

# Lebensraumkonnektivität für Braunbären als Grundlage für Umweltverträglichkeitsprüfungen

Recio, M.R., Knauer, F., Molinari-Jobin, A., Groff, C., Huber, D., Molinari, P., Pedrotti, L., Filacorda, S., Jerina, K.

## 1. Hintergrund

Die Braunbären in Europa verzeichneten aufgrund der direkten Verfolgung einen dramatischen historischen Rückgang. Derzeit erholt sich die Art in ganz Europa, obwohl illegale Tötungen und die Zerstörung von Lebensräumen weiterhin das Überleben der Bären in den Restpopulationen gefährden (Chapron et al., 2014). Die Erholung von Braunbären erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Intensität des menschlichen Drucks nach unterschiedlichen Bewirtschaftungsstrategien. Der Erfolg der Genesung hängt von geeigneten Entscheidungen ab. Daher ist es wichtig, die Bedürfnisse der Bären in den jeweiligen Populationen einschließlich ihrer räumlichen Bedürfnisse zu kennen.

Aufgrund der breiten Verfügbarkeit moderner Telemetrietechnologie liegen GPS-Daten zu Bärenbewegungen aus verschiedenen europäischen Ländern vor, darunter Slowenien, Kroatien, Österreich, Italien und der Schweiz. Drei Hauptbärenpopulationen oder demografische Einheiten, die in diesen Ländern leben, können unterschieden werden: die trentino-schweizerische, die Ostalpen- und die dinarische Population. Obwohl die Ostalpen- und die dinarische Population im Wesentlichen die gleiche Population sind, wurde das Vorhandensein einer umzäunten Autobahn (Autobahn A1 von Triest nach Ljubljana) als ein wichtiges Hindernis für die Bärenbewegung identifiziert. Die drei analysierten Bärenpopulationseinheiten sind unterschiedlichen Managementsystemen ausgesetzt, was möglicherweise zu unterschiedlichen Reaktionen auf Störungen des Menschen und damit auf unterschiedliche Habitatauswahlmuster führte.

Um die Notwendigkeit eines aktiven Managements der Bärenpopulationen in den Alpen und im Dinarischen Gebirge zu bewerten, insbesondere die Instandhaltung / Wiederherstellung von Korridoren, ist es von großer Bedeutung, die Raumnutzung der Bären sowie das Potenzial für natürliche Bewegungen zwischen den vorhandenen Populationen vorherzusagen. Daher haben wir uns bei dieser Untersuchung drei Hauptziele gesetzt:

- 1) Erstellung einer multiskaligen Habitat-Eignungskarte für Bären in Mitteleuropa unter Berücksichtigung von Populationsunterschieden in den Mustern der Habitatauswahl.
- 2) Ermittlung der funktionalen Konnektivitätseigenschaften der einzelnen für Bären geeigneten Lebensräume, einschließlich der Stufenpfade, die größere Gebiete verbinden, in denen Bärenheimatgebiete in Mitteleuropa beheimatet werden können.
- 3) Identifizieren der plausibelsten Pfade mit den geringsten Kosten in einer Population, die

verschiedene Bereiche innerhalb eines bestimmten großen Patches und mit den umgebenden Patches verbinden.

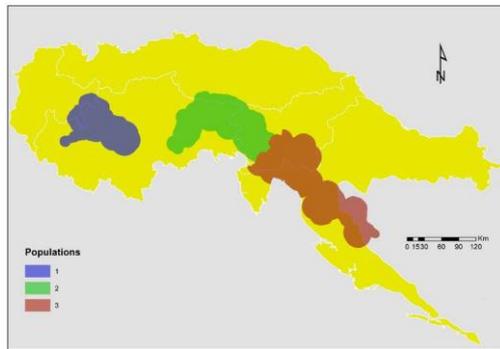
## 2. Material und Methoden

### 2.2 Studiengebiet

Wir haben ein Untersuchungsgebiet mit einer Gesamtfläche von 173.479 km<sup>2</sup> ausgewählt. Dieses Gebiet umfasste ganz Kroatien und Slowenien, die mittel- und ostitalienischen Alpen, die Südseite der österreichischen Alpen und die östlichste Region der Schweiz (Abbildung 1).

### 2.3 Lokalisationsdaten der Bären

2.4 Der Datensatz zu GPS-Bärenstandorten pro Land variierte in Bezug auf die Anzahl der erfassten Tiere, das Geschlechterverhältnis (Tabelle 1) und die festgelegten Erfassungsraten (von 30 Minuten bis 6 Stunden). Wir haben Bären, die als widersprüchlich ( $N = 19$ ) eingestuft wurden, aus dem ursprünglichen Gesamtdatensatz ( $N = 82$ ) gestrichen, um Verzerrungen bei der Auswahl des Lebensraums zu vermeiden, die durch „abnormales“ Bärenverhalten als Folge der Gewöhnung an Menschen verursacht werden. Zuerst haben wir die Rohdaten der Standorte gefiltert, indem wir die ersten und letzten 10 Standorte jedes Tierdatensatzes entfernt haben. Diese anfängliche Filterung zielte darauf ab, Positionsfehler zu vermeiden, die üblicherweise nach der Aktivierung eines Halsbands, einer Positionsverzerrung aufgrund eines unregelmäßigen Verhaltens des Tieres nach der Beruhigung oder vor dem Ende der Batterielebensdauer auftreten. Zweitens haben wir einen weiteren sequentiellen Filter angewendet, um unrealistische Positionen basierend auf plausiblen Bärenbewegungen zu entfernen (Bjorneras et al., 2010). Dieser Filter entfernte für jeden Ort unrealistische Punkte nacheinander in mehreren Schritten und unter Verwendung eines sich bewegenden Fensters. Im ersten Schritt wurden die Punkte entfernt, die eine Entfernung über der von den 10 vorherigen und 10 nächsten Punkten geschätzten mittleren Entfernung darstellten. In einem zweiten Schritt wurde dieselbe vorherige Analyse angewendet, jedoch der Mittelwert anstelle des Medians. In einem dritten Schritt wurden die Punkte entfernt, die eine unrealistische Spitze im Bewegungspfad eines Bären bildeten, die eine unrealistische plötzliche schnelle Bewegung implizieren würde, um seine Flugbahn zu verlassen und zu ihr zurückzukehren und ein abruptes Zurück zu zeigen. Für die Analyse der Ressourcenauswahlfunktionen haben wir als Nächstes den Standortdatensatz ( $N = 184.687$ ,  $\mu \pm SE = 2931 \pm 416$ ) gefiltert, um eine Standorterfassungsrate von 6 Stunden ( $N = 40.835$ ,  $\mu \pm SE = 648 \pm$ ) zu erhalten (72). Wir wollten die Rechenleistung steigern, um die unterschiedlichen Erfassungsraten der Bären zu homogenisieren und die räumlich-zeitliche Autokorrelation zu verringern.



**Abbildung 1.-** Populationsheimatgebiete der Trentino-Schweizer (Population 1), Voralpen (Population 2) und Dinarischen Population (Population 3), die aus Analysen der Bewegungsfähigkeit von Bären in Bezug auf die maximal zurückgelegte Entfernung bei jeder Erfassungsrate von GPS-Standorten abgeleitet wurden.

**Tabelle 1.-** Anzahl der Bären pro Land, Population und Geschlecht.

Land und Population	Gesamt	Männchen	Weibchen
Schweiz (Population 1)	1	1	0
Italien - Trentino (Population 1)	5	1	4
Italien – Voralpen (Population 2)	3	3	0
Slowenien – Voralpen (Population 2)	5	4	1
Slowenien – Dinariden (Population 3)	29	13	16
Kroatien (Population 3)	20	13	7
<b>Gesamt</b>	<b>63</b>	<b>35</b>	<b>28</b>

## 2.5 Umweltdaten

Wir haben eine Reihe von topografischen, landbedeckenden und anthropogenen Variablen zusammengestellt oder berechnet, die Bärenressourcen aus verschiedenen digitalen geografischen Quellen darstellen (Tabelle 2). Ein endgültiger Satz von Rastern mit einer Rastergröße von  $25 \times 25$  m für jede Variable wurde erstellt, um genaue Feinkornschätzungen der Ressourcen zu ermöglichen. Alle Variablen wurden unter Berücksichtigung der vorherigen Informationen zur Auswahl des Bärenlebensraums, des Expertenwissens und der Bedeutung dieser Variablen für die Nahrungsversorgung, die Unterkunft und den menschlichen Einfluss ausgewählt.

## 2.6 MULTISCALE MODELLING ANSATZ

Wir folgten einem multiskaligen Verfahren, um die Ressourcenauswahl von Bären im Untersuchungsgebiet zu modellieren. Dies nennt man skalierungsintegrierte Ressourcenauswahlfunktionen (SRSFs, DeCesare et al. 2012). Diese Methode konzentriert sich auf das Management-orientierte Habitat-Eignungs-Mapping, indem die Ressourcenauswahl einer Art in verschachtelter Form modelliert und die Ergebnisse über Skalen hinweg synthetisiert werden. Unsere verschachtelten Schritte von drei verschiedenen Auswahlskalen waren (nach Meyer und Thuiller 2006):

1. Skala 1 (S1), auch als Populationsselektionsniveau erster Ordnung bekannt. Ziel dieser Skala war es, herauszufinden, wo sich die Verbreitungsgebiete (d. H. Heimatgebiete der Bären)

innerhalb des Untersuchungsgebiets befinden.

2. Skala 2 (S2) oder individuelle Auswahlebene zweiter Ordnung. Die Analysen auf dieser Skala ermittelten, wo einzelne Bären ihre Heimatgebiete innerhalb ihres Heimatgebiets der Population festlegten.
3. Skala 3 (S3) oder individuelle Auswahlebene dritter Ordnung. Diese Skala konzentrierte sich auf die Auswahl der Bärenstandorte innerhalb der einzelnen Heimatgebiete.

### **2.5.1 Statistische Modellierung**

We used topographic variables as elevation, roughness and hillshade, landcover variables as forest, shrubs, agricultural and open areas, and the distance to roads and settlements as independent variables. We used regression models with a binary response and the individual bear as random factor on the scales 2 and 3.

### **2.6 Untersuchung der funktionalen Zusammenhängigkeit**

Die Anzahl der Lebensraumflächen, die über das gesamte Untersuchungsgebiet als geeignet eingestuft wurden, war rechnerisch nicht zu ermitteln, damit die Analysen unter diesem Ziel durchgeführt werden konnten. Aus diesem Grund haben wir nur Gebiete mit einer Fläche von mehr als 75 ha ausgewählt, die die Mindestfläche darstellen, auf der 99% der Bärenstandorte innerhalb der geeigneten Gebiete vorkommen. Für die rechnerische Durchführbarkeit haben wir die Habitat-Eignungskarte außerdem in ein Raster von  $200 \times 200$  m umgewandelt. Wir haben die effektive Entfernung (d. H. Die Kostenentfernungen) zwischen jedem Paar benachbarter Habitatfelder mit Linkage Mapper for ArcGis berechnet (McRae & Kavanagh, 2011). Diese Software identifiziert und kartiert die kostengünstigsten Pfade zwischen den Kernbereichen (Lebensraumbereiche der Studie) unter Verwendung einer Widerstands- oder Reibungskarte, die der Bewegung und dem Überleben der Tiere entgegensteht. Als Widerstandsraster haben wir die Umkehrung der zuvor erstellten und auf Werte zwischen 1 und 100 skalierten Habitatkarte betrachtet, um sie über die Landschaft zu bewegen. Werte nahe 1 stellen die besten Bedingungen für die Bewegung und das Überleben der Tiere dar, während die höchsten Widerstandswerte die ungünstigsten Bereiche darstellen (wobei 100 der maximale Widerstand einer vollständigen vollen Barriere ist). Mit diesen Informationen findet Linkage Mapper die angrenzenden Kernbereiche, um ein Netzwerk von Verbindungen zu erstellen, wobei der euklidische Abstand zwischen ihnen verwendet wird. Schließlich werden kostengewichtete Entfernungen (d. H. Effektive Entfernungen) und kostengünstigste Pfade berechnet. Aus rechnerischen Gründen beschränkten wir die Berechnungen dieser Abstände auf diejenigen Flecken, die um weniger als einen euklidischen Abstand von 4640 m voneinander entfernt waren, was dem maximalen Abstand entsprach, den ein weiblicher Bär vom geeigneten Gebiet beobachtet.

- 0.05. Wir haben die berechneten effektiven Abstände in die Wahrscheinlichkeit umgewandelt, dass sich ein Bär zwischen zwei Feldern bewegt, basierend auf seiner Bewegungskapazität innerhalb seiner Heimatbereiche (Pardo et al., 2017). Da die Bewegungsfähigkeit weiblicher Bären im Vergleich zu männlichen Bären eingeschränkt ist und weibliche Bären für die Lebensfähigkeit der Populationen wichtiger sind, haben

wir uns auf die Umrechnung der effektiven Entfernungen konzentriert, die weibliche Bären innerhalb ihres Heimatbereichs als Mindestreferenz zurücklegen. Zuerst haben wir die mittlere euklidische Entfernung jedes GPS-Standorts zum Schwerpunkt jedes einzelnen MCP-Heimatbereichs berechnet. Zweitens wurde dieser Abstand in einen effektiven Abstand umgewandelt, nachdem sein Wert mit dem mittleren Widerstandswert der Pixel in den Heimatbereichen der Frau multipliziert wurde. Infolgedessen betrug die durchschnittliche effektive Distanz, die Bärinnen in ihren Heimatgebieten zurücklegen, 150.202 Kosteneinheiten. Drittens erhielten wir die Wahrscheinlichkeit einer Bärenbewegung zwischen zwei Flecken unter Verwendung einer negativen Exponentialfunktion des euklidischen Abstands zwischen Knoten multipliziert mit einem Zerfallsparameter, der den Ausbreitungsabstand der Art berücksichtigt (Pardo et al., 2017). Wir haben diesen Parameter gleich den zuvor berechneten 150202 Kosteneinheiten gemacht, die wir mit einer Streuungswahrscheinlichkeit von gleichgesetzt haben 0,05. Die Wahrscheinlichkeit einer Bewegung zwischen Patches lag im Bereich von 0 (keine Konnektivität) bis 1 (vollständig verbunden, d. H. Der Abstand zwischen Patches beträgt 0).

Um die Konnektivität geeigneter Bärenfelder zu analysieren, haben wir eine Reihe von Indizes verwendet. Hier zeigen wir die Ergebnisse des anschaulichsten Index, der absoluten Variation der Konnektivitätsabnahme (varPCflux): Dieser Index bewertet den absoluten Konnektivitätsverlust in der Landschaft, wenn ein Patch entfernt wird. Daher ist dieser Index hilfreich, um die Bedeutung eines Patches für die Aufrechterhaltung der Konnektivität des gesamten Systems zu verdeutlichen. Es gibt an, wie gut ein Patch mit anderen verbunden ist.

Wir haben die Karten für den obigen Index und die aus den Analysen in Linkage Mapper ermittelten kostengünstigsten Pfade erstellt. Diese Pfade wurden als Verhältnis zwischen dem Kostengewicht und den niedrigsten Kostenwerten für jeden Pfad klassifiziert.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Ergebnisse der Modellierung**

Die Ergebnisse für jedes maßstabsspezifische Modell und für jede Population zeigen, dass die Waldbedeckung die einzige Variable war, die in allen Populationen und Maßstäben ausgewählt wurde, d. H. Die positive Auswahl einer erhöhten Waldbedeckung. Die restlichen Variablen ergaben unterschiedliche Selektionsmuster, entweder unter Populationen, Skalen oder beiden. Topographische Variablen zeigten, dass Population 1 (Trentino-Schweizer Population) in Gebieten mit einer höheren Höhe und Rauheit auftrat als in Gebieten ohne Population.

Umgekehrt war dieser Trend für die Populationen 2 und 3 umgekehrt. Obwohl die Platzierung der Heimatregion in Bezug auf die Höhe in S2 unterschiedlichen Trends folgte, war die Raumnutzung pro individueller Heimatregion für alle mit Gebieten höherer Höhe und rauerem Gelände verbunden die Populationen. Insgesamt erfassten die S1-Modelle die Topografie und die Landschaftszusammensetzung der unterschiedlichen Merkmale dieser

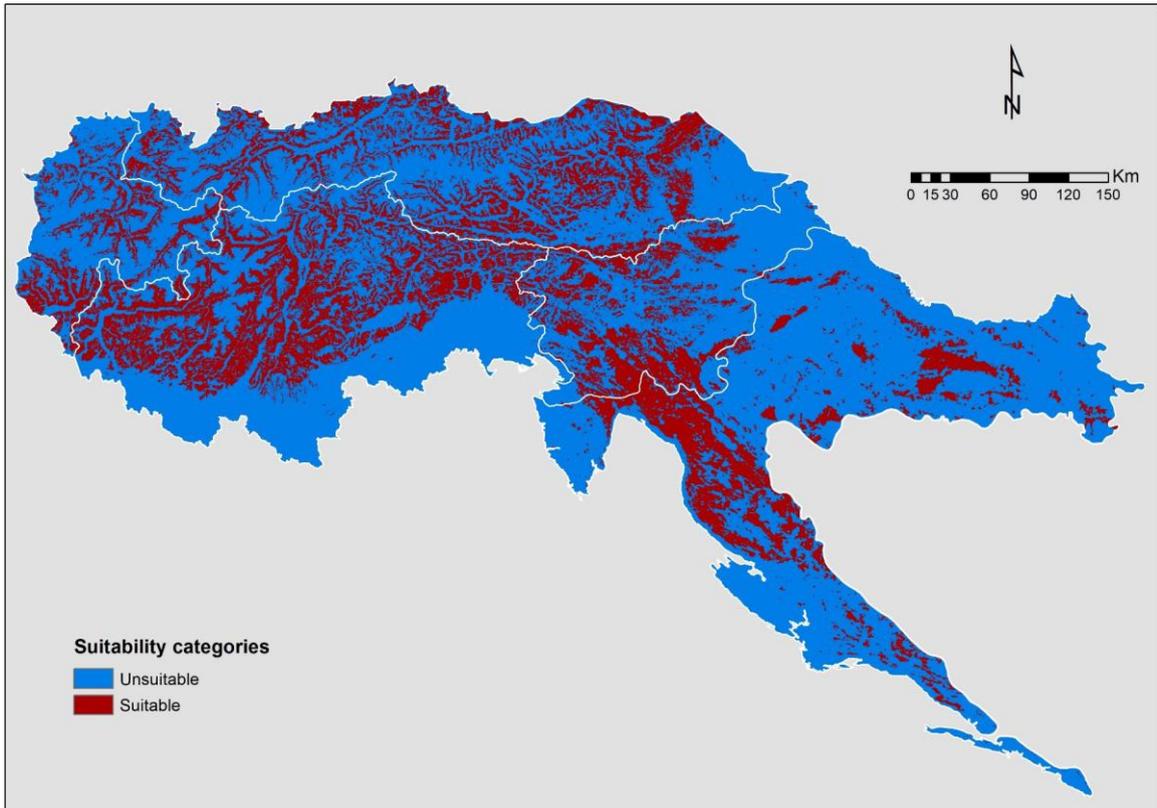
Variablen in den Gebieten, in denen die einzelnen Populationen vorkommen. Dies galt auch für die Platzierung von Heimatgebieten innerhalb des Populationsheimatbereichs S2. Modelle in S3 enthüllten spezifischere Informationen zu den Variablen, die von Bären (mithilfe von GPS-Standorten) in ihren individuellen Heimatgebieten für jede Population direkt ausgewählt wurden. Auf dieser Skala zeigten die topografischen Variablen, dass die meisten ausgewählten hohen und rauen Gebiete in ihren Heimatgebieten liegen, obwohl die Auswahlrends für die Variablen Steigung, Hügelschatten und topografische Positionsindizes unter den Populationen ungleich waren. In Bezug auf natürliche Landbedeckungsvariablen wurden Wald und Sträucher von Bären der drei Populationen positiv ausgewählt, während die offenen Gebiete vermieden wurden. Anthropogene Variablen zeigten, dass Bären ausgewählt wurden, um sich weit von Straßen und menschlichen Siedlungen zu entfernen. Bei letzteren Variablen trat dies jedoch nur in Populationen 2 und 3 auf. In Population 1 zeigten Bären eine positive Auswahl in Bezug auf menschliche Siedlungen und landwirtschaftliche Gebiete.

Die maßstabsintegrierte Habitat-Eignungskarte basierend auf der von Bären genutzten Raumwahrscheinlichkeit, die aus den oben angegebenen Modellen berechnet wurde, ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Validierung der Kartengenauigkeit ergab, dass die maßstabsintegrierten RSFs mit einer guten Vorhersagekapazität ( $\bar{r} = 0,90$ ) nach Baldwin et al. (2009) Klassifizierung.

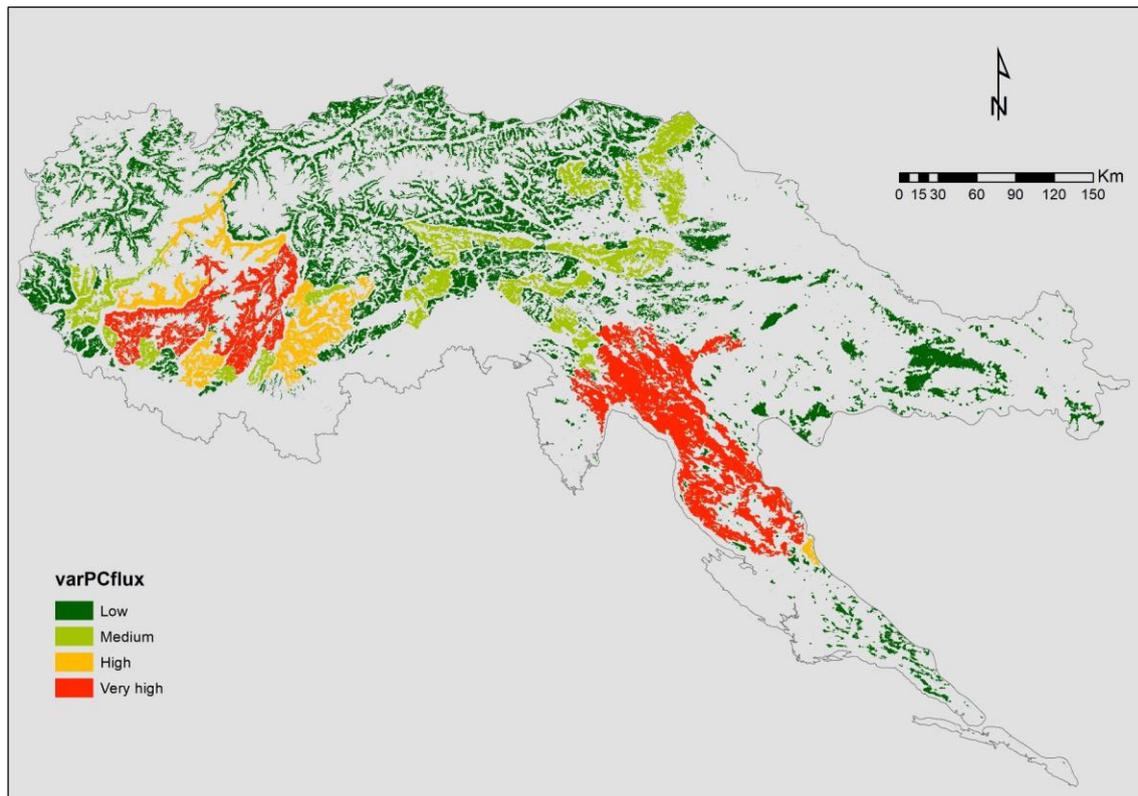
Die aus der maximalen Summe von Sensitivität und Spezifität berechneten Schwellenwerte betragen 0,015, 0,087 und 0,068 für Population 1, 2 bzw. 3. Die sich aus der Anwendung dieser Schwellenwerte für jeden Eignungspixelwert innerhalb ihres jeweiligen Ausgangsbereichs und ihres entfernungs gewichteten Werts außerhalb dieser Bereiche ergebende Binomialkarte ist in 2 gezeigt.

### **3.1 Konnektivität und Korridore**

Die Karte der Ergebnisse des varPC-Index, die für die Konnektivitäts- und Korridoranalyse in den mitteleuropäischen Braunbärenpopulationen ausgewertet wurden, ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 2.-** Kategoriale Karte mit geeigneten und ungeeigneten Kategorien.



**Abbildung 3.-** Anteil des varPC, der den Fluss zwischen Habitat-Patches oder varPCflux ausmacht und angibt, wie gut ein Patch mit anderen verbunden ist.

## 4 Diskussion

### 4.1 Habitateignung

Die in dieser Studie verwendeten maßstabsintegrierten RSF sind ein praktischer Ansatz, um langjährige Diskussionen über Bedenken hinsichtlich der Skalenselektion in Lebensraumauswahlanalysen zu behandeln (siehe z. B. Boyce 2006). Unser Ansatz, jede Population unabhängig auf drei verschiedenen Skalen zu modellieren und alle Ergebnisse zu integrieren, bot eine lokalere Annäherung an die Habitatauswahl für jede Population als die Gesamtaufnahme aller verfügbaren Daten in ein einziges transversales Modell für alle Populationen. In diesem Rahmen ergaben unsere maßstabsintegrierten Modelle unterschiedliche Ergebnisse zum Habitatauswahlverhalten für jede Bärenpopulation. Die Vorhersagen zu geeigneten Lebensräumen ergaben, dass Population 3 die größten und am besten geeigneten Lebensraumbereiche enthielt. Population 2 wies ein ähnliches Muster auf, jedoch mit kleineren und stärker fragmentierten Flecken als Population 3. Schließlich wies Population 1 auch große Flecken mit geeignetem Lebensraum (wie auf der Binomialkarte zu sehen) auf, die jedoch weniger geeignet waren als die anderen Populationen und konzentrierter und seltener waren Bereiche mit hoher bis sehr hoher Eignung. Im Trentino-schweizerischen Raum haben die Menschen eine historisch intensivere Veränderung der Landschaft und Verfolgung großer Raubtiere durchgeführt als in den anderen Populationsgruppen.

Trotzdem können sich die Bären an die „veränderte“ Landschaft anpassen. Die Modelle auf den 3 Skalen für Population 1 bestätigen einen allgemein positiven Selektionstrend für

erhöhtes und unwegsames Gelände auf allen Skalen, der ausgeprägter ist als für Population 2 und 3. Daher könnten Bären in Population 1 gezwungen werden, mehr zu selektieren und zu besetzen unzugängliche Bereiche für Menschen in höher gelegenen und rauen Gebieten. Die intensive Anwesenheit von Menschen in dieser Population könnte jedoch bedeuten, dass Bären nicht in der Lage sind, ihre Heimatgebiete einzurichten und den Raum innerhalb ihrer Heimatgebiete zu nutzen, wodurch menschliche Siedlungen, landwirtschaftliche Gebiete oder die Anwesenheit von Straßen vermieden werden. Die Modellkoeffizienten für die anthropogenen Variablen in dieser Population und auf den verschiedenen Skalen legen diese Schlussfolgerung nahe. Wir erkennen an, dass die Habitatauswahlmodelle für Population 1 auf nur 6 Tiere beschränkt sind, die ein sehr spezifisches individuelles Auswahlmuster hätten aufweisen können, indem der Großteil ihrer Aktivitäten auf raue und erhöhte Gebiete konzentriert wurde, die immer noch in der Nähe anthropogener Merkmale liegen. Die Modellvorhersagen für das gesamte Populationsgebiet zeigen jedoch, dass diese Kombination von Variablen größtenteils nicht verfügbar ist, was auch die sehr begrenzte Verfügbarkeit von hoch- bis sehr hoch geeigneten Patches erklären kann.

Die Populationen 2 und 3 zeigten im Allgemeinen ähnliche Muster der Habitatauswahl. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Populationen könnten jedoch durch eine Vorliebe für Männer in Bezug auf das Geschlecht verursacht werden, da die meisten Bären in Population 2, einschließlich der erfassten, Männer aus Population 3 verteilen. Auch einige Unterschiede in S1 und S2 für diese Populationen könnten höchstwahrscheinlich durch bestimmte Unterschiede in der Zusammensetzung und Konfiguration der Landschaft verursacht werden, wobei Population 2 eine Schnittstelle zwischen den Landschaften von Population 1 und 3 darstellt. Insgesamt macht der hohe Waldbestand in diesen Populationen diese Variable zur wichtigsten und wertvollsten Ressource für die Lebensfähigkeit und das Wachstum der Bärenpopulation. Folglich ist es erforderlich, große Waldflächen zu erhalten und die Konnektivität zwischen diesen Flächen zu fördern.

### **3.1 Konnektivität und Korridore**

Die zwei verschiedenen Indizes, die den Beitrag jedes Fleckens zur Konnektivität und Bewegung aller geeigneten Bärenflecken im Untersuchungsgebiet, d. H. VarPC, quantifizierten, zeigten die Bedeutung der größten Flecken, in denen die aktuellen Bärenpopulationen im Untersuchungsgebiet auftreten. Diese Bedeutung war besonders relevant für die Patches in Populationen 1 und 3, die hohe und sehr hohe Werte für diesen Index erzielten. Es besteht das Potenzial, die drei Populationen zu verbinden, obwohl Population 2 kleinere und häufigere fragmentierte Flecken als die anderen Populationen enthält. Population 2 enthält jedoch Lebensraumbereiche, die für den hypothetischen Fluss und die Verbindung zwischen Population 1 und 3 von Bedeutung sind.

In Bezug auf potenzielle Patches gibt es einige große geeignete Patches, die für das Überleben und die Bewegung von Bären in Österreich im Rahmen eines hypothetischen Szenarios der Bärenkolonisierung in dieser Region von Bedeutung sind. Diese Flecken sind von anderen kleineren Flecken umgeben, die als Sprungbrett für die Population 2 dienen könnten.

Insgesamt haben die Konnektivitätsanalysen auf der Ebene des Untersuchungsgebiets die Notwendigkeit untermauert, geeignete und gut vernetzte große Flächen mit größtenteils forstlichem Lebensraum zu erhalten. Diese Priorität mindert nicht die Bedeutung des Erhalts kleinerer Patches, die als Sprungbrett für die Verbindung von Patches von aktueller oder potenzieller Eignungs- und Konnektivitätsbedeutung fungieren können.