, dass die Ziele der Arbeit trotz Unsicherheiten in den Daten und in der Operationalisierung erreicht wurden. Es ist gelungen, das Nistplatzpotenzial im

Schweizer Alpenraum grossflächig und mit einer sehr hohen Auflösung zu modellieren. Auch das Habitatpotenzial wurde insgesamt gut erfasst. Sowohl die einzelnen Modellierungen als auch die Synthese aus beiden Modellen werden von den Experten als brauchbar angesehen und können als Basis für die Evaluation neuer Aussetzungsstandorte verwendet werden.

### 9.3 Ausblick

Im Juni 2009 werden in der Schweiz wieder zwei junge Bartgeier ausgesetzt. Der Standort der Freilassung wird zur Zeit evaluiert. Mehrere mögliche Freilassungsplätze stehen zur Diskussion. Die Resultate der vorliegenden Arbeit unterstützen die Entscheidungsfindung von der analytischen Seite her. Sie werden gebraucht, um das Nistplatzpotenzial, aber auch das generelle Verbreitungspotenzial in der Umgebung der zur Diskussion stehenden Standorte zu evaluieren.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse lassen sich durch eine Verbesserung der entwickelten Modelle noch vertiefen. Ein Aspekt ist die Nahrungsverfügbarkeit, welche bisher nur indirekt miteinbezogen wurde. Dazu ist jedoch die Beschaffung bzw. Erhebung weiterer Daten nötig. Ein weiterer Aspekt ist die Integration des Habitatpotenzials als Kriterium in das Nistplatzmodell. Eine Übertragung der Modelle in andere Alpenregionen ist möglich. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein ähnlicher Grundlagendaten. Ausserdem müssen die Parameter der Kriterien überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Für Tier- bzw. Pflanzenarten, über die nur wenige erhobene Daten zur Verfügung stehen, bietet die *Multicriteria Evaluation* nach wie vor eine gute Möglichkeit der Habitatanalyse. Bisher existieren in den Alpen ungefähr zehn Brutpaare, welche jeweils mehrere Nistplätze nutzen. Dazu kommen Paare, welche bereits nisten, aber noch nicht gebrütet haben. Da sich die Bartgeierpopulation zunehmend ausbreitet, wird die Zahl der Nistplätze bald gross genug sein für statistische Analysen. Eine Methode, die sich anbietet, ist die ENFA nach Hirzel et al. (2001). Sie eignet sich besonders gut dafür, Populationen zu untersuchen, welche sich (noch) nicht im Gleichgewicht befinden. Denkbar ist darüber hinaus die Entwicklung eines populationsdynamischen Modells, das die räumliche und zeitliche Ausbreitung ausgehend von den heutigen Populationskernen untersucht.

# Literaturverzeichnis

- ALLGÖWER, B. UND HALLER, R. (1998): Monitoring the Bearded Vulture with GIS. In: The Re-introduction of the lynx into the Alps. Proceedings of the 1st SCALP Conference, Council of Europe, Environmental encounters, 38, S. 119–127.
- BAUMGART, W. (2001): Europas Geier. Flugriesen im Aufwind. Aula Verlag Wiebelsheim, S. 46, 53–55, 144.
- BAUR, P., BEBI, P., GELLRICH, M. UND RUTHERFORD, G. (2006): WaSAlp Ü Waldausdehnung im Schweizer Alpenraum. Eine quantitative Analyse naturräumlicher und sozio-ökonomischer Ursachen unter besonderer Berücksichtigung des Agrarstrukturwandels. Schlussbericht, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. URL <http://www.wsl.ch/projects/WaSAlp>.
- BÖGEL, R. UND EBERHARDT, R. (1997): Modelle zur Bewertung von Thermik und dynamischen Hindernisaufwinden zur Beurteilung der Flugbedingungen für Grossvögel. In: Salzburger geographische Materialien, 26, S. 23–33.
- BROTONS, L., THUILLER, W., ARAUJO, M. B. UND HIRZEL, A. H. (2004): Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. In: Ecography, 27, S. 437–448.
- BURROUGH, P. A. UND McDONNELL, R. (1998): Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press Inc., New York, S. 11f, 186–190.
- DONAZAR, J. A., HIRALDO, F. UND BUSTAMANTE, J. (1993): Factors influencing nest site selection, breeding density and breeding success in the Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*). In: Journal of Applied Ecology, 30, S. 504–514.
- FASCE, P., FASCE, L., GIRAUDO, L., GRESSMANN, G., HARDENBERG, A. V., HEFTIGAUTSCHI, B., HEGGLIN, D., JENNY, D., KNOLLSEISEN, M., OTTO, S., PIROVANO, A., ZIMMERMANN, M. UND ZINK, R. (2006): Bartgeier in den Alpen. Nationalparkrat Hohe Tauern und Foundation for the Conservation of the Bearded Vulture.
- GAVASHELISHVILI, A. UND MCGRADY, M. J. (2006): Breeding site selection by Bearded vulture (*Gypaetus barbatus*) and Eurasian griffon (*Gyps fulvus*) in the Caucasus. In: Animal Conservation, 9, S. 159–170.
- GETIS, A. UND ORD, J. K. (1992): The analysis of spatial association by use of distance statistics. In: Geographical Analysis, 24(3), S. 189–206.
- GIRTANNER, A. (1870): Beitrag zur Naturgeschichte des Bartgeiers der Centralalpenkette (*Gypaetos alpinus*, Alpenbartgeier). Bericht über die Thätigkeit der St. Gallischen naturwissenschaftlichen Gesellschaft.
- HALLER, R. (1996): Homerange- und Habitatanalysen. Entwicklung von Methoden zur Nutzung von Geographischen Informationssystemen in der Wildforschung. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich.

- HALLER, R. UND ALLGÖWER, B. (1996): Homerange- und Habitatanalysen: Unterstützung von Wildforschungsmethoden mit GIS. In: Geoprocessing Series, Universität Zürich, 31, S. 61–66.
- HEGGLIN, D. UND MÄRKI, K. (2000): Monitoring juvenile bearded vultures in the Swiss national park and the parco nazionale dello Stelvio. Foundation for the Conservation of the Bearded Vulture, Annual Report 2000, S. 47–57.
- HIRALDO, F., DELIBES, M. UND CALDERON, J. (1979): El quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus* L.). Sistematica, taxonomia, biologia, distribucion y proteccion. Monografias 22. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional Para la Conservacion de la Naturaleza, S. 183.
- HIRZEL, A., HAUSSER, J., CHESSEL, D. UND PERRIN, E. (2001): Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? In: Ecology, 83, S. 2027–2036.
- HIRZEL, A. H., POSSE, B., OGGIER, P.-A., CRETENAND, Y., GLENZ, C. UND ARLETTAZ, R. (2004): Ecological requirements of reintroduced species and the implications for release policy: the case of the Bearded vulture. In: Journal of Applied ecology, 41, S. 1103–1116.
- HORN, B. K. P. (1981): Hill Shading and the reflectance map. In: Proc. IEEE, 69(1), S. 14–47.
- HUTCHINSON, G. E. (1957): Concluding remarks. In: Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology, 22, S. 415–427.
- JIANG, H. UND EASTMAN, J. R. (2000): Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. In: International Journal of Geographical Information Science, 14(2), S. 173–184.
- KEENEY, R. L. (1992): Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, S. 3, 49.
- MALCZEWSKI, J. (1999): GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York, S. 81–273.
- MARGALIDA, A., BERTRAN, J., GARCIA, D. UND HEREDIA, R. (1997): Observaciones sobre el periodo de incubación del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en los Pirineos. In: Ecologia, 11, S. 439–444.
- MARGALIDA, A. UND GARCÍA-FERRÉ, D. (2002): Pla de recuperació del trencalòs a Catalunya: biologia i conservació. Documents dels Quaderns de Medi ambient.
- MINGOZZI, T. UND ESTÈVE, R. (1996): Analysis of a historical extirpation of the Bearded vulture *Gypaetus barbatus* (L.) in the western Alps (France-Italy): former distribution and causes of extirpation. In: Biological Conservation, 79, S. 155–171.
- MORRISON, M. L., MARCOT, B. G. UND MANNAN, R. W. (1998): Wildlife-habitat relationships - concepts and applications. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, S. 435.

- N.N. (1980): Habitat Evaluation Procedures Handbook. U.S. Fish & Wildlife Service.  
URL <http://www.fws.gov/policy/ESMindex.html>.
- NÄNNI, A. (1990): Bartgeiervorkommen in Graubünden im 19. Jh. Naturwissenschaftliche Heimatkundearbeit, Bündner Lehrerseminar, Chur.
- ROBIN, K., FILLI, F., ALLGÖWER, B. UND HALLER, R. (1995): Schweizerisches Bartgeier-Monitoring. Auswertung der Beobachtungsdaten 1992-1994. Technischer Bericht, Bericht zuhanden der Eidgenössischen Forstdirektion, Sektion Jagd und Wildforschung.
- ROBIN, K., MÜLLER, J. P. UND PACHLATKO, T. (2003): Der Bartgeier. Robin Habitat AG, Uznach.
- RYKIEL, E. J., JR. (1996): Testing ecological models: the meaning of validation. In: Ecological Modelling, 90, S. 229–244.
- SAATY, T. L. (1980): The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, Inc.
- SCHRÖDER, B. (2000): Zwischen Naturschutz und Theoretischer Ökologie: Modelle zur Habitateignung und räumlichen Populationsdynamik für Heuschrecken im Niedermoor. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
- SCHRÖDER, B. UND REINEKING, B. (2004): Modellierung der Art-Habitat-Beziehung - ein Überblick über die Verfahren der Habitatmodellierung. In: Habitatmodelle - Methodik, Anwendung, Nutzen. In: UFZ-Berichte, 9/2004.
- SCOTT, J. M., HEGLUND, P. J., MORRISON, M., HAUFLER, J. B. UND WALL, W. A. (2002): Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale. Island Press.
- STEMMLER, C. (1932): Die Adler der Schweiz. Grethlein & Co. Zürich, Leipzig, S. 237–244.
- STREBEL, G. UND HEINZER, P. (1993): Globi im Nationalpark, Band 61 von Globi. Globi-Verlag, Zürich, S. 36–39.
- STUDER, T. UND FATIO, V. (1889): Tagraubvögel. In: Katalog der Schweizerischen Vögel, Band 1.
- TSCHUDI, F. v. (1870): Das Thierleben der Alpenwelt. Leipzig, S. 327f.

## Internetquellen

WWW.ATLASDERSCHWEIZ.CH (letzter Zugriff: 15.2.2008):

<http://www.atlaskerschweiz.ch/deutsch/impressum/index.html>

[http://www.atlaskerschweiz.ch/deutsch/updates/themenliste\\_d.pdf](http://www.atlaskerschweiz.ch/deutsch/updates/themenliste_d.pdf)

WWW.BARTGEIER.CH (letzter Zugriff: 15.2.2008):

<http://www.wild.unizh.ch/bg/pi/maps/Verbreitung.gif>

<http://www.wild.unizh.ch/bg/alpen.php?bi=0&bg=0&ya=0&la=d&th=news&st=1>

WWW.SWISSTOPO.CH (letzter Zugriff: 15.2.2008):

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/dhm25.html>

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25.html>

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/toponymy.html>

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/gg25.html>

# Anhang

## A Aktuelle Nistplätze

ID	Paarname	Höhe	Exposition	Erstbesetzung	Bruten
1	Livigno_ca	2000	Ost	1999	1999*
2	Livigno_ca	2230	Südwest	2000	2000
3	Livigno	2190	Ostnordost	2001	2001*, 02, 03, 04, 05
4	Livigno	2200	Südost	2006	2006
5	Foraz	2140	Ostnordost	2004	-
6	Serraglio	2300	Südwest	2006	-
7	Serraglio	2560	Ost**	2007	2007
8	Tantermozza	2200	Nordost	2006	-
9	Tantermozza	2200	Ost**	2007	2007
10	(Wallis)	940**	Nordost**	2005	2005*, 06*
11	(Wallis)	1700**	Ost**	2007	2007
12	(Wallis)	1460**	Ost**	2008	-

\* Abgebrochene Bruten  
 \*\* Angaben sind dem DHM25 entnommen

## B Programcode *Maximum Downward Gradient*

```
/** A class which calculates the steepest slope
 * @author Ross Purves
 * @version 1.1, 27th April 2007
 */
public Raster steepestSlope() {
    double steep = 0;
    double steepValue [][] = new double[this.nRows][this.nCols];
    for (int i=0; i < this.nRows; i++){
        for (int j=0; j < this.nCols; j++){
            if (i == 0){
                steepValue[i][j] = this.noDataValue;
            }
            else if (j == 0){
                steepValue[i][j] = this.noDataValue;
            }
            else if (i == this.nRows-1){
                steepValue[i][j] = this.noDataValue;
            }
            else if (j == this.nCols-1){
                steepValue[i][j] = this.noDataValue;
            }
            else{
                double maxSteep = Double.MIN_VALUE;
                for (int n=-1; n <=1; n++){
                    for (int m=-1; m <=1; m++){
                        double distance = Math.sqrt( (n * this.cellSize) * (n *
                            this.cellSize) + (m * this.cellSize) * (m * this.
                            cellSize));
                        if (distance != 0){
                            if ((this.cellValue[i][j] == this.noDataValue) || (
                                this.cellValue[i+n][j+m] == this.noDataValue)){
                                steep = Double.MAX_VALUE;
                            }
                            else{
                                double heightDifference = Math.abs(this.cellValue[i
                                    ][j] - this.cellValue[i+n][j+m]);
                                steep = heightDifference/ distance;
                            }
                            if (steep > maxSteep)
                                maxSteep = steep;
                        }
                    }
                }
                if (maxSteep == Double.MAX_VALUE)
                    steepValue[i][j] = this.noDataValue;
                else
                    steepValue[i][j] = maxSteep;
            }
        }
    }
    return new Raster(this.xll, this.yll, this.nRows, this.nCols, steepValue,
        this.noDataValue, this.cellSize);
}
```

# C Programmcode *Reliefenergie*

```
/**
 * @author David Caduff, Andrea Ryffel
 * @date 31.8.2007
 *
 * A class which calculates the "Reliefenergie"
 * important: cell size and extent of dhm and pn have to be the same
 * cell size = 25m, height = [dm]
 */
public class Regesamt {
    public static String dhm = "data/dhm25corr.txt";
    public static String out = "data/recorr_m.txt";
    public static double r = 1000.;
    public static void calcRegesamt(Raster rdhm, Raster rout){

        int offset = (int)Math.ceil(r/rdhm.getCellSize());
        for (int i=0; i < rdhm.getNRows(); i++){
            for (int j=0; j < rdhm.getNCol(); j++){
                if (((i>=offset)&&(j>=offset))&&
                    ((i<(rdhm.getNRows()-offset))&&(j<(rdhm.getNCol()-offset))))
                {
                    if ((rdhm.getCellValue(i,j) != rdhm.getNoDataValue()) &&
                        (rdhm.getCellValue(i-offset, j-offset) >= 0 &&
                         rdhm.getCellValue(i-offset, j+offset) >= 0 &&
                         rdhm.getCellValue(i+offset, j-offset) >= 0 &&
                         rdhm.getCellValue(i+offset, j+offset) >= 0)) {
                        int minX, minY, maxX, maxY;
                        double centerX, centerY;
                        double hMin=Double.MAX_VALUE, hMax=Double.MIN_VALUE;
                        double rDist = r/rdhm.getCellSize();
                        minX = i-offset;
                        minY = j-offset;
                        maxX = i+offset;
                        maxY = j+offset;
                        centerX = (double)((maxX+minX)/2);
                        centerY = (double)((maxY+minY)/2);
                        for (int k=minX; k < maxX; k++){
                            for (int l=minY; l < maxY; l++){
                                double dist = Math.sqrt(
                                    (centerX-(double)k)*(centerX-(double)k)+
                                    (centerY-(double)l)*(centerY-(double)l));
                                if (dist < rDist){
                                    if (rdhm.getCellValue(k,l)<hMin) hMin=rdhm.
                                        getCellValue(k,l);
                                    if (rdhm.getCellValue(k,l)>hMax) hMax=rdhm.
                                        getCellValue(k,l);
                                }
                            }
                        }
                        rout.cellValue[i][j]= (hMax-hMin)/10;
                    } else {
                        rout.cellValue[i][j]=rdhm.getNoDataValue();
                    }
                } else {
                    rout.cellValue[i][j]=rdhm.getNoDataValue();
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }  
  }  
}  
  
/**  
 * @param args  
 */  
public static void main(String[] args) throws Exception{  
  if (args.length !=3){  
    System.err.println("Programme_usage_steepness_<asciiGridIn>_<  
      asciiGridOut>");  
    System.err.println("Exiting");  
    System.exit(1);  
  }  
  
  dhm = args[0];  
  r = Double.valueOf(args[1]);  
  out = args[2];  
  
  Raster rDHM = new Raster(dhm);  
  
  Raster rOUT = new Raster(  
    rDHM.getXLL(),rDHM.getYLL(),  
    rDHM.getNRows(),rDHM.getNCol(),  
    new double[rDHM.getNRows()][rDHM.getNCol()],  
    rDHM.getNoDataValue(),rDHM.getCellSize());  
  
  calcRegesamt(rDHM, rOUT);  
  
  rOUT.outputGridRaster(out)  
}  
}
```

## D Expertenbefragung für die Kriteriengewichtung

## Potenzielle Bartgeiernistplätze im Schweizer Alpenraum

Im Rahmen meiner Diplomarbeit führe ich eine Eignungsanalyse über das Bartgeiernistplatzpotenzial in der Schweiz durch. In einer solchen Analyse wird die Eignung eines Standortes für eine bestimmte Nutzung untersucht. Da im Falle des Bartgeiers nicht genügend statistische Daten über die Verbreitung in der Schweiz zur Verfügung stehen, beruht diese Analyse auf Literatur und Expertenwissen.

### Multicriteria Evaluation:

Die Multicriteria Evaluation ist eine gängige Methode, um die Eignung eines Gebiets oder Standorts zu ermitteln. Die Problemdefinition bzw. Definition der Fragestellung ist der erste Schritt der Multicriteria Evaluation. Anschliessend werden die Kriterien bestimmt, welche über die Eignung oder Nichteignung eines Standorts entscheiden. Diese Kriterien werden gewichtet und miteinander verschnitten, so dass als Ergebnis eine Karte mit dem Eignungspotenzial aller Standorte entsteht. Die Analyse wird flächendeckend mit einem GIS durchgeführt, basierend auf einem Raster mit 25 m Auflösung. Jede Rasterzelle bildet einen Standort.

Das Ziel dieser Eignungsanalyse ist das Finden möglicher Bartgeiernistplätze. Die Frage, die beantwortet werden soll, lautet: „Wo gibt es im Schweizer Alpenraum potenzielle Bartgeiernistplätze und welche dieser Standorte sind besonders gut geeignet?“ Mit der Unterstützung von David Jenny und Jürg Paul Müller wurden die für die Nistplatzsuche des Bartgeiers wichtigen Kriterien festgelegt und in fünf Klassen unterschiedlicher Eignung unterteilt. Ausserdem wurden sogenannte *constraints* bestimmt. Das sind Minimalanforderungen bzw. Einschränkungen, welche einen Standort aufgrund seiner Eigenschaften grundsätzlich ein- oder ausschliessen.

Das Nistplatzpotenzial eines Standorts setzt sich aus den Kriterien Eignung und Störung zusammen, welche wiederum auf der Kombination mehrerer Kriterien basieren. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung des Nistplatzmodells und seiner Kriterien. Für jede Stufe und jedes Kriterium wird durch paarweisen Vergleich das Gewicht im Modell bestimmt. Die Gewichtung wird anhand der Expertenbefragung vorgenommen. Auf den nachfolgenden Seiten werden die Kriterien beschrieben und das Vorgehen bei der Gewichtung erläutert. Am Ende des Dokuments befinden sich die Vergleichsmatrizen für die Expertengewichtung.

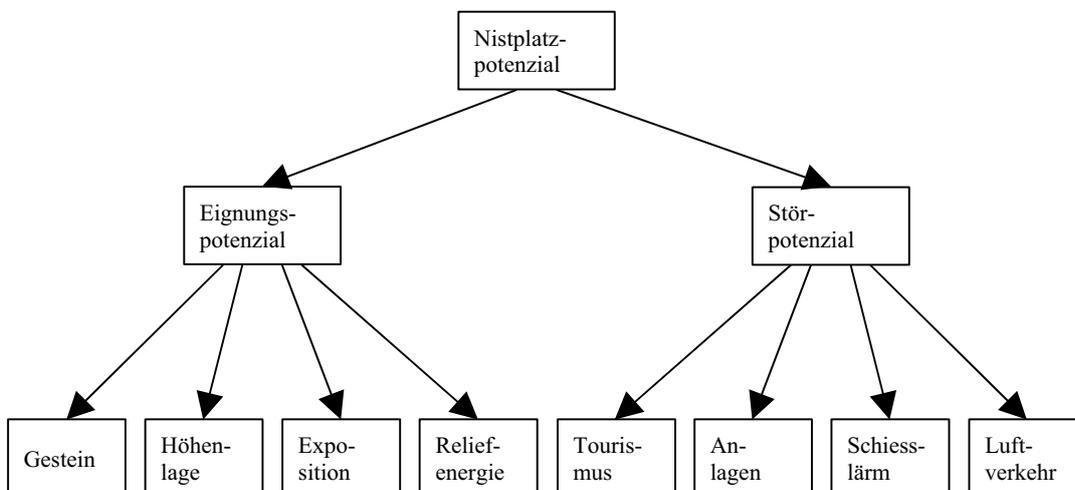


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Nistplatzmodells

## Kriterien:

Im Folgenden werden die Kriterien des Modells näher beschrieben. Vier Annahmen werden für die Modellierung getroffen:

- Grundsätzlich eignen sich steile Felsklippen als potenzielle Nistgebiete. Deshalb werden im Modell nur Standorte berücksichtigt, welche einen Felsuntergrund (*constraint 1*) und eine Hangneigung von mindestens 50° (*constraint 2*) aufweisen.
- Der Wildtierbestand ist in der Schweiz so gross wie schon lange nicht mehr. Ausserdem stehen im Sommerhalbjahr Haustierherden als zusätzliche Nahrungsquelle zur Verfügung. Aus diesem Grund wird die Nahrungsverfügbarkeit nicht als limitierender Faktor betrachtet.
- Kalk- und Silikatstein eignen sich grundsätzlich gleichermassen als Nistplatzgebiete. Verwittertes Silikatgestein weist ebenso wie Kalkstein Risse und Höhlen auf. Da der Verwitterungsgrad nicht in die Modellierung mit einbezogen werden kann, werden beide Gesteinsarten gleichwertig klassiert.

Das Eignungspotenzial wird wie folgt mit vier Kriterien beschrieben:

- Gestein: Unterteilung in Lockergestein, Silikatgestein und Kalkstein. Silikat- und Kalkstein sind gut geeignet, Lockergestein ist schlecht geeignet.
- Höhe: Unterteilung in Höhenzonen, getrennt nach Nord- und Zentralalpen. Im Norden ist die Lage zwischen 1500 m und 1900 m ü. M. optimal, in den Zentralalpen die Lage zwischen 1900 m und 2400 m ü. M.
- Exposition: Grad der Nistplatzausrichtung nach Süden. Je südlicher ein Fels ausgerichtet ist, desto besser.
- Reliefenergie: Differenz zwischen Minimal- und Maximalhöhe im Umkreis von 1 km um den Nistplatz. Je grösser die Differenz ist, desto besser. Optimal sind Höhenunterschiede von mindestens 400 m. Die Reliefenergie und die Exposition stehen zusammen für das Thermikpotenzial eines Nistplatzes.

Das Störpotenzial kann durch vier Kriterien analysiert werden. Dabei gilt die Annahme, dass in einem bestimmten Umkreis um eine Störung keine Nistplätze möglich sind (*constraint 3*). Ausserhalb davon nimmt die Stärke der Störung mit zunehmender Distanz ab, bis die Maximaldistanz, in der die Störung wirkt, erreicht ist.

- Tourismus: Distanz zu SAC-Hütten, Skiliften und Luftseilbahnen unter der Annahme, dass solche Anlagen starke touristische Nutzungen mit sich bringen. Standorte im Umkreis von 1000 m um die Störung sind ausgeschlossen. Der Störeinfluss wirkt bis maximal 1500 m Luftlinie.
- Anlagen: Distanz zu Hochspannungsleitungen und Materialseilbahnen (ohne weitere touristische Nutzung). Standorte im Umkreis von 100 m um die Störung sind ausgeschlossen. Der Störeinfluss wirkt bis maximal 150 m Luftlinie.
- Schiesslärm: Distanz zu Schiessständen. Standorte im Umkreis von 1000 m um die Störung sind ausgeschlossen. Der Störeinfluss wirkt bis maximal 1500 m Luftlinie.
- Luftverkehr: Distanz zu Flughäfen. Standorte im Umkreis von 1000 m (entlang den Pisten) bzw. 2000 m (in der An- und Abflugschneise) um die Störung sind ausgeschlossen. Der Störeinfluss wirkt bis maximal 2 km Luftlinie bzw. 3 km Luftlinie.

**Paarweises Vergleichen (nach Saaty's Analytic Hierarchy Process):**

Für die Gewichtung der einzelnen Kriterien werden die Kriterien der gleichen Stufe jeweils paarweise miteinander verglichen. Das Mittel dafür ist eine Vergleichsmatrix. In Fall des Nistplatzmodells gibt es drei Kriterienkomplexe: das Eignungspotenzial (Tabelle 3), das Störpotenzial (Tabelle 4) und das Nistplatzpotenzial (Tabelle 5). Es entstehen also drei Vergleichsmatrizen.

Im ersten Schritt werden immer zwei Kriterien im Hinblick auf ihre relative Bedeutung bewertet. Dazu stehen Indexwerte von 1 bis 9 (Tabelle 1) zur Verfügung. Ist Kriterium A genau gleich wichtig wie Kriterium B, erhält diese Beziehung den Index 1. Ist A aber viel wichtiger als B, lautet der Index 9. Dazwischen sind alle Abstufungen möglich. Für die Beziehung „weniger wichtig“ stehen entsprechend die Bruchwerte 1/1 bis 1/9 zur Verfügung: Ist etwa A viel weniger wichtig als B, lautet die Bewertung 1/9. Die Wertungen werden Reihe um Reihe in eine Kreuzmatrix eingetragen. In der Diagonalen der Matrix stehen nur Einsen. Zuerst wird die rechte obere Hälfte der Matrix ausgefüllt, bis jedes Kriterium einmal mit jedem anderen verglichen wurde. Wurde A gegenüber B mit der relativen Bedeutung n bewertet, so muss B gegenüber A mit 1/n bewertet werden. Ist (siehe Beispiel in Tabelle 2) die Vegetationsbedeckung leicht wichtiger als die Hangneigung (Index 3), so ist entsprechend die Hangneigung leicht unwichtiger als die Vegetationsbedeckung (Index 1/3). Aus Gründen der Konsistenz wird deshalb die linke untere Hälfte der Matrix mit den Kehrwerten der bereits eingefüllten Bewertungen ergänzt.

**Tabelle 1: Indexwerte für den paarweisen Vergleich**

Definition	Index	Definition	Index
gleich wichtig	1	gleich wichtig	1/1
gleich wichtig bis leicht wichtiger	2	gleich wichtig bis leicht unwichtiger	1/2
leicht wichtiger	3	leicht unwichtiger	1/3
leicht bis viel wichtiger	4	leicht bis viel unwichtiger	1/4
viel wichtiger	5	viel unwichtiger	1/5
viel bis sehr viel wichtiger	6	viel bis sehr viel unwichtiger	1/6
sehr viel wichtiger	7	sehr viel unwichtiger	1/7
sehr viel wichtiger bis extrem viel wichtiger	8	sehr viel unwichtiger bis extrem viel unwichtiger	1/8
extreme Bedeutung	9	völlig unbedeutend	1/9

**Tabelle 2: Beispiel einer Kreuzmatrix**

Beispiel	Vegetation	Hangneigung
Vegetation	1	3
Hangneigung	1/3	1

Mit den Mittelwerten der Befragung wird anschliessend die Kriteriengewichtung berechnet. Zunächst wird eine normalisierte Vergleichsmatrix erstellt: Jeder Matrixwert wird dazu durch die Summe seiner Kolonne dividiert. Um die Gewichte der einzelnen Kriterien zu erhalten, wird der Mittelwert jeder Reihe dieser zweiten Matrix ermittelt. Die Verschneidung aller gewichteten Kriterien ergibt das Nistplatzmodell.

**Tabelle 3: Eignungspotenzial**

Eignungspotenzial	Gestein	Höhe	Exposition	Reliefenergie
Gestein	1			
Höhe		1		
Exposition			1	
Reliefenergie				1

**Tabelle 4: Störpotenzial**

Störpotenzial	Tourismus	Anlagen	Schiesslärm	Luftverkehr
Tourismus	1			
Anlagen		1		
Schiesslärm			1	
Luftverkehr				1

**Tabelle 5: Nistplatzpotenzial**

Nistplatzpotenzial	Eignungspotenzial	Störpotenzial
Eignungspotenzial	1	
Störpotenzial		1

Nr.	Eignungspotenzial					Störpotenzial					Nistplatzpotenzial									
	Gest.	Höhe	Expo.	Reli.	Tour.	Anl.	Lärm	Luftv.	Eig.pot.	Störpot.	Gest.	Höhe	Expo.	Reli.	Tour.	Anl.	Lärm	Luftv.	Eig.pot.	Störpot.
1	Gestein	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0.14	0.14	1	1	1	0.14	0.14	1	4
	Höhe	1	1	1	0.33	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2	1	1	1	0.2	0.2	1	1
	Exposition	0.33	1	1	0.33	1	1	1	7	5	5	1	4	1	7	5	1	4	0.25	1
	Reliefenergie	1	3	3	1	1	5	0.25	1	7	5	0.25	1	1	7	5	0.25	1	0.25	1
2	Gestein	1	1	5	3	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1
	Höhe	1	1	5	3	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1
	Exposition	0.2	0.2	1	1	0.2	0.2	1	0.2	0.2	0.2	1	0.2	1	0.2	0.2	1	0.2	1	1
	Reliefenergie	0.33	0.33	1	1	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1
3	Gestein	1	7	5	1	1	1	1	1	1	1	0.33	0.33	1	1	1	0.33	0.33	1	5
	Höhe	0.14	1	0.33	0.2	1	1	1	1	1	1	0.33	0.33	1	1	1	0.33	0.33	0.2	1
	Exposition	0.2	3	1	0.33	3	3	1	3	3	3	1	1	1	3	3	1	1	0.2	1
	Reliefenergie	1	5	3	1	1	3	1	3	3	3	1	1	1	3	3	1	1	0.2	1
4	Gestein	1	5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	6	5	1	1	1	6	5	1	1	8
	Höhe	0.2	1	0.5	0.2	0.17	1	0.33	0.17	1	1	0.33	0.33	0.33	0.17	1	0.33	0.33	0.13	1
	Exposition	2	2	1	0.5	0.2	3	1	0.2	0.2	3	1	0.2	1	0.2	3	1	0.2	0.13	1
	Reliefenergie	2	5	2	1	1	3	5	1	1	3	5	1	1	1	3	5	1	0.13	1
5	Gestein	1	1	0.2	0.11	1	1	1	1	1	0.33	2	0.17	1	1	0.33	2	0.17	1	0.17
	Höhe	1	1	0.2	0.11	3	1	3	3	1	1	3	0.2	0.2	3	1	3	0.2	6	1
	Exposition	5	5	1	0.5	0.5	0.33	1	0.5	0.33	0.33	1	0.11	1	0.5	0.33	1	0.11	6	1
	Reliefenergie	9	9	2	1	6	5	9	1	6	5	9	1	1	6	5	9	1	6	1
6	Gestein	1	7	5	6	1	1	1	1	1	5	0.143	5	1	1	5	0.143	5	1	0.2
	Höhe	0.14	1	0.333	0.333	0.2	1	0.14	0.2	1	1	0.14	1	0.2	1	1	0.14	1	5	1
	Exposition	0.2	3	1	3	6	7	1	6	7	7	1	7	1	6	7	1	7	5	1
	Reliefenergie	0.17	3	0.33	1	0.2	1	0.14	0.2	1	1	0.14	1	1	0.2	1	0.14	1	5	1
7	Gestein	1	0.5	0.25	0.2	1	1	1	1	1	3	5	4	1	1	3	5	4	1	5
	Höhe	2	1	0.17	0.14	0.33	1	3	0.33	1	1	3	2	0.2	0.33	1	3	2	0.2	1
	Exposition	4	6	1	1	0.2	0.33	1	0.2	0.33	0.33	1	0.25	1	0.2	0.33	1	0.25	0.2	1
	Reliefenergie	5	7	0.5	1	0.25	0.5	4	0.25	0.5	0.5	4	1	1	0.25	0.5	4	1	0.25	1

## E Expertenbefragung für die *Face Validity*

## **Beurteilung des Nistplatz- und des Habitatmodells**

Name: Müller Jürg Paul

### **1. Beim Betrachten des Nistplatzmodells:**

*1.1 Wird das Nistplatzpotenzial durch das Modell erfasst?*

Grundsätzlich schon. Ich denke, dass das Modell eher konservativ ist, also nur die optimalsten Orte anzeigt.

*1.2 Welche Faktoren werden gut, welche schlecht abgebildet?*

Ich sehe, dass die alten Brutorte nicht besonders gut wiedergegeben werden. Den Grund dafür vermag ich nicht zu erkennen.

*1.3 Gibt es Faktoren, die gar nicht berücksichtigt wurden?*

Niederschlag.

### **2. Beim Betrachten des Habitatmodells:**

*2.1 Wird das Habitatpotenzial durch das Modell erfasst?*

Das Habitatangebot ist breit vorhanden und das ist sicher richtig so. Ich denke, dass im Raum Rheintal tiefe Lagen eher als zu unbedeutend dargestellt sind.

*2.2 Welche Faktoren werden gut, welche schlecht abgebildet?*

Siehe oben

*2.3 Gibt es Faktoren, die gar nicht berücksichtigt wurden?*

Kann ich so nicht erkennen.

### **3. Das Modell als Ganzes:**

*3.1 Werden die Gebiete, die sich für Bartgeier als Lebensräume eignen, abgebildet?*

Ich denke ja.

*3.2 Kann das Modell im Entscheid um die Wahl neuer Aussetzungsstandorte als Unterstützung dienen?*

Es ist wie alle Modelle eine sinnvolle Entscheidungshilfe, kann aber nicht die „absolute Wahrheit“ für sich beanspruchen.

### **4. Bemerkungen:**

Vielen Dank für eine nützliche und anregende Arbeit!!

## Beurteilung des Nistplatz- und des Habitatmodells

Name: David Jenny

### 1. Beim Betrachten des Nistplatzmodells:

#### 1.1 Wird das Nistplatzpotenzial durch das Modell erfasst?

Das Nistplatzpotential des Bartgeiers wird grundsätzlich gut erfasst.

#### 1.2 Welche Faktoren werden gut, welche schlecht abgebildet?

Ansprüche an Brutfels (Höhe, Wandhöhe, Exposition, Reliefenergie) gut

Folgende wichtige Faktoren fehlen: Nahrungsangebot (Einstände Steinwild, Gamsen, Sömmerungsgebiete Schafe); Verteilung und Brutplätze von Steinadler (Konkurrenz)

Ich würde Angebot Schlafplätze und Sitzwarten (hellblau) und pot. Brutplätze (dunkelblau) unterscheiden.

Zusätzlich: direkt an Graten: keine Brutplätze (mind. 80m tiefer als Grat).

Schlaf- und Brutplätze über 3200m streichen (hellblau z.B. über den Gletschern im Berninagebiet!)

#### 1.3 Gibt es Faktoren, die gar nicht berücksichtigt wurden?

Siehe oben

### 2. Beim Betrachten des Habitatmodells:

#### 2.1 Wird das Habitatpotenzial durch das Modell erfasst?

Grundsätzlich ja.

#### 2.2 Welche Faktoren werden gut, welche schlecht abgebildet?

Gut: alpine Zonen (auch Nahrungsangebot erfasst?)

Schlecht: Talbodenbereiche (z.B. im Engadin) auch wenn sie über 1600m liegen sind keine Potentialgebiete (Nähe zu Siedlungen, Thermik, Störungen).

Wald: ist zwar kein potentiell Nahrungshabitat, im Waldgrenzenbereich wird es aber doch oft befliegen (Baumwarten, Landen in Lichtungen, Lawinenzügen)

#### 2.3 Gibt es Faktoren, die gar nicht berücksichtigt wurden?

Schafe?

### 3. Das Modell als Ganzes:

#### 3.1 Werden die Gebiete, die sich für Bartgeier als Lebensräume eignen, abgebildet?

Grundsätzlich ja

#### 3.2 Kann das Modell im Entscheid um die Wahl neuer Aussetzungsstandorte als Unterstützung dienen?

ja

### 4. Bemerkungen:

Das Modell kann als eine ergänzende Grundlage zur Wahl geeigneter Aussetzungsstandorte dienen. Mit zur Beurteilung soll dann aber zusätzlich das Nahrungsangebot (Gamsen, Steinböcke, Rothirsch, Schafe) dienen und die Verteilung der nächstliegenden Steinadler-Kernbereich (möglichst grosse Abstände).

# F Inhalt der Daten-CD

- Analysekarte im Massstab 1:250'000
- Digitale Version der Diplomarbeit
- GIS-Daten
  - Historische Verbreitungskarte von Studer und Fatio (1889)
    - Georeferenzierte Karte
    - Vektorisierte Verbreitungsstadien
  - GIS-Layer der Modellierung
    - Nistplatzpotenzial
      - Felsklippen
      - Eignungspotenzial
        - Gestein
        - Höhe
        - Exposition
        - Reliefenergie
      - Störpotenzial
        - Tourismus
        - Anlagen
        - Lärm
        - Flugverkehr
    - Habitatpotenzial

G Analysekarte (verkleinert auf Format  
DIN A3)